

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 2018-2019

Avril 2019

Sylvain BALLU : Chef de projet
Bertrand JACQUEMIN : Chef de projet
Thierry PERROT : Ingénieur de Projet
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	16
2.5.1. Contexte et objectif.....	16
2.5.2. Matériel et méthodes.....	16
2.5.2.1. Veille documentaire	16
2.5.2.2. Gestion et analyse de la base de données	17
2.5.3. Résultats	17
2.5.3.1. Descriptions locales du phénomène des marées vertes.....	17
2.5.3.2. Descriptions locales d'autres types de proliférations macroalgales.....	21
2.5.3.3. Éléments contribuant au développement des marées vertes	24
2.5.3.4. Contrôle nutritionnel et autres facteurs limitant les marées vertes.....	26
2.5.3.5. Impacts directs et indirects des accumulations de macroalgues sur l'écosystème	27
2.5.3.6. Effets généraux de l'eutrophisation côtière sur les équilibres biologiques	29
2.5.3.7. Origine des sels nutritifs et leur gestion.....	30
2.5.3.8. Gestion et valorisation des algues vertes.....	30
2.5.3.9. Caractérisation des algues vertes.....	32
3. Conclusion – perspectives	33
ANNEXES.....	35
Bibliographie.....	38



TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

- Figure 1: Flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants concernés par les principales proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + les trois cours d'eau du fond de baie de Saint Brieuc : Gouessant Urne Gouet + l'Horn + le Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphs, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2017 et 2010-2017 (flux des années les plus récentes dont le niveau moyen est moins élevé). La figure 1a présente les flux sur l'ensemble de l'année tandis que la figure 1b présente les flux sur la période la plus sensible. 5
- Figure 2: Ecart de flux mensuel, annuel et saisonnier aux exutoires des BV AV par rapport aux années antérieures (moyenne des sommes mensuelles pour tous les BV). Sur l'ensemble de la période annuelle le flux est de 9 % supérieur à la moyenne 2010-2017 (excédents les plus forts en juin - 60% -, avril et janvier ; déficits important en octobre et novembre 2017) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est de 14 % supérieur au flux moyen 2010-2017 (avril et juin fortement excédentaires, août et septembre déficitaires). 6
- Figure 3: Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2018 (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 2002-2018 de 3 950 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 2002-2018 sur « mai-août » est estimé à 700 T. 7
- Figure 4: Flux annuel spécifique moyen (2002-2018) 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 71 kg pour l'Horn/Guillec contre 19 sur le BV de la Fresnaye. L'importance de ces flux est en partie conditionnée par l'importance des lames drainantes des BV. 8
- Figure 5 :Ecart, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2018 et les flux pluriannuels. Les figures représentent respectivement la différence par rapport à 2002-2017 (a) et à 2010-2017 (b). Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux. 9
- Figure 6 :Données MétéoFrance sur les différentes stations, en pluviosité (a) et en ensoleillement (b ; pas de donnée disponible sur Ploumanac'h). 10
- Figure 7 : Evolutions des concentrations en nitrates sur les cours d'eau suivis (moyennes mensuelles puis annuelles afin d'avoir le même poids pour chaque mois de l'année), sur tous les cours d'eau intégrés au suivi dans le cadre de ce rapport 11
- Figure 8 :Flux d'azote sur la période sensible (moyenne des flux de mai à août sur 8 baies du PLAV) et niveau de marée verte atteint en fin de saison (surface en août+septembre sur les plages bretonnes). Les surfaces couvertes par des algues brunes (ou rouges) filamenteuses notamment en 2011, 2012, 2013, 2015 et 2017 en baie de Saint Brieuc, en 2016, 2017, 2018 sur la baie de Douarnenez et depuis 2006 sur l'est du département des Côtes d'Armor) ne sont pas comptabilisées ici. 11
- Figure 9 :Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2018 s'expliquent : pour 2006, 2010 et 2013, par des températures de l'eau beaucoup plus froides en hiver et en début de saison que la moyenne (environ 1 mois de retard sur les températures de l'eau sur avril-mai-juin) et pour 2007, 2013, 2015, 2016 et surtout 2014 et 2018 par le côté particulièrement dispersif de l'hiver. Le niveau plus élevé qu'attendu en début 2011 pourrait être lié aux caractéristiques



- de la fin de l'hiver / début de printemps particulièrement favorables (temps calme et ensoleillé). Le démarrage particulièrement précoce de 2017 est lié aux conditions hivernales très peu dispersives sur novembre-mars (et aussi avril), des températures de l'eau favorables et un éclaircissement hivernal supérieur aux normales. 12
- Figure 10 :Caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et avril 2018 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff) ; (d) écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce rapport. 13
- Figure 11 :Caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et avril 2019 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. 14
- Figure 12 :Evaluation des biomasses en ulves sur la baie de Saint Michel en Grève 15
- Figure 13 : Localisation des stations utilisées pour les mesures de flottabilité des espèces proliférantes (Fu et al. 2019, p. 303) 18
- 19
- Figure 14 : Evolution entre le 29 avril et le 25 juin 2016 de la marée verte depuis la plateau de Jiangsu jusqu'à la péninsule de Shandong Xing et al. (2018, p. 153) 19
- 20
- Figure 15 : Impact en mer Jaune de la marée verte sur le secteur côtier de Quingdao. A) Plage avec absence de marée verte. B) Plage avec prolifération de l'algue verte dérivante U. prolifera Zhao et al. (2018, p. 12) 20
- Figure 16 : Sites d'études des différentes espèces d'ulve. 1. El Portugués, 2. San Juan de la Costa, 3. Casa del Marino, 4. El Tecolote. Chávez-Sánchez et al. (2018, p. 203) 21
- Figure 17 : Ramassages des sargasses sur la plage de Viard par les agents de l'AJL, plage protégée à cause de la ponte de tortues. (Photo DR) Anonyme (2019a) 22
- Figure 18 : Au Gosier en Guadeloupe le 23 avril 2018. HELENE VALENZUELA Le Monde (2019d) 23



INTRODUCTION

Dans le cadre du GP5, le CEVA conduit depuis 2008, en maîtrise d'ouvrage, 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 2018 sur une période de 12.5 mois (1^{er} mars 2018 au 15 mars 2019).

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 2018 proposés par la cellule d'intervention sur les marées vertes (Cimav) du CEVA, sont listés ci-dessous.

- **Projet 1** : Actions d'expertise scientifique, d'information et de conseil technologique en faveur des programmes de maîtrise des marées vertes de Bretagne.
- **Projet 2** : Amélioration de la modélisation écologique des proliférations macroalgales.
Ce projet n'est pas développé cette année.
- **Projet 3** : Compléments d'études sur les processus biologiques, hydrologiques et sédimentologiques impliqués dans les proliférations macroalgales.
- **Projet 4** : Suivi des proliférations d'algues vertes sur le littoral breton en complément du contrôle de surveillance DCE.
Ce projet n'est pas en maîtrise d'ouvrage du CEVA cette année mais porté par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne ; les données issues de ce suivi sont cependant exploitées 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 2017 revus à la baisse, autour d'actions dans la lignée des années précédente.

Pour l'année 2018, la proposition faite était de rester sur un niveau d'intervention comparable à ce qui était proposé depuis 2014, et qui permet de répondre, dans les grandes lignes, aux sollicitations des collectivités ainsi qu'aux acteurs impliqués dans la lutte contre les proliférations d'algues vertes. Comme cela avait été le cas en 2017, le programme 2018 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).

2. CONTENU DE LA MISSION ET REALISATIONS

La mission du CEVA dans ce programme CIMAV P1 suppose une grande disponibilité pour répondre, par mail ou téléphone aux interrogations, souvent « urgentes », des différents acteurs impliqués dans la lutte contre les proliférations et plus particulièrement des collectivités territoriales (communes, syndicats intercommunaux ou communautés de communes, SAGEs, Conseils départementaux, Conseil régional, services de l'Etat,...). Cette action passe cependant aussi par des moments plus formels, sous forme d'interventions dans des réunions, ou de fournitures d'éléments de diagnostic local, de bulletins sur l'évolution des marées vertes, de synthèse sur les flux et la mise en relation de ceux-ci avec la marée verte observée. En 2018, en plus de ces actions, le CEVA a réalisé une évaluation des stocks de reconduction d'ulves pour consolider la perception de la précocité attendue des proliférations. L'annexe 1 reprend les principales interventions « formelles » du CEVA. Sur la période mars 2018 à mars 2019, ces interventions répertoriées représentent plus de 100 interventions.

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

Cette action se poursuit avec des demandes qui restent soutenues, de la part des médias mais aussi des étudiants (nombreux sujets sur les algues vertes, les causes, moyens de lutte, voies de valorisation,...).



L'information/formation des années précédentes permettra probablement à plus long terme de diminuer les demandes. En 2018, l'évolution des proliférations (démarrage tardif, puis proliférations localement soutenues comme sur la baie de Saint Briec) et son lien avec la mise en place du nouveau plan de lutte contre les algues vertes (PLAV2) a encore suscité de nombreuses demandes d'informations.

A noter également des demandes de la part d'étudiants (AgroCampusOuest ou AgroParisTech) notamment dans le cadre de travaux sur le phénomène mais aussi de bilan pour diverses structures contribuant à l'information sur l'environnement (ARS, bilan DREAL, Observatoire de l'Environnement en Bretagne,...).

Par ailleurs, un grand nombre de demandes, plus ponctuelles, font l'objet d'échanges (mel, téléphone,...) qui ne peuvent être reportés 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 sur d'autres doit donc pouvoir être expliquées et partagées en ligne avec une proposition des mécanismes sous-jacents aux proliférations. Les interventions principales sont reportées en annexe 1.

Les moyens du programme Cimav P1 ont également été mobilisés pour prolonger la série de données de suivis des proliférations d'ulves sur les sites bretons jusqu'à 2017 et les interprétations qui y sont liées (en particulier ajout de données de houle par site).

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

Afin de fournir des informations actualisées aux structures en charge de la problématique algues vertes, le CEVA, après chacun des 7 survols annuels (DCE surveillance et RCO) a réalisé une synthèse des observations effectuées. Cette synthèse s'appuie sur une première analyse visuelle des clichés (comparaison pour les sites en suivi renforcé du niveau de surface avec les 10 années antérieures) afin d'estimer, avant la phase de digitalisation des dépôts, un niveau approximatif des couvertures en ulves. Ce travail est chronophage mais permet une mise à disposition rapide des informations mensuelles, l'information « stabilisée », plusieurs semaines ou mois plus tard étant jugée moins utile pour la gestion en partie « à chaud » par les collectivités. Ces bulletins d'information sont destinés aux « initiés », de par leur rédaction rapide (rédaction sans trop de « tournures de précaution »). Ces 7 bulletins mensuels ont été complétés par un bulletin de synthèse annuelle + perspectives de précocité de la saison suivante (le 7 mars 2018 ; puis bilan 2019 au 14 février 2019 puis consolidation le 21 février 2019).

Outre l'édition de bulletins d'information sur l'évolution de la prolifération, l'action d'appui aux collectivités a représenté 45 interventions en 2018. 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 proviennent principalement des structures de SAGE (Bas Léon, Haut Léon, Baie de Saint Briec, Baie de Douarnenez, Golfe du Morbihan-Ria d'Étel, Baie de Lannion, Sud Cornouailles, Ellé Isole Laïta, Argoat Trégor Goëlo ...), des comités thématiques algues vertes créés dans le cadre du plan gouvernemental, du groupe permanent de scientifiques en appui au PLAV et, dans une moindre mesure, des structures de bassin versant et des collectivités bretonnes (communes éventuellement, communautés de communes, départements, région). En 2018, plusieurs communes ou communautés de communes ont



demandé au Ceva des données pour mettre à jour ou compléter des profils de baignade. Le groupe de travail sur les vasières (10 A2) s'est réuni à 3 reprises (dont une fois avec les SAGEs concernés) ce qui a permis d'aboutir au programme Impro « Impact du sédiment sur les proliférations de macroalgues sur vasières ». Le Ceva a été appelé à contribuer à nouveau en 2018 au groupe de travail « ad hoc » sur les machines et stratégies de ramassage innovants mis en place sur la baie de Saint Briec suite aux putréfactions rencontrées sur cette baie en juin-juillet 2017 (saturation des moyens de ramassage « classiques »). L'annexe 1 présente le détail des interventions répertoriées. Enfin le programme P1 a également permis d'apporter un appui pour l'interprétation des données acquises sur les croissances algales sur vasières (Cimav P3), en particulier sur la partie interprétation parfois complexe.

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

Cette « rubrique » compte en 2018 plus de 20 réunions. Les principales interventions sont reportées en annexe 1. Le Ceva est notamment intervenu pour l'analyse des données de débit et concentration en continue sur le Douron, les flux sur le Gouet (gestion au niveau du barrage de Ploufragan), sur l'analyse des flux sur plusieurs Sage pour répondre à la disposition 10A2, pour l'analyse des données acquises par Air Breizh sur le Légué et le lien avec les prolifération, les données de descriptions des prolifération de Soliéria (demande Olmix), les données exploitables pour déterminer les zones à risque de putréfaction,

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

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

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

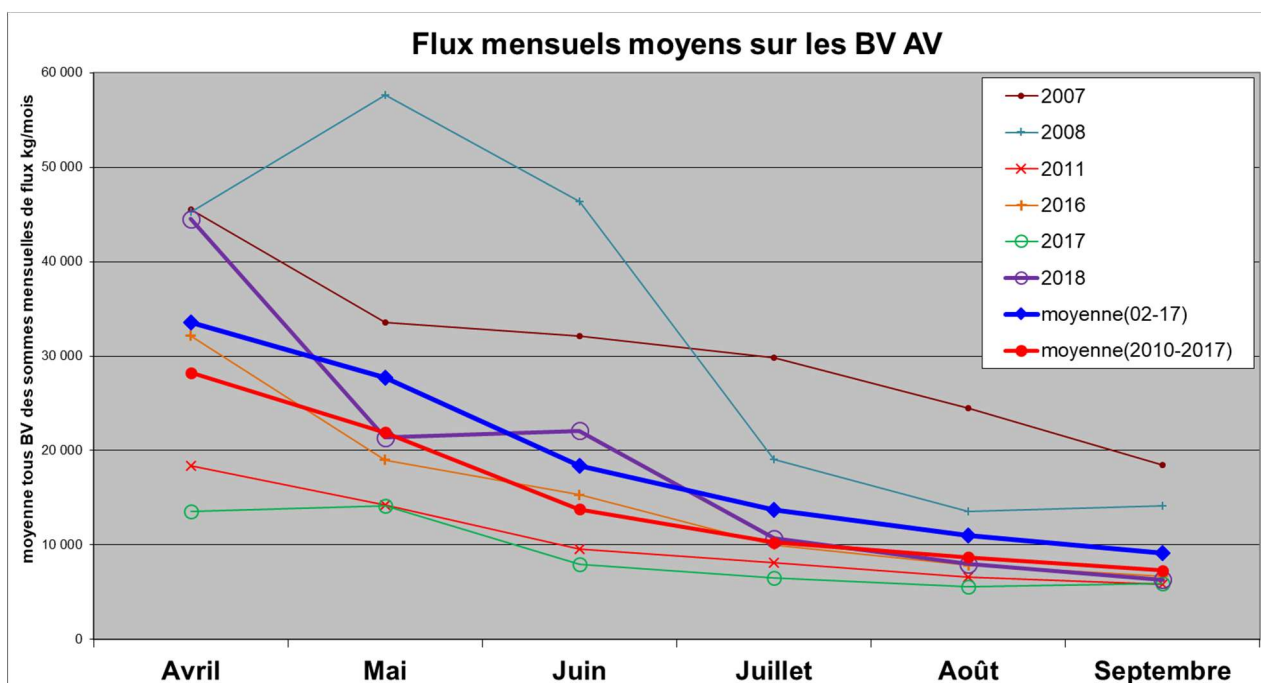
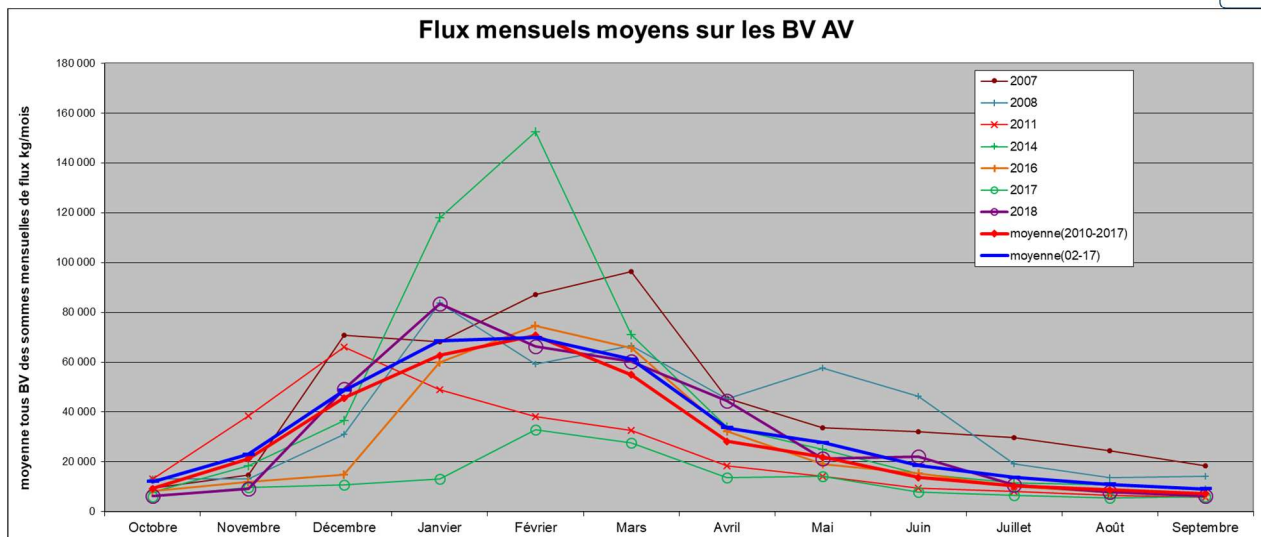


Figure 1 : Flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants concernés par les principales proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + les trois cours d'eau du fond de baie de Saint Briec : Gouessant Urne Gouet + l'Horn + le Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphs, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2017 et 2010-2017 (flux des années les plus récentes dont le niveau moyen est moins élevé). La figure 1a présente les flux sur l'ensemble de l'année tandis que la figure 1b présente les flux sur la période la plus sensible.

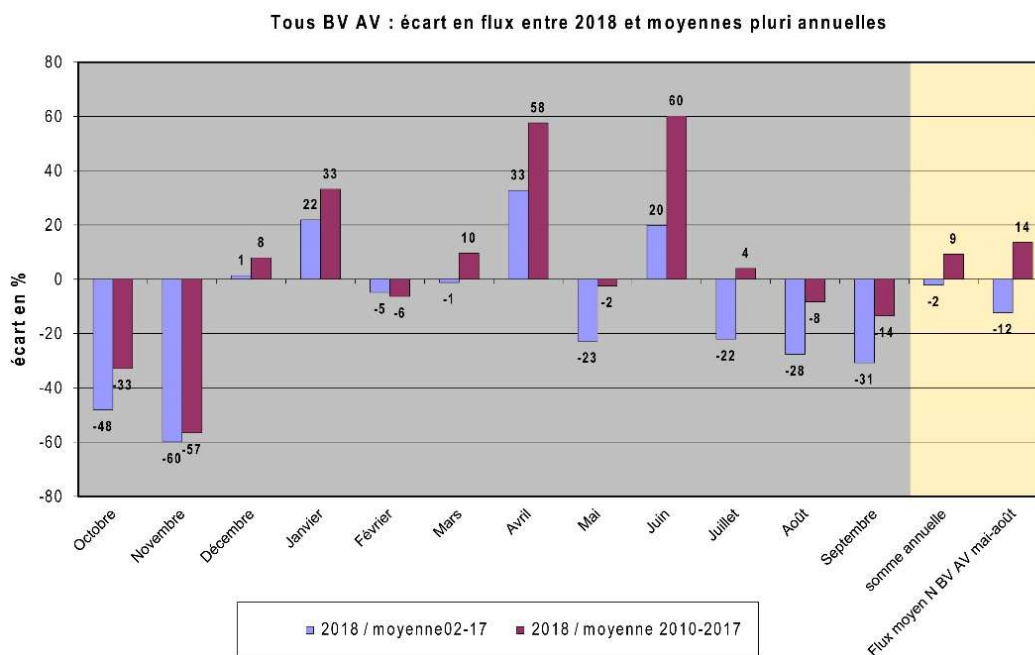


Figure 2 : Ecart de flux mensuel, annuel et saisonnier aux exutoires des BV AV par rapport aux années antérieures (moyenne des sommes mensuelles pour tous les BV). Sur l'ensemble de la période annuelle le flux est de 9 % supérieur à la moyenne 2010-2017 (excédents les plus forts en juin - 60% -, avril et janvier ; déficits importants en octobre et novembre 2017) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est de 14 % supérieur au flux moyen 2010-2017 (avril et juin fortement excédentaires, août et septembre déficitaires).

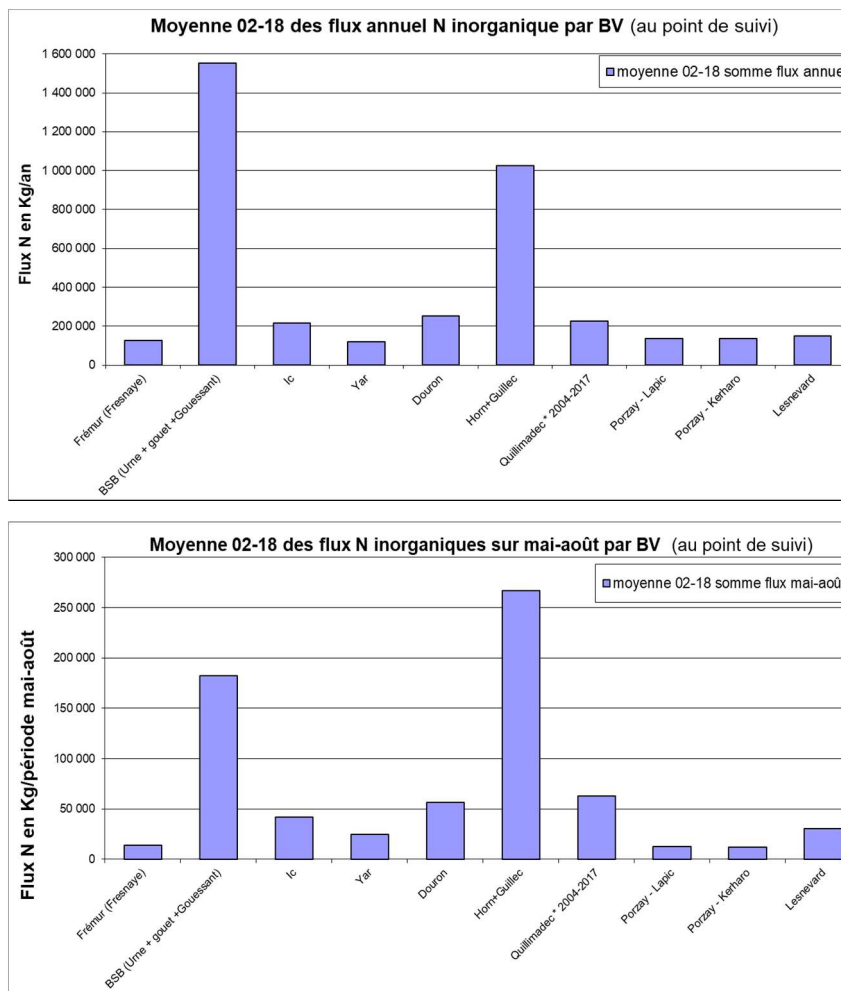


Figure 3 : Evaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2018 (Figure 3a) pour la partie du BV suivie (point exutoire du cours d'eau ; ce qui peut être assez différent du flux total du BV dans le cas où plusieurs cours d'eau drainent les BV mais qui permet de visualiser la part de chaque cours d'eau au flux total régional moyen sur 2002-2018 de 3 950 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 2002-2018 sur « mai-août » est estimé à 700 T.

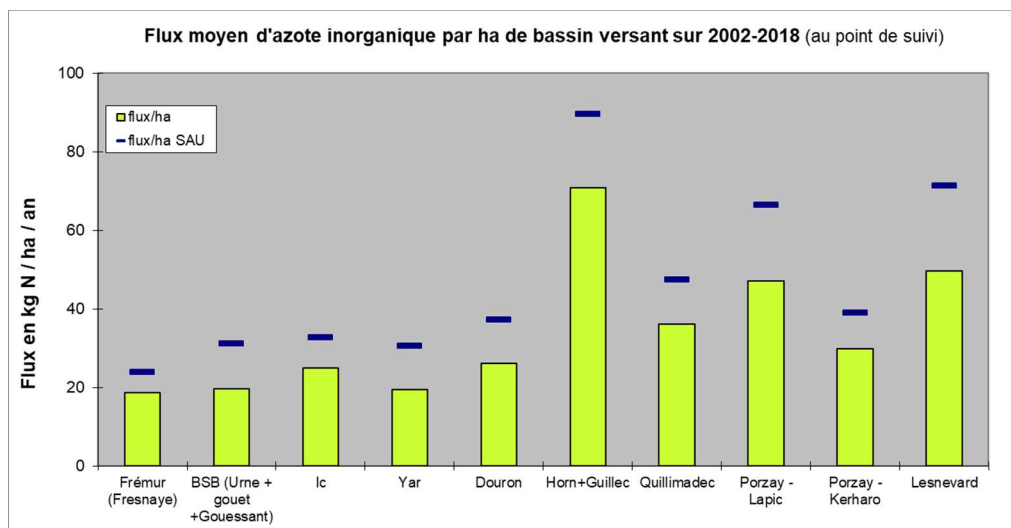


Figure 4 : Flux annuel spécifique moyen (2002-2018) d'azote inorganique de chaque BV (pour la partie du BV suivie ; point exutoire du cours d'eau, idem aux figures 3 a et b). On perçoit des flux spécifiques (par ha de BV ou par ha de SAU) particulièrement importants sur l'Horn+Guillec et sur les cours d'eau de l'ouest Bretagne de manière plus générale. On estime en particulier un flux par ha total de BV de 71 kg pour l'Horn/Guillec contre 19 sur le BV de la Fresnaye. L'importance de ces flux est en partie conditionnée par l'importance des lames drainantes des BV.

Le flux de l'année hydrologique 2018 (Figure 2) est proche du niveau moyen pluriannuel (- 2 % par rapport à 2002-2017 et + 9 % par rapport à 2010-2017). Ce niveau moyen résulte **d'une situation de flux significativement excédentaire sur janvier, avril et juin et déficitaire sur octobre et novembre 2017 puis août et septembre 2018. Sur la période la plus sensible aux proliférations (mai-août pris comme indicateur) le flux 2018 est supérieur à la moyenne 2010-2017 (+14 %) mais inférieur si l'on considère la période 2002-2017 (-12 %).** Le niveau « moyen régional » mai-août résulte de situations locales **très tranchées** (Figure 5) : des flux qui sont sur le Frémur (baie de la Fresnaye) **fortement excédentaires** (33 % par rapport à 2002-2017 et 110 % par rapport à 2010-2017), **plus légèrement sur la baie de Saint Briec** (5 % sur l'ensemble de la baie par rapport à 2002-2010 mais 80 % par rapport aux années plus récentes 2010-2017) mais **déficitaires ou proche de la moyenne sur les autres bassins versants** (jusqu'à - 50 % sur la baie de Douarnenez par rapport à 2002-2017). Ces différences de comportement en flux sont en premier lieu à **mettre en relation avec les différences de pluviosité** sur les différents secteurs avec notamment des **pluies d'orages, en fin mai et début juin**, qui ont été intenses sur l'est des Côtes d'Armor ce qui n'a pas été le cas sur l'ouest Bretagne. On enregistre en particulier sur la station Météo France de Saint Briec 90 mm de pluie entre le **27 mai et le 11 juin soit le double de la pluviosité « normale » mensuelle qui est tombé en moins de 15 jours.** La nature géologique des bassins versant intervient également dans la réaction en flux à ces pluviosités (réaction plus rapide sur les BV schisteux et plus tamponnée sur les BV granitiques). Et enfin, l'évolution des teneurs moyennes en nutriments ces dernières années jouent également sur les séries de référence de flux (en particulier sur 2002-2017).

La distribution de ces flux au cours de la saison est, elle aussi, variable selon les bassins versants comme le présente l'annexe 2 en lien avec des pluviosités et contextes pédogéologiques différents. On note en particulier des flux très élevés sur les bassins versant de l'Est des Côtes d'Armor en avril et juin (période très sensible pour l'installation des proliférations), avec 400 % de flux en plus qu'en moyenne 2010-2017 sur la Fresnaye en juin et près de 300 % sur la baie de Saint Briec. Alors que sur l'Ouest Bretagne, hormis en avril, les flux sont inférieurs aux moyennes interannuelles chaque mois (avec des défauts de flux sur le fond des baies de Douarnenez et de la Forêt, dès mai (et des valeurs très déficitaires par ex. sur le Lapic avec - 60 à - 80 % de flux sur les mois de juillet à septembre, par rapport à 2010-2017). **Les situations nutritionnelles**



ont donc été très différentes sur les secteurs côtiers avec notamment un gradient Ouest (flux bas) et l'Est (flux élevés surtout en avril et juin mais le restant en plein été).

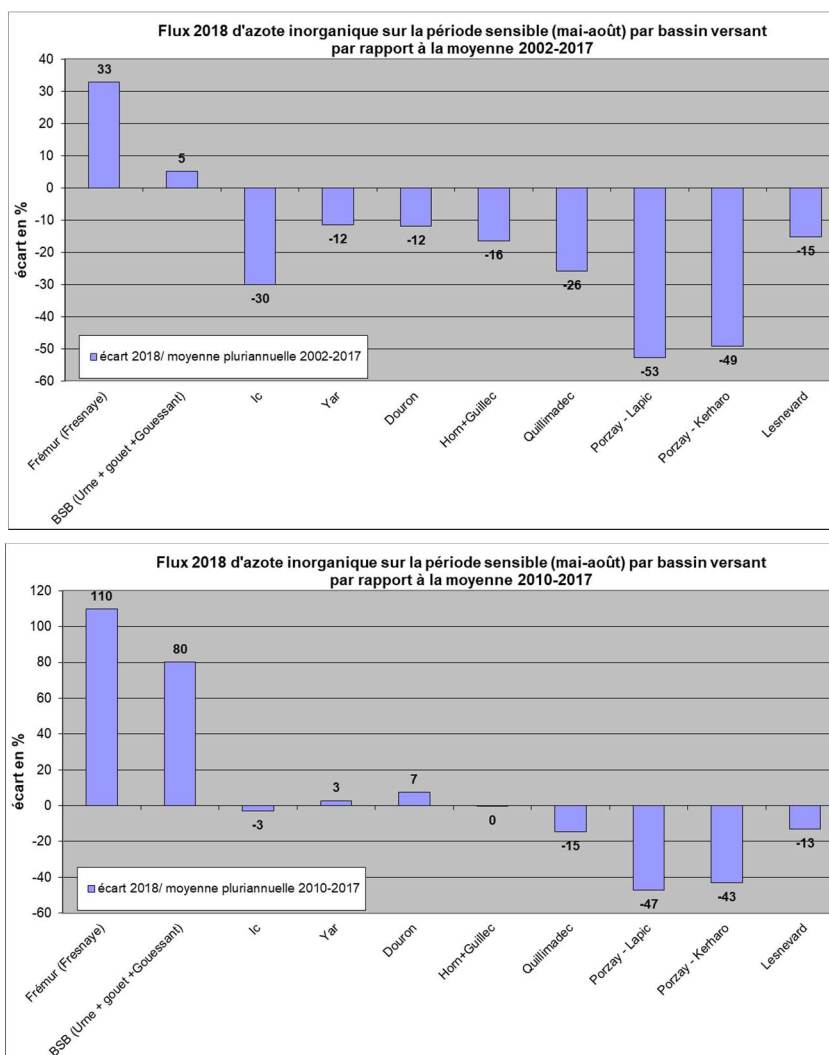


Figure 5 : Ecart, par BV, entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2018 et les flux pluriannuels. Les figures représentent respectivement la différence par rapport à 2002-2017 (a) et à 2010-2017 (b). Les différences observées s'expliquent principalement par les différences locales de pluviosité et les contextes géologiques locaux.

Comme le propose la Figure 6 (a) les débits et flux sont fortement liés aux pluviosités. Les pluies importantes de mars et juin (non présenté ici, mais valable aussi pour décembre) ont engendré des flux importants sur la fin mars, avril et surtout juin (et également sur janvier). On peut noter aussi sur la Figure 6 (b) un **ensoleillement très excédentaire** en mai, juillet puis octobre et novembre. Une analyse plus fine montre que l'ensoleillement sur la période mi-juin à mi-juillet a été particulièrement intense (par ex., sur la station de Saint Briec on relève 320 h de soleil soit 66 % d'heures de plus que la normale sur cette période). Cet ensoleillement intense correspond à une période qui suit de fortes pluies orageuses sur cette baie ayant engendré des reprises de flux très marqués (3 fois le flux moyen en juin) ; la période était donc très propice à la prolifération (nutriments azotés en abondance et fort éclaircissement).

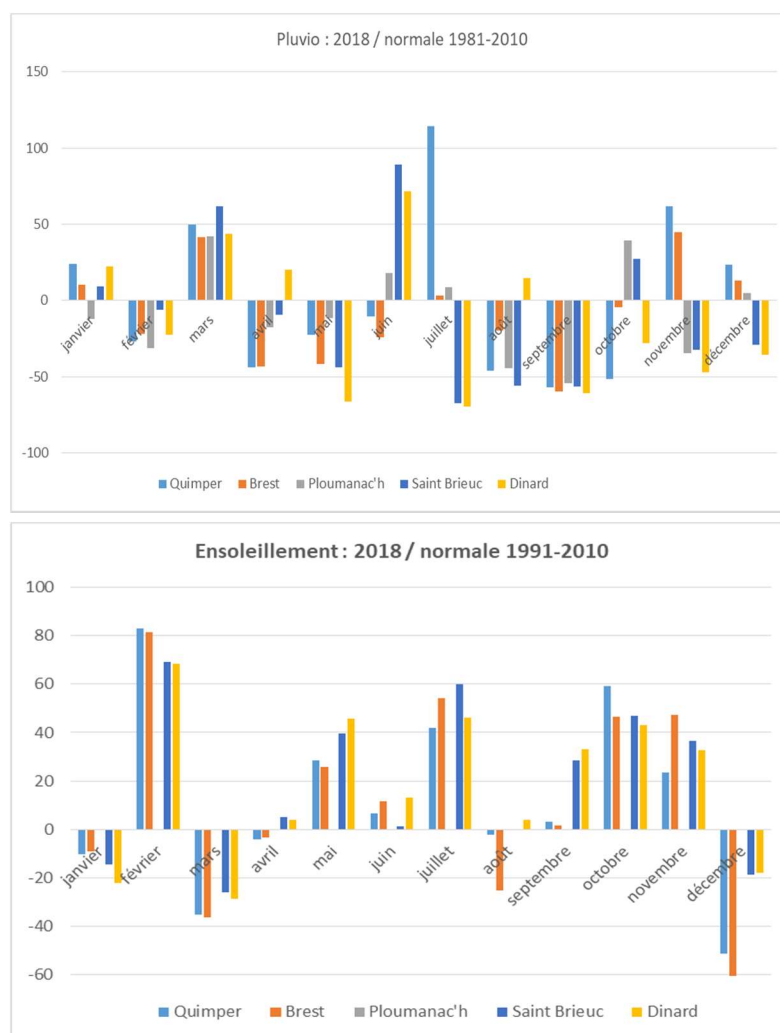


Figure 6 : Données MétéoFrance sur les différentes stations, en pluviosité (a) et en ensoleillement (b ; pas de donnée disponible sur Ploumanac'h).

Le flux est également lié aux concentrations même si ces dernières évoluent dans des intervalles beaucoup plus étroits que les débits des cours d'eau. En 2018 les concentrations en nitrates sont, sur la plupart des cours d'eau, en légère augmentation par rapport à 2017 (Figure 7). Si l'on prend 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 ») on aurait une très légère augmentation (5 % soit 1.5 mg/l sur la moyenne annuelle passant de 30.5 à 32 mg/l) mais un niveau sur l'année hydrologique 2017-2018 qui reste inférieur au niveau de l'année 2015-2016. La plupart des cours d'eau présentent ce léger rebond en concentration, sauf l'Horn, le Guillec et le Quillimadec (concentrations élevées) et le Lesnevard (très légère baisse). Pour ce qui est du Yar la moyenne de l'année hydrologique 2018 est quasiment identique à l'année antérieure (21.8 contre 21.4 mg/l). De tels rebonds ont déjà été observés dans les années antérieures (2008, 2013 par exemple) et sont liés principalement à des reprises d'écoulements (remonté des concentrations en lien avec la remonté des débits de décembre, janvier puis avril et juin). 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 (NH₄) par la Step de la ville de Saint Brieuc (induisant une diminution de près de 500 kg/jours des flux d'azote ce qui est considérable, surtout dans le cas d'année sèche).

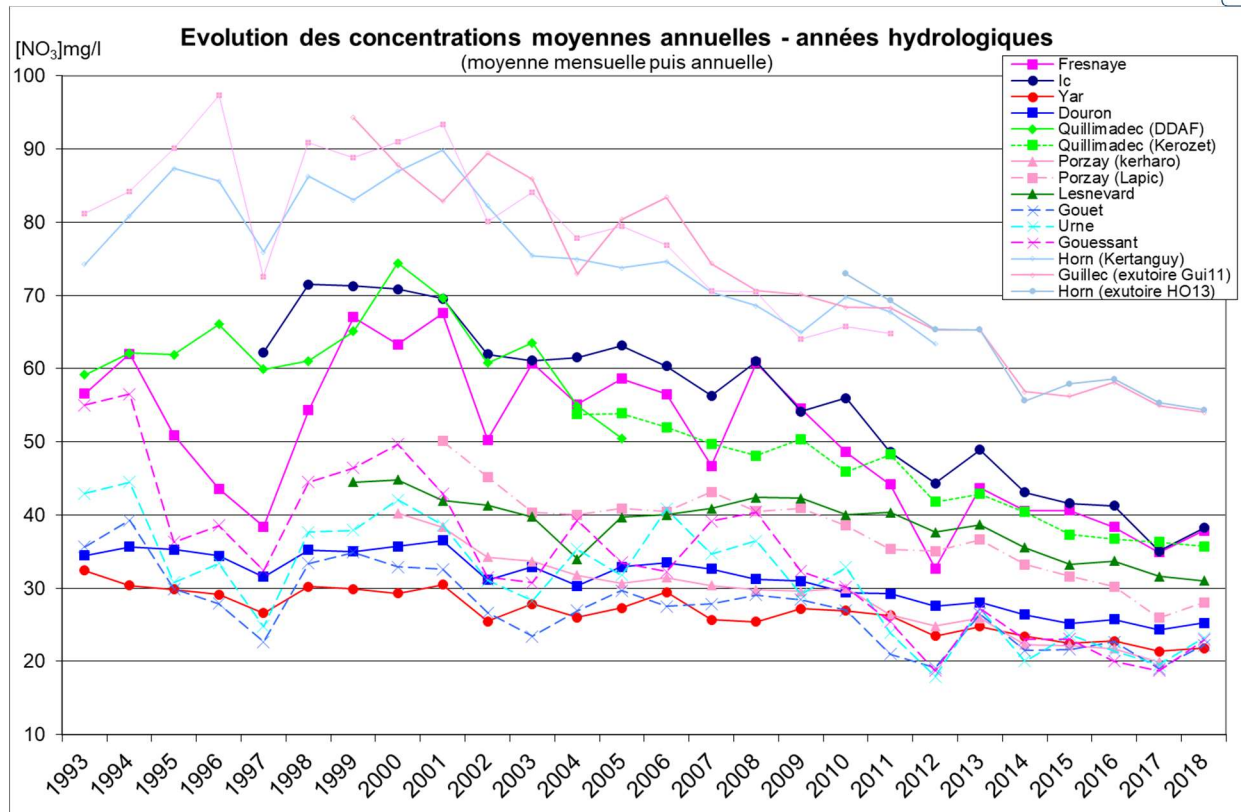


Figure 7 : Evolutions des concentrations en nitrates sur les cours d'eau suivis (moyennes mensuelles puis annuelles afin d'avoir le même poids pour chaque mois de l'année), sur tous les cours d'eau intégrés au suivi dans le cadre de ce rapport

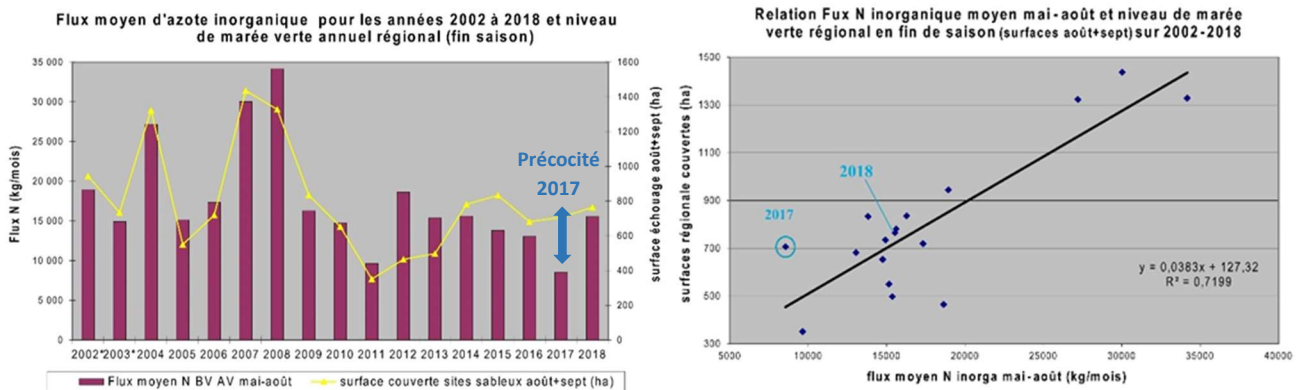


Figure 8 : Flux d'azote sur la période sensible (moyenne des flux de mai à août sur 8 baies du PLAV) et niveau de marée verte atteint en fin de saison (surface en août+septembre sur les plages bretonnes). Les surfaces couvertes par des algues brunes (ou rouges) filamenteuses notamment en 2011, 2012, 2013, 2015 et 2017 en baie de Saint Brieuc, en 2016, 2017, 2018 sur la baie de Douarnenez et depuis 2006 sur l'est du département des Côtes d'Armor) ne sont pas comptabilisées ici.

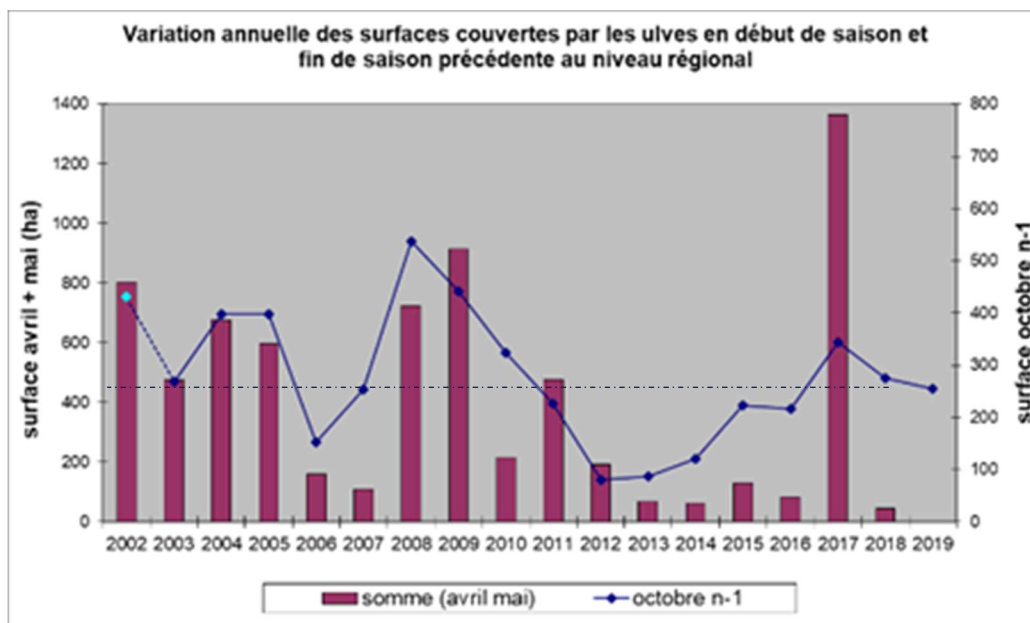


Figure 9 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015, 2016 et 2018 s'expliquent : pour 2006, 2010 et 2013, par des températures de l'eau beaucoup plus froides en hiver et en début de saison que la moyenne (environ 1 mois de retard sur les températures de l'eau sur avril-mai-juin) et pour 2007, 2013, 2015, 2016 et surtout 2014 et 2018 par le côté particulièrement dispersif de l'hiver. Le niveau plus élevé qu'attendu en début 2011 pourrait être lié aux caractéristiques de la fin de l'hiver / début de printemps particulièrement favorables (temps calme et ensoleillé). Le démarrage particulièrement précoce de 2017 est lié aux conditions hivernales très peu dispersives sur novembre-mars (et aussi avril), des températures de l'eau favorables et un éclaircissement hivernal supérieur aux normales.

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.

- ✓ **Concernant la précocité de démarrage 2018**, en début avril 2018, les éléments ci-dessous étaient proposés :
 - Les **quantités présentes en fin 2017** (octobre et encore plus nettement septembre) **étaient au niveau moyen interannuel** (2002-2016) et **inférieures de 20 %** à l'année précédente,
 - La température de l'eau **était, pour les mois de décembre à avril, sensiblement inférieure aux normales** (réseau SOMLIT à Astan, à 60 m de fond : 0.7 °C au-dessous de la moyenne pour mars et 0.5° C pour avril),
 - **L'hiver est plus dispersif** qu'en moyenne : l'hiver **2017-2018** (novembre à mars) **apparaît nettement dispersif** sur les épisodes de plus forte houle (tempêtes de mi-décembre, fin décembre/début janvier et mi-janvier). L'hiver 2017-2018 est le **2^{ème} hiver comptant le plus de jours de plus de 5.5 m** de houle derrière l'hiver 2013-2014 et compte **16 % de plus de jours de houle de plus de 4.5 m** qu'en moyenne 2003-2016. Sur l'ensemble des jours de houle de **plus de 2.5 m** l'hiver **2017-2018 présente un niveau 6 % supérieur** à la moyenne ce qui le place, sur ce critère au **4^{ème} rang sur 15 années**.

Si tous les paramètres jouant sur la reconduction pluriannuels n'allaient pas totalement dans le même sens (Figure 10), la plupart **étaient favorables à un retard saisonnier**, en particulier le caractère **dispersif de l'hiver et les températures de l'eau basses** en hiver et au printemps. On peut ajouter que l'hiver a été **très peu lumineux** (à l'exception de la dernière semaine de février) avec en particulier les **mois de décembre**,



janvier et mars qui présentait des déficits d'ensoleillement de 15 à 40 %, ce qui est aussi le cas pour la première moitié d'avril, avant le survol (de 25 à 40 % sur les stations de Brest et Saint Brieuc).

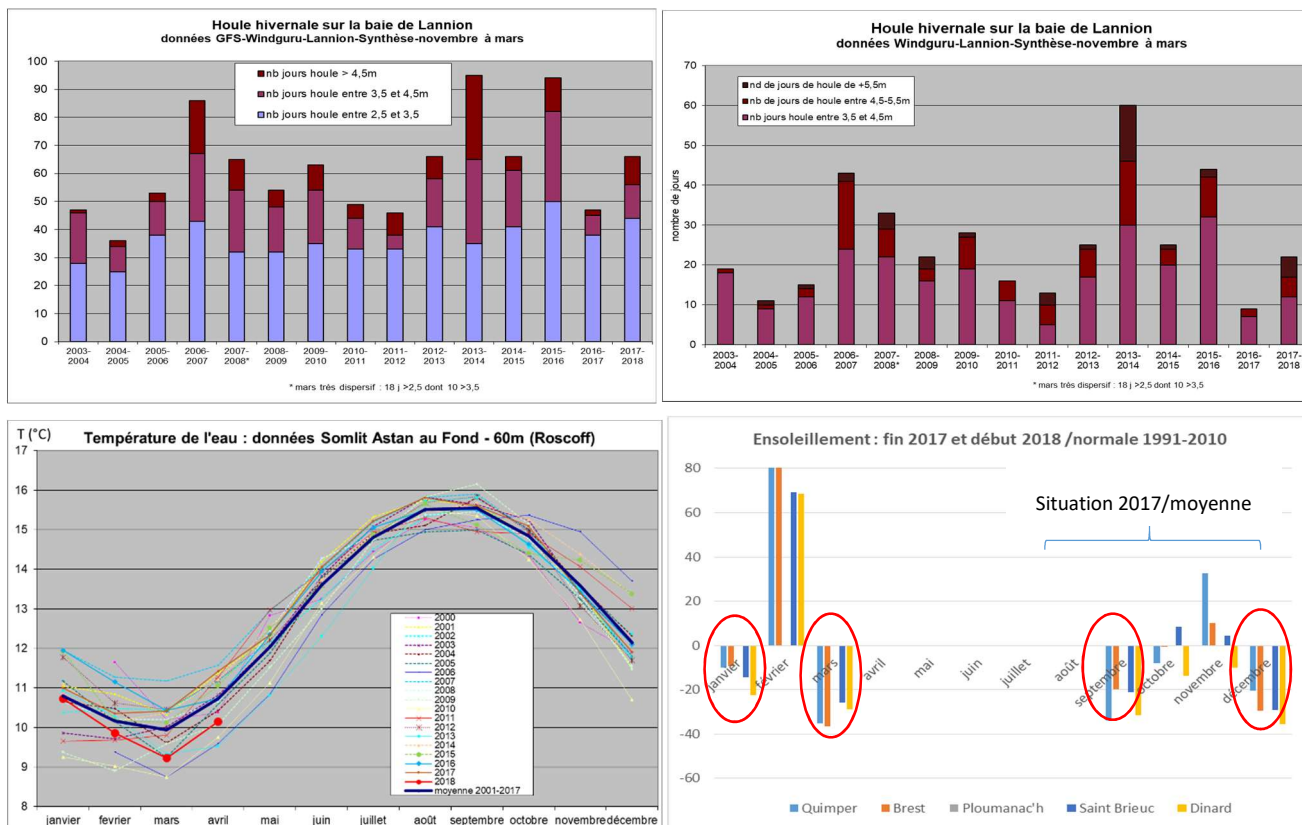


Figure 10 : Caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et avril 2018 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff) ; (d) écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce rapport.

✓ Concernant la précocité de démarrage 2019, les éléments proposés en avril 2019, au niveau régional, sont les suivants :

- Les quantités présentes en fin 2018 étaient « au niveau régional » légèrement inférieures au niveau de 2017 et à la moyenne 2002-2017 (-6 %), mais très différentes selon les sites.
- La température de l'eau était, pour les mois de janvier à mars, sensiblement supérieure aux normales (réseau SOMLIT à Astan – 60 m de fond : près de 1 °C au-dessus de la moyenne pour mars ; 0.6 pour avril),
- L'hiver est « moyennement » dispersif : l'hiver 2018-2019 (novembre à mars) présente 10 % de jours de houle de plus de 2.5 m. Mais très peu d'épisodes « très intenses » (1 jour de + de 5.5 m contre 2.55 en moyenne soit près de 3 fois moins). De plus, les conditions ont été très irrégulières (novembre décembre agités puis, après le 22 décembre, près d'un mois de calme suivi d'un épisode plus agité en fin janvier-mi-février, puis à nouveau une période de calme et un début mars agité pour finir sur une fin mars et un début avril très calme). Il est probable que de telles conditions hivernales suffisent à éloigner les ulves des baies les plus exposées (et les plus « petites ») mais ne suffisent pas pour disperser les ulves des baies moins exposées et plus vastes (baie de Saint Brieuc).



- Un hiver **nettement plus lumineux que la normale** : sur novembre-mars les stations MétéoFrance analysées indiquent un excédent d'ensoleillement, particulièrement marqué dans l'est des Côtes d'Armor (respectivement 32 et 28 % d'heures de soleil en plus que la normale sur Saint Brieuc et Dinard ; 12 et 13 % sur Quimper et Brest)

Les paramètres environnementaux (houle, lumière et température de l'eau) étaient donc plutôt favorables à une reconduction des stocks. Surtout pour les sites de grande taille, relativement abrités et présentant des stocks important en fin 2018. C'est en particulier le cas de la baie de Saint Brieuc dont les stocks en octobre 2018 étaient très élevés (+ 50 % en octobre par rapport à 2002-2017 et + 130 % par rapport à 2010-2017). Ce qui n'était pas le cas de la baie de Saint Michel en Grève (50 % de surface en moins sur octobre qu'en moyenne 2002-2017) ou baie de Douarnenez (pour la première fois, 0 ha ulves en octobre). Ces éléments conduisent à prévoir des situations très différentes, en termes de précocité, sur les différentes baies : précocité importante sur la baie de Saint Brieuc, mais retard sur les autres secteurs (baie de Douarnenez, de Saint Michel en Grève)

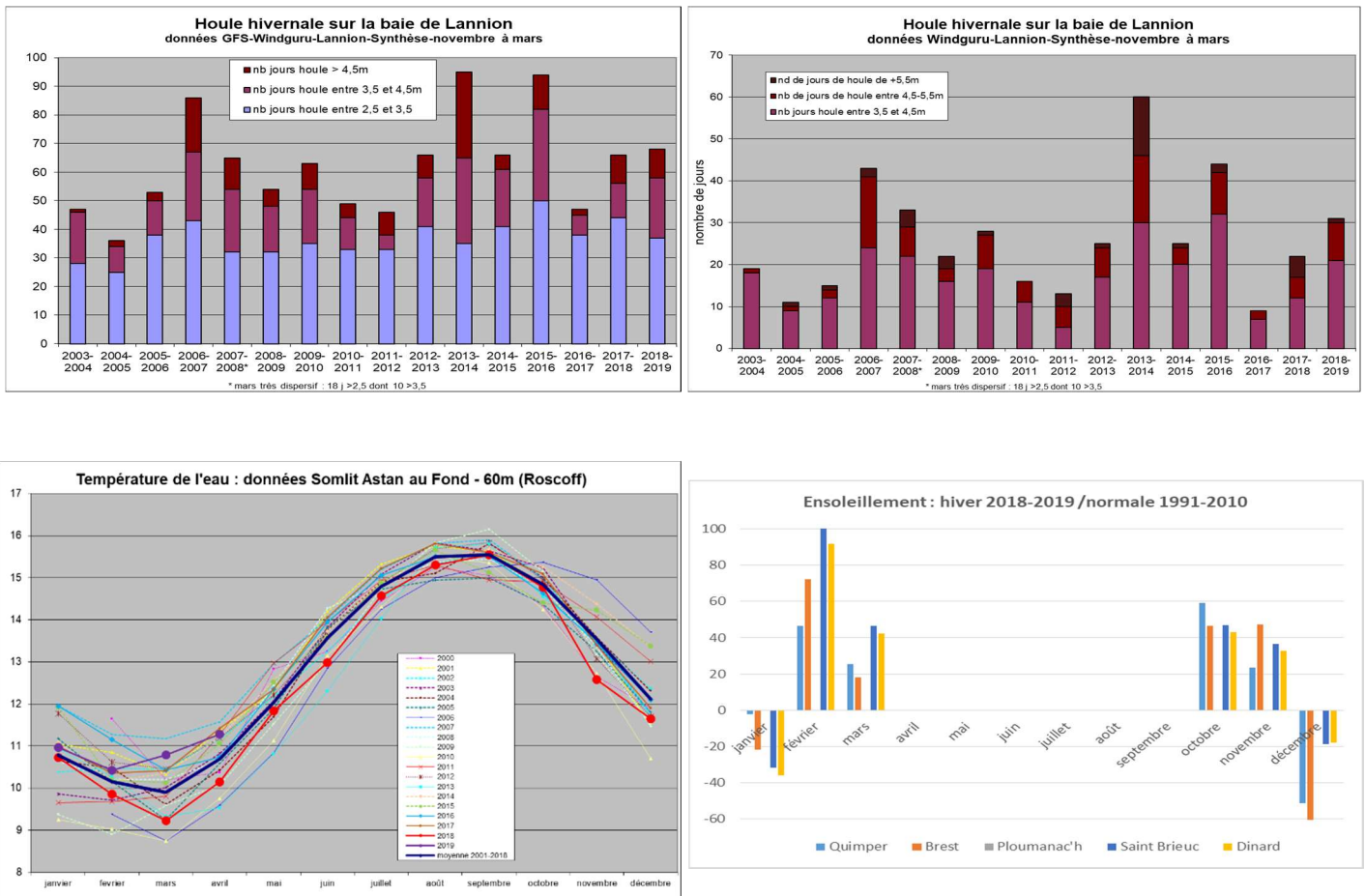


Figure 11 : Caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et avril 2019 sur 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.



✓ Premiers éléments de perception de la reconduction 2018 – 2019

Aucune estimation surfacique n'est prévue durant l'hiver (novembre-avril). Un survol des principales baies est cependant envisagé en fin d'hiver, uniquement en cas de période de calme, sur des coefficients importants (un survol dans des conditions perturbées ne montrerait rien). Les conditions ont été favorables au dépôt d'algues potentiellement présentes dans les baies et aux acquisitions aériennes en mi-février. Un vol a été réalisé le 19 février par coefficient 105 (baie de la Forêt, de Douarnenez, de l'anse du Moulin Blanc, de Locquirec/Saint Michel en Grève, anse de Binic, baie de Saint Brieuc et de la Fresnaye) complété, le même jour par des mesures de terrain sur l'estran de Saint Michel en Grève et sur celle de Saint Brieuc. **Sur le site de Saint Michel en Grève, utilisé comme indicateur régional de la reconduction des stocks**, les observations aériennes et de terrain ont permis de mettre en évidence la quasi absence d'ulves à cette période (quelques tonnes perceptibles, en mélange avec du goémon et des débris végétaux, contre autour de 1000 T en 2009 et 1500 T en 2017), dans la zone accessible aux observations.

Pour le littoral évalué, le survol a permis de relever des situations contrastées : des échouages **relativement importants sur la baie de la Forêt** (principalement anses de Saint Laurent, St Jean et plage de Kerleven) probablement même plus importants que l'année précédente (qui avait présenté des échouages très intenses, en mai). Les algues présentes étaient bien en majorité des ulves. La baie de Douarnenez était, le jour du vol vierge de tout échouage et le Moulin Blanc très peu concerné. Les sites du nord Finistère, toujours très tardifs n'ont pas été survolés (présence très probable de goémon majoritaires jusqu'en avril voire mai ou juin). La baie de Locquirec ne présentait pas d'échouage et la baie de Saint Michel en Grève, habituellement retenue comme indicatrice de la précocité régionale n'était concernée que par de très faibles échouages. Des observations de terrain le même jour ainsi que des évaluations de biomasse ont permis de préciser la situation : la surface totale couverte par les algues est très faible, limitée au tout bas d'estran côté nord Est. Les algues brunes et les débris végétaux représentent l'essentiel de la biomasse. Cependant, sur les dépôts les plus bas et le rideau au moment de la basse mer, de très nombreux petits confettis d'ulves étaient relevés. Une rapide extrapolation de ces ulves en dépôts à l'ensemble de la baie conduit à une valeur de 5 tonnes d'ulves environ. Il est possible que le rideau recèle des quantités additionnelles non perceptibles (très forte turbidité). Ce niveau est modeste pour la saison même s'il semble supérieur à l'année précédente et l'année 2014, toutes 2 exceptionnellement tardives.

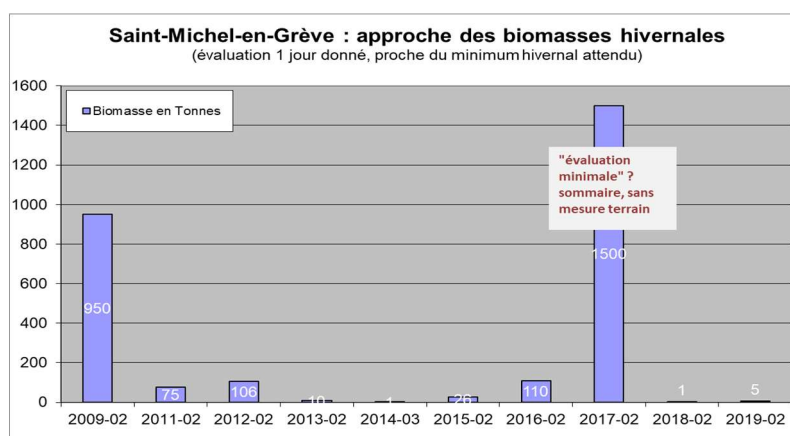


Figure 12 : Evaluation des biomasses en ulves sur la baie de Saint Michel en Grève



Sur la baie de Saint Brieuc, le survol montre des quantités d'ulves (et *Pylaiella* minoritaire ; observations lors du survol par le Ceva) déjà importantes, principalement localisées en partie basse de l'estran avec des surfaces qui seraient déjà de l'ordre de 15 ha (soit supérieur au niveau mesuré sur cette baie en avril 11 années sur 17 ; pas de mesure habituellement sur cette baie en février ni mars). Cela confirme donc que les ulves sont encore bien présentes sur la baie en ce 19 février et pourrait donc impliquer, en cas de poursuite d'un temps calme et ensoleillé, particulièrement propice au maintien et même à la croissance des ulves, un démarrage précoce sur cette baie. La présence d'ulves en baie, mesurée le 19 février, avait été reportée au Ceva par Saint Brieu Agglo et la Réserve de la Baie le 18 janvier, signe que les stocks importants de la saison précédente étaient encore bien présents à cette date.

La baie de la Fresnaye était concernée par des échouages d'algues qui semblent être des algues brunes filamenteuses (pas de retour de terrain en février et domination de ces algues en début avril).

Ces premières observations permettent donc de consolider l'hypothèse d'un démarrage qui pourrait être précoce en baie de Saint Brieu (et baie de la Forêt ?) mais plutôt tardif ailleurs. Du moins dans l'hypothèse de conditions peu dispersives sur la fin février et le mois de mars. Les conditions de temps calme, chaud et très ensoleillé de la fin février étaient particulièrement favorables pour déclencher précocement le démarrage de la prolifération. Il est pour autant possible que des conditions dispersives sur la fin février ou sur le mois de mars permettent encore la dispersion des stocks actuellement présents, en particulier pour les baies les plus petites et les plus instables.

2.5. Veille thématique internationale

2.5.1. Contexte et objectif

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

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

2.5.2. Matériel et méthodes

2.5.2.1. Veille documentaire

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

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



La recherche documentaire a été centrée sur l'année 2018 complétée par le début de l'année 2019. Au total, 47 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. Descriptions locales du phénomène des marées vertes

Asie

Comme les années précédentes, l'année 2018 compte une majorité d'études concernant l'Asie et les marées vertes du nord de la Mer Jaune. De nombreux articles traitent de l'origine de la marée verte principalement représentée par l'espèce *Ulva prolifera* dont l'initiation semble être en très grande partie liée à la présence des structures aquacoles destinées à la culture de l'algue rouge alimentaire *Pyropia yezonesis* et qui se trouvent être colonisées par les algues vertes. De nouvelles publications ont confirmé ce diagnostic. Le traitement d'images satellites par Xing et al. (2018) a montré que l'initiation du bloom d'algues vertes se déroulait bien au niveau du plateau de Jiangsu où sont présentes les structures aquacoles. L'étude a également permis de suivre la dérive en mer et la croissance du bloom d'algues vertes en direction de la péninsule de Shandong. Zhang et al. (2018) ont montré par analyse génétique que les algues vertes *U. prolifera* fixées aux structures aquacoles étaient corrélées aux algues vertes se développant en mer Jaune. D'autres auteurs dont Zhao et al. (2018) soulignent le risque d'invasion biologique par l'écotype de l'algue dérivante *U. prolifera* et une pression importante sur l'écosystème local en raison des dépôts en algues vertes accumulés durant la période estivale.

Les autres éléments publiés pour ce secteur sont résumés dans le tableau suivant.

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Cui et al. 2018	Mer jaune ; Chine	Ce travail expérimental a confirmé que les proliférations de macroalgues provenaient de la zone d'aquaculture de Pyropia sur la côte du Jiangsu, au sud de la mer Jaune . Sous l'action des forces liées au vent et au courant de surface, il a fallu environ 45 jours pour que les algues flottantes <i>Ulva</i> dérivent dans le nord de la mer Jaune. Les résultats indiquent que la reproduction sexuée et la croissance végétative sont principalement responsables de l'expansion rapide des proliférations de macroalgues dans la mer Jaune . L'article fournit une base théorique et expérimentale pour décrire le mécanisme à l'origine de la plus grande prolifération de macro-algues enregistrée au monde.
Fu et al. (2019)	Mer Jaune / Chine	Mesures de la force de flottabilité d'<i>U. prolifera</i> de mai à juillet 2017 en plusieurs stations (Figure 13) mettant en évidence un avantage compétitif de cette espèce dérivante par rapport aux autres espèces proliférantes classiquement observable en début de saison (l'algue rouge <i>Pyropia yezoensis</i> et les algues vertes <i>Blidingia sp.</i> et <i>U. linza</i>). Ces mesures permettent d'expliquer 1/ le changement brutal de la composition des espèces entre la phase fixée et la



phase dérivante 2/ la prédominance d'*U. prolifera* dans les marées vertes se développant en Mer Jaune.

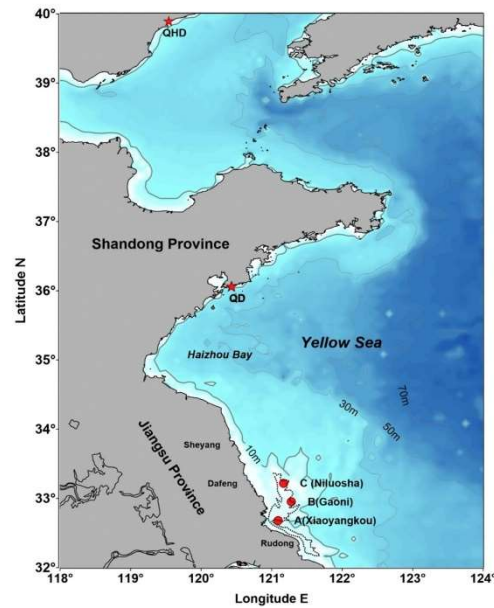


Figure 13 : Localisation des stations utilisées pour les mesures de flottabilité des espèces proliférantes (Fu et al. 2019, p. 303)

Hu et al. (2019)	Mer Jaune / Chine	Proposition d'une méthode objective permettant de mieux comptabiliser les pixels en algues des pixels sans algues par traitement d'images satellites au moyen de l'indice FAI (Floating Algae Index) et d'une méthode innovante réduisant les erreurs. La méthode est basée sur la construction d'une image en gradient corrigée (cGFAI) afin d'identifier les pixels contenant des algues, et d'une seconde image qui fournit des valeurs de seuil pour représenter le taux de couverture 0% en algues. Si d'autres incertitudes demeurent (angles de vision larges ou turbidité atmosphérique élevée), cette approche réduit largement les artéfacts de traitement liés aux sédiments en suspension, à la turbidité atmosphérique et à la coloration de l'eau sur les estimations finales de la couverture algale.
Hu et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	Article traitant d'une nouvelle méthode de prévision de la dérive des algues proliférantes au moyen d'un modèle numérique océanique associé à un modèle de prédiction non linéaire établi par la méthode du réseau de neurone artificiel . Le modèle a été utilisé pour prédire le début de la dérive des marées vertes l'année suivante en se basant sur six indicateurs de variabilité climatique. Les auteurs concluent que cette étude fournit de nouveaux moyens pour la prévention des catastrophes liées aux marées vertes.
Miao et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	Evaluation à grande échelle de l'abondance et de la succession de la communauté de micro-propagules en lien avec le développement de la marée verte dans les eaux côtières de Qingdao. Les mesures menées de mars 2016 à mars 2017 en quatre stations montrent que les propagules d'<i>U. prolifera</i> (espèce responsable des marées vertes en Mer Jaune) ne sont dominantes qu'en été . Aucune propagule d' <i>U. prolifera</i> n'a été détectée au cours de l'hiver suivant, ce qui indique que l'influence de la marée verte à grande échelle fut transitoire et qu'elle n'a pas laissé de semences à long terme dans les eaux côtières de Qingdao.
Sun, Xiao et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	Etude par analyse d'images acquises en 2015 par les satellites HJ-1 CCD, MODIS et GOCI de l'impact de la prolifération d'<i>U. prolifera</i> sur la concentration en chlorophylle-a d'origine phytoplanktonique . Les résultats montrent globalement une corrélation négative entre la surface en algues vertes et la teneur en chlorophylle-a ce qui suggère que les proliférations d' <i>U. prolifera</i> ont potentiellement altéré l'équilibre écologique des eaux côtières de la mer Jaune méridionale.



Wang, Shiyang et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	Article traitant de la composition des espèces du genre Ulva et des variations saisonnières de ces espèces entre 2009 et 2015 en Mer Jaune . L'étude basée sur la combinaison de l'analyse morphologique et génétique montre que les espèces dominantes parmi la communauté d'algues dérivante du genre <i>Ulva</i> au début des marées vertes étaient <i>Ulva compressa</i> , <i>Ulva flexuosa</i> et <i>Ulva linza</i> . La première apparition d' <i>U. prolifera</i> à la surface de la mer a eu lieu à la mi-mai 2009 et cette espèce a dominé la communauté flottante d' <i>Ulva</i> de 2009 à 2011. De 2012 à 2015, <i>U. prolifera</i> a non seulement été la première espèce à apparaître à la surface de la mer, mais également l'espèce dominante au début de la marée verte.
Wei et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	L'étude des processus hydro-biochimiques par des séries de mesures en été en mer Jaune montre que le système d'upwelling, au large du plateau de Subei, en apportant un supplément d'éléments nutritifs pourrait favoriser le développement de la marée verte à <i>U. prolifera</i> et son expansion durant la phase dérivante au sein de la vaste zone côtière du Jiangsu.
Xiao et al. (2019)	Mer Jaune / Chine	Article dédié à la télédétection satellitaire pour estimer la biomasse flottante d' <i>U. prolifera</i> et les principaux facteurs à l'origine de la variabilité interannuelle de la biomasse en mer Jaune. L'étude montre une forte corrélation entre la biomasse totale d'<i>U. prolifera</i> et le flux en éléments nutritifs provenant de la rivière Sheyang (plus grande rivière de la côte nord de la province du Jiangsu). Les auteurs rappellent également la contribution de la culture de Porphyra à l'initiation de la marée verte dans la province du Jiangsu.
Xing et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	Suivi par traitement d'images satellites du développement des algues vertes au niveau du plateau de Jiangsu et de leur dérive en mer en direction de la péninsule de Shandong (Figure 14). Dans le but de limiter le phénomène de prolifération de la marée verte (et des sargasses), les auteurs proposent 1/ de collecter en mer au stade précoce les algues vertes 2/ mettre en place un système régional de surveillance par satellite au-dessus de la mer Jaune et de la mer de Chine pour faciliter le plan de collecte de la prolifération des macroalgues flottantes (algues vertes et sargasses) 3/ de recourir à des images satellites à haute résolution pour détecter les premières floraisons et estimer leur biomasse.

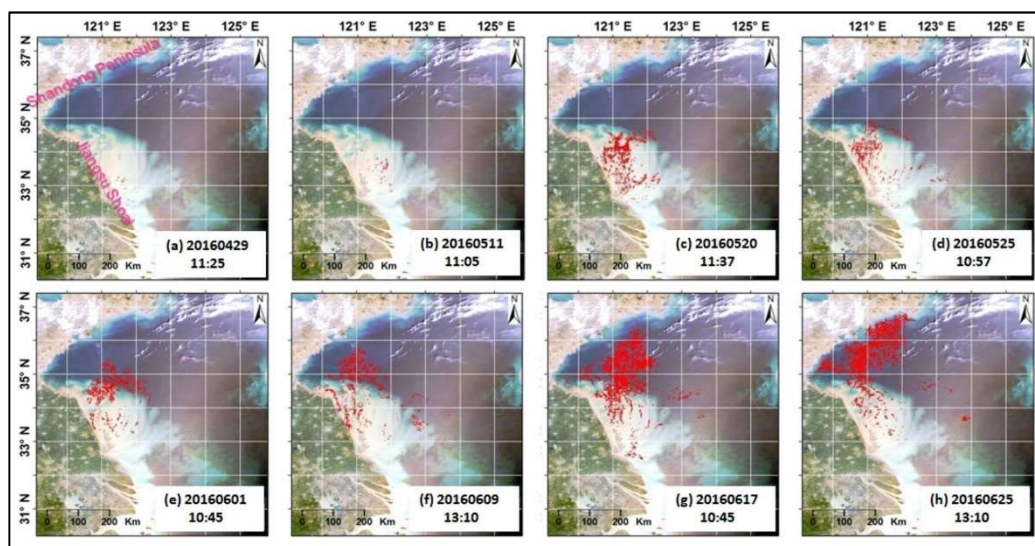


Figure 14 : Evolution entre le 29 avril et le 25 juin 2016 de la marée verte depuis la plateau de Jiangsu jusqu'à la péninsule de Shandong Xing et al. (2018, p. 153)

Xu et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	Estimation de la biomasse totale en algues vertes fixée aux structures aquacoles par traitement d'une image satellite Sentinel-2A associé à des images drone . L'indice NGRDI (normalized green-red difference index)
------------------	-------------------	--



appliqué aux images drones a permis d'estimer le taux de couverture moyen des algues vertes fixées aux structures aquacoles ainsi que la biomasse en place. Les auteurs estiment pour l'année 2017 à 1000 tonnes le stock d'algues vertes fixées aux structures aquacoles dont 700 tonnes qui ont jetées à la mer après la récolte de *P. Yezoensis*.

Zhang et al. (2018) Mer Jaune / Chine

Mise en évidence de la **corrélation génétique entre les algues vertes *U. prolifera* fixées aux structures aquacoles présentes au niveau du plateau de Subei et les algues vertes se développant en mer Jaune** confirmant le rôle prépondérant des structures aquacoles dans le développement de l'une des plus grandes marées du monde.

Zhao et al. (2018) Mer Jaune / Chine

L'article met en évidence le **risque d'invasion biologique par l'écotype de l'algue dérivante *U. prolifera*** et la pression importante exercée sur l'écosystème local. Les mesures montrent que la proportion de l'écotype *U. prolifera* dans les propagules d'*Ulva* était élevée lorsque les dépôts en algues vertes se sont accumulés en juillet (Figure 15).

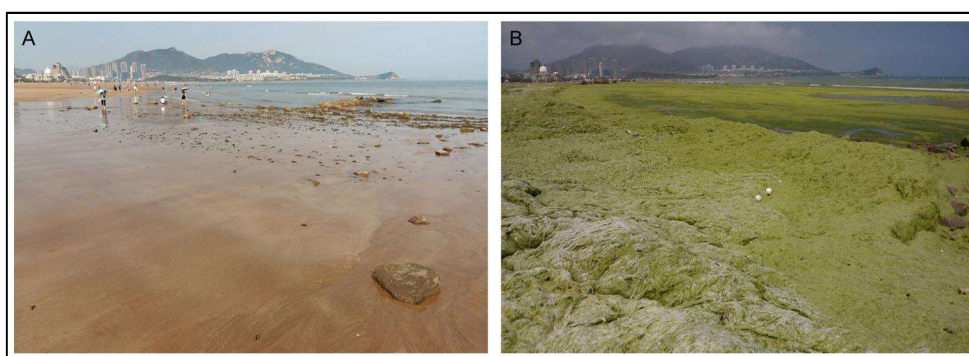


Figure 15 : Impact en mer Jaune de la marée verte sur le secteur côtier de Qingdao. A) Plage avec absence de marée verte. B) Plage avec prolifération de l'algue verte dérivante *U. prolifera* Zhao et al. (2018, p. 12)

Amérique

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Chávez-Sánchez et al. (2018)	Golfe de Californie / Baie de La Paz	Présence d'un bloom à algues vertes en baie de La Paz, variable selon le site et la saison. Huit espèces d' <i>Ulva</i> ont été identifiées : <i>U. acanthophora</i>, <i>U. clathrata</i>, <i>U. flexuosa</i>, <i>U. intestinalis</i>, <i>U. lactuca</i>, <i>U. lobata</i>, <i>U. nematoidea</i> et <i>U. rigida</i> . Les auteurs ont étudié la reproduction de ces espèces dans leur environnement naturel . Il en ressort que 1/ Le stade de reproduction et la biomasse varient en fonction du site et de la saison 2/ Cinq espèces ont présenté quatre phases de reproduction (végétatif, début de la reproduction, thalle avec formation de zooïdes totalement différenciés et cellules vides après la libération des zooïdes) 3/ pour les espèces restantes, seuls des thalles végétatifs ont été trouvés 4/ <i>U. rigida</i> présentait les valeurs de biomasse les plus élevées, suivi de <i>U. acanthophora</i> , suivant un schéma saisonnier.

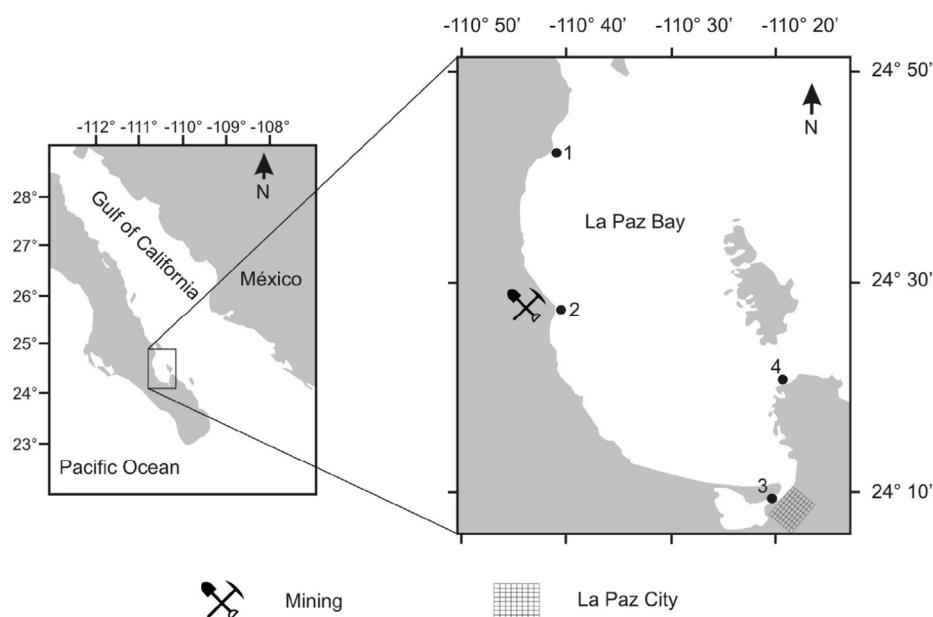


Figure 16 : Sites d'études des différentes espèces d'ulve. 1. El Portugués, 2. San Juan de la Costa, 3. Casa del Marino, 4. El Tecolote. Chávez-Sánchez et al. (2018, p. 203)

Europe

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Bermejo et al. (2019)	Irlande / Estuaires de Tolka et d'Argideen	Article traitant des différences morphologiques entre les ulves de type dérivantes à morphologie laminaire et celles fixées à morphologie tubulaire . Les auteurs notent que ces différences doivent être prises en considération dans la mise en place de programmes de surveillance qui utilisent l'espèce <i>Ulva</i> comme bioindicateur de la qualité de l'environnement et de l'état écologique étant donné 1/ les données de suivi acquises sur deux estuaires Irlandais montrent au cours du bloom un changement de la morphologie générale des ulves qui alternent entre une population largement tubulaire en début du printemps à une population mixte durant été et l'automne et 2/ les facteurs environnementaux contrôlant le bloom des ulves à morphologie tubulaire et laminaire sont différents. L'article indique également que les ulves à morphologie tubulaire (ulves fixées) pourraient jouer un rôle important dans l'équilibre nutritionnel des estuaires car elles sont susceptibles d'être enfouies dans le sédiment et de favoriser l'accumulation de nutriments dans les eaux interstitielles et les sédiments. Les auteurs en concluent que l'accumulation d'éléments nutritifs dans les sédiments pourrait constituer un réservoir pour d'autres proliférations et limiterait <i>in fine</i> l'impact de mesures de gestion telles que la réduction des charges en éléments nutritifs

2.5.3.2. Descriptions locales d'autres types de proliférations macroalgales

Sargassum spp.

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Anonyme (2018a)	Antilles	Article de presse « Franceinfo » relatant le malaise de la population face à la prolifération des sargasses , la dangerosité pour la santé humaine liée à leur putréfaction (odeur nauséabonde et gaz toxique composé d'hydrogène sulfuré et d'ammoniac) et le besoin d'un soutien de l'état . Le vendredi 28 septembre 2018, l'Etat Français a confirmé la mise en œuvre d'un plan de lutte contre les sargasses par un « co-financement d'un plan d'équipement des



territoires à hauteur de 4 à 5 millions d'euros sur 2018-2019 au sein d'un plan global d'équipement qui s'élèvera à 12 millions d'euros ».

Anonyme (2019a) Guadeloupe

Article de presse « Franceinfo » informant de la création de l'Association Jeunesse Lamentinoise (AJL) dont l'objectif est le ramassage des sargasses en partenariat avec le Conservatoire du littoral et la Ville. Leur mission est de collecter les sargasses et d'en faire des tas à la main (Figure 17).



Figure 17 : Ramassages des sargasses sur la plage de Viard par les agents de l'AJL, plage protégée à cause de la ponte de tortues. (Photo DR) Anonyme (2019a)

Anonyme (2019b) Guadeloupe

Article du quotidien « France-Antilles Guadeloupe » relatant la mise en place d'une **caméra installée pour suivre les échouages de sargasses afin de renforcer les outils de prévision des échouages**. Cette caméra est la première d'un projet porté par l'ADEME, la DEAL et le BRGM visant à mettre en place un réseau de suivi par caméra autonome sur les principales façades de l'archipel exposées aux échouages de sargasses.

Anonyme (2019c) Guadeloupe

Reportage diffusé sur « France 3 télévision » expliquant les causes probables des échouages massifs de sargasses ces dernières années sur les plages de Guadeloupe. Sandrine Ruitton (chercheuse biologiste) évoque 1/ **un enrichissement en éléments nutritifs au large des côtes du bassin amazonien** en lien avec l'agriculture 2/ le **réchauffement climatique** susceptible de rendre plus favorable le développement des sargasses.



Le Monde (2019d) Guadeloupe

Article relatant le **retour des sargasses en Guadeloupe**. Le préfet Philippe Gustin confie à l'Agence France-Presse que le volume est proche de celui ramassé en mars 2018. Il présente également les dispositifs de lutte contre le fléau : le « **kit sargasses** » pour les communes, qui procure aux élus locaux du matériel de ramassage, une surveillance accrue du phénomène et des systèmes de marchés publics facilités pour permettre le ramassage en quarante-huit heures, conformément aux annonces faites par l'ancien ministre de la transition écologique, Nicolas Hulot, lors de sa visite aux Antilles en 2018.



Figure 18 : Au Gosier en Guadeloupe le 23 avril 2018. HELENE VALENZUELA Le Monde (2019d)

Putman et al. (2018) Atlantique équatoriale / Mer des Caraïbes

Simulation du transport des sargasses en Atlantique équatoriale au moyen du modèle océanique HYCOM par suivi des trajectoires lagrangiennes de 30 000 particules fictives. Une analyse statistique est ensuite opérée entre les résultats du modèle et la couverture moyenne annuelle en sargasses obtenue par traitement d'images satellites. Les résultats indiquent que les sargasses présentes à l'ouest de l'Atlantique équatorial (à l'ouest de 50 ° de longitude ouest) ont une forte probabilité d'entrer dans la mer des Caraïbes dans un délai d'un an. Les simulations expliquent près de **90% de la variation annuelle de l'abondance observée des sargasses dans la mer des Caraïbes**. Les auteurs concluent que ces résultats fournissent un point de départ utile pour prédire les échouages des sargasses le long des îles des Caraïbes et ce, bien avant leur apparition.

Sánchez et Fernández (2018) Espagne

Etude de **l'impact entre 2001 et 2004 de *Sargassum muticum* sur les assemblages de macroalgues du nord de l'Espagne**. Les auteurs concluent qu'en raison de la répartition hétérogène de *S. muticum* dans le nord de l'Espagne, l'effet global de cette espèce peut être considéré comme minime, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle du bassin d'une localité.

[Pylaiella spp.](#)

Aucun élément trouvé cette année pour cette catégorie.

[Asparagopsis spp.](#)

Aucun élément trouvé cette année pour cette catégorie.

[Gracilaria spp.](#)

Aucun élément trouvé cette année pour cette catégorie.



2.5.3.3. *Éléments contribuant au développement des marées vertes*

Facteurs anthropiques

- Apports excessifs en nutriments

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Yuan, Huamao et al. (2018)	Jiaozhou Bay ; Chine	La dynamique spatio-temporelle des éléments nutritifs dissous et particuliers a été étudiée en 2015-2016 dans la baie de Jiaozhou (JZB) . La rive Est de JZB est densément peuplée et la région Nord-Est est un centre industriel produisant divers types de rejets de déchets industriels via les rivières Moshui, Baisha, Loushan et Licun. La côte Ouest est la principale zone de conchyliculture et la rivière Dagou, la plus grande rivière d'évacuation d'eau douce, traverse les terres agricoles et draine des zones riches en éléments nutritifs et en ruissellement des terres agricoles du Nord-Ouest vers la baie. Par conséquent, les sources terrestres et fluviales étaient à l'origine des niveaux élevés d'éléments nutritifs dans le Nord-Est et le Nord-Ouest de JZB .
van Alstyne (2018)	Ship Harbor, Washington, USA	Une expérience a été menée dans laquelle des macroalgues (<i>U. lactuca</i> et <i>U. obscura</i>) ont été cultivées dans de l'eau de mer artificielle à différents taux de nitrates et sous divers niveaux d'éclairage. Les résultats montrent que ces deux facteurs influencent indépendamment la croissance des ulves testées.

- Aquaculture

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Yang et al. (2018)	Mer Jaune ; Chine	La combinaison de l'élevage de crustacés , qui accroît l'eutrophisation des eaux du Jiangsu, et la culture de Nori , qui offre des installations pour la colonisation et le développement des jeunes ulves, semble jouer un rôle majeur dans les marées vertes en mer Jaune. La croissance rapide et simultanée de ces deux activités, dans les années qui ont précédé le développement massif des marées vertes en mer Jaune, est considérée comme un indice de leur rôle déclencheur dans le développement des marées vertes.
Jin et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	Cette étude explore l'impact des facteurs anthropiques et environnementaux sur le développement annuel d'<i>U. prolifera</i> de 2011 à 2016 , en combinant et en analysant diverses sources d'images géostationnaires (chlorophylle, particules en suspension et facteurs environnementaux). Trois phases de croissance ont été définies (phase initiale, phase d'expansion et phase de dispersion) afin de faciliter l'analyse de la relation entre les facteurs environnementaux et les conditions de croissance d' <i>U. prolifera</i> . La culture d'algues est décrite comme l'un des facteurs influençant la biomasse algale au cours de la phase initiale .

- Autres facteurs d'origine anthropique

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Wang, Baodong et al. (2018)	Chine	Ce travail dresse un historique de l'eutrophisation des eaux côtières chinoises au cours des 40 dernières années . La dynamique de l'évolution de l'eutrophisation est décrite comme corrélée à celle du PIB chinois.



Facteurs environnementaux abiotiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Jin et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	Cet article explore l'impact des facteurs anthropiques et environnementaux sur le développement annuel d'<i>U. prolifera</i> de 2011 à 2016 , en combinant et en analysant diverses sources d'images géostationnaires (chlorophylle, particules en suspension et facteurs environnementaux). Trois phases de croissance ont été définies (phase initiale, phase d'expansion et phase de dispersion) afin de faciliter l'analyse de la relation entre les facteurs environnementaux et les conditions de croissance d' <i>U. prolifera</i> . La température de surface de la mer (SST) et l'intensité lumineuse ont influencé la biomasse algale au cours de la phase initiale; la transparence de l'eau de mer, les précipitations et la vitesse du vent ont affecté les algues pendant la phase d'expansion; et la SST, l'irradiance intense et les opérations de nettoyage ont augmenté le taux d'extinction des algues au cours de la phase de dissipation.
Li, Yahe et al. (2018)	Xiangshan, Ningbo ; Chine	Cette étude évalue la réponse des macroalgues de type <i>Ulva prolifera</i> (respiration, chlorophylle a et croissance) à différentes concentrations en CO₂ et différents régimes de lumière (photopériodes) . Les résultats indiquent qu'une teneur élevée en CO ₂ pourrait augmenter la croissance d' <i>U. prolifera</i> et que cette augmentation pourrait être renforcée par l'augmentation de la période de jour. Ainsi, l'acidification des océans pourraient avoir pour effet d'accentuer le développement des phénomènes de Marée verte.
van Alstyne (2018)	Ship Harbor, Washington, USA	Une expérience a été menée dans laquelle des macroalgues (<i>U. lactuca</i> et <i>U. obscura</i>) ont été cultivées dans de l'eau de mer artificielle à différents taux de nitrates et sous divers niveaux d'éclairage . Les résultats montrent que ces deux facteurs influencent indépendamment la croissance des ulves testées .
Wei et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	Cette étude combine des observations in situ (relevés physico-chimiques) avec des données satellite et des données historiques afin d' analyser les effets de l'eutrophisation et des apports en nutriments via les upwellings dans la zone d'étude . Les résultats montrent une synergie des effets.
Wu et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	La croissance et l'efficacité photosynthétique d'<i>Ulva prolifera</i> ont été étudiées à différentes de températures (18, 22 et 26 °C) et intensités lumineuses (44, 160, et 280 μmol.m⁻².s⁻¹) . Les résultats suggèrent que des températures plus basses pendant la saison chaude augmentent la biomasse et peuvent provoquer une marée verte à grande échelle .

Facteurs biologiques

- Métabolisme

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Fort et al. (2019)	Irlande, Pays-Bas	Etude de la croissance, des caractéristiques physiologiques et métaboliques de 49 souches d'<i>Ulva</i> spp. à l'aide d'une plate-forme de phénotypage à haut débit sur mesure, de dosages enzymatiques et d'une spectrométrie de masse chromatographie en phase gazeuse. Les résultats montrent une large variabilité naturelle des caractéristiques de croissance et de métabolisme , avec des taux de croissance variant de 0,09 à 0,37 mg.mg⁻¹ jour⁻¹ . <i>Ulva</i> spp possède un modèle de croissance et un métabolisme primaire unique par rapport aux plantes terrestres, avec des taux de croissance plus élevés pendant la nuit qu'en période de jour . Il a été observé une accumulation des nitrates pendant la nuit dans les tissus d'<i>Ulva</i> et une corrélation positive entre le processus d'accumulation/consommation de nitrates et la croissance. Six acides aminés ont été identifiés comme largement impliqués dans la croissance d' <i>Ulva</i> (biomarqueurs potentiels de croissance). Les auteurs concluent que la grande variabilité de la croissance et de l'accumulation de métabolites enregistrée parmi les souches d'<i>Ulva</i> morphologiquement similaires suggèrent l'intérêt de la mise en place de sélection des souches pour



augmenter la biomasse, les rendements en métabolites et l'élimination des nutriments par les ulves dans l'industrie aquacole en pleine essor.

Wang, Shiyang et al. (2018)
Mer jaune ; Chine

Afin d'expliquer le mécanisme de succession algale observé à l'échelle annuelle ou pluriannuelle (2009 à 2015), l'impact des facteurs environnementaux sur la croissance de quatre espèces d'*Ulva* (*Ulva prolifera*, *Ulva compressa*, *Ulva flexuosa* et *Ulva linza*) ont été examinés en laboratoire sous différentes **combinaisons d'intensité lumineuse et de température**. Il a été constaté que le taux de croissance le plus élevé d'*U. prolifera* était de 44,9% / j, ce qui était beaucoup plus élevé que celui des trois autres espèces d'*Ulva*. La **forte tolérance d'*U. prolifera* aux conditions extrêmes de température et intensité lumineuse élevées serait également à l'origine de sa survie et de sa prolifération** en mer Jaune.

- Reproduction et cycle biologique

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Cui et al. 2018	Mer jaune ; Chine	Les différences de germination entre les zygotes, les méiospores et les gamètes ont été examinées. La capacité de croissance et la période de maturation de générations alternées de souches sexuelles d' <i>Ulva prolifera</i> ont également été évaluées. Les taux de germination des zygotes et des méiospores étaient respectivement de 91,67% et 80,29%, soit environ trois fois plus que celui des gamètes (30%). En outre, les taux de croissance quotidiens les plus élevés des sporophytes et des gamétophytes étaient de 266,7% et 288,1%, respectivement, et les périodes de maturation des sporophytes et des gamétophytes étaient de 35,7 et 31,3 jours, respectivement. Ces résultats indiquent que la reproduction sexuée et la croissance végétative sont toutes deux responsables de l'expansion rapide des proliférations de macroalgues en mer Jaune.

- Compétition / Prédation

Aucun élément trouvé cette année pour cette catégorie.

2.5.3.4. Contrôle nutritionnel et autres facteurs limitant les marées vertes

Contrôle nutritionnel

Aucun élément trouvé cette année pour cette catégorie.

Facteurs anthropiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Chen et al. (2019)	Shengsi Island ; China	Cet article suggère que le flux de Si avec un rapport Si / N plus élevé par le rejet d'eau interstitielle pourrait fortement influencer le bilan et le cycle du Si , car ce Si dérivé de l'eau interstitielle peut compenser la diminution du flux de Si provenant de sources fluviales en raison de l'activité humaine (c.-à-d. construction de barrages, réservoirs). Il a été constaté que le rapport Si / N de l'eau interstitielle (0,92) dans la zone d'étude était comparable à ce qui est observé dans les eaux côtières de la zone (0,83) mais significativement supérieur au rapport Si / N (0,68) de l'eau de la rivière dans l'estuaire du Yangtze, ce qui peut atténuer la survenue de proliférations d'algues non-siliceuses dans la mer près de l'île de Shengsi.



Facteurs environnementaux abiotiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Li, Yahe et al. (2018)	Xiangshan, Ningbo ; Chine	Cette étude évalue la réponse des macroalgues de type <i>Ulva prolifera</i> (respiration, chlorophylle a et croissance) à différentes concentrations en CO₂ et différents régimes de lumière (photopériodes) . Les résultats indiquent qu'une teneur élevée en CO₂ pourrait augmenter la croissance d'<i>U. prolifera</i> et que cette augmentation pourrait être renforcée par l'augmentation de la période de jour. Ainsi, la mise en place de politiques visant à limiter l'acidification des océans pourraient indirectement limiter l'accentuation des Marée verte.
Wu et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	La croissance et l'efficacité photosynthétique d'<i>Ulva prolifera</i> ont été étudiées à différentes températures (18, 22 et 26 °C) et intensités lumineuses (44, 160, et 280 μmol.m⁻².s⁻¹) . Les résultats suggèrent que des températures élevées pendant la saison froide inhibent la croissance d'<i>U. prolifera</i> .

Facteurs biologiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Zhao et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	Cette étude évalue le potentiel invasif de l'écotype (souche) flottante responsable des MV par rapport à l'écotype local fixé . Jusqu'à un certain taux d'abondance, le développement de la souche flottante responsable des MV peut être limité par la compétition avec les populations locales fixées.

2.5.3.5. Impacts directs et indirects des accumulations de macroalgues sur l'écosystème

Sur les organismes et les populations naturelles

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Bittick, Sutula et Fong (2018)	Bodega Harbor ; California ; USA	Cette étude présente deux expériences sur des herbiers de <i>Z. marina</i> peu profond (~ 1 m de profondeur) où six densités d'<i>Ulva</i> (0 à 4,0 kg.m⁻²) et de <i>Gracilariopsis</i> (0–2,0 kg.m⁻²) ont été maintenues dans des cages, sur une période de 10 semaines. Une diminution de la densité des pousses de <i>Z. marina</i> et des effets négatifs potentiels sur les réseaux trophiques dus à la perte d'épiphytes ont été observés.
Golubkov et al. (2018)	Neva Estuary ; Golfe de Finlande ; Russie	Cette étude utilise des isotopes afin d'évaluer la contribution du carbone organique issu des marées vertes de <i>Cladophora glomerata</i> et <i>Ulva intestinalis</i> pour les réseaux trophiques côtiers . Les résultats indiquent que les macroinvertébrés et les poissons benthiques dépendent principalement du carbone dérivé des organismes pélagiques (phyto et zooplancton). Seules certaines espèces de macroinvertébrés ont consommé des macroalgues. L'hypothèse de départ étant non validée, cela illustre la faible régulation des espèces impliquées dans les marées vertes par la prédation.
Lanari et al. (2018)	Patos Lagoon ; Brésil	Pour comprendre pleinement les effets des proliférations de macroalgues sur la biogéochimie des sédiments et les habitats des herbiers marins dans des conditions environnementales et des sites régions biogéographiques distincts dans le même estuaire, deux expériences de terrain indépendantes et complémentaires ont reproduit les dépôts de macroalgues dérivantes sur des hauts-fonds non végétalisés et végétalisés (<i>Ruppia maritima</i>) dans le lagon de Patos au sud du Brésil. Bien que les proliférations de macroalgues soient nuisibles aux communautés benthiques dans des régions biogéographiques distinctes, les mécanismes sous-jacents des interactions macroalgues-algues peuvent varier en fonction du contexte hydrologique. De manière générale,



les radeaux de macroalgues, soumises à la courantologie, vont arracher tout ou partie des herbiers et ainsi déstructurer l'habitat. Ceci pourra avoir des conséquences sur les communautés benthiques, ainsi que sur la stabilité du sédiment côtier.

Paumier et al. (2018) Bretagne ; France

Cette étude vise à estimer **l'impact des marées vertes sur les communautés estuariennes de poissons.** Elle est basée sur la compilation des résultats des suivis des proliférations des macroalgues (études conduites par le CEVA) et des communautés de poissons, réalisées dans le cadre de la directive-cadre sur l'eau dans treize estuaires bretons. Cette approche a révélé l'influence des marées vertes sur les communautés de poissons estuariens. La réaction de chaque communauté aux marées vertes a été différente selon la composition de leur guildes. Les guildes de juvéniles benthiques et marins ont subi un impact négatif, tandis que les guildes de poissons démersaux et pélagiques semblaient plus résilientes. Les marées vertes, qui affectent de manière significative l'habitat du poisson, modifient la composition de la communauté de poissons et peuvent entraver le recrutement de poissons de mer qui dépendent des estuaires au stade juvénile.

Sánchez et Fernández (2018) Côte nord ; Espagne

Etude de **l'impact de *Sargassum muticum* sur les assemblages de macroalgues du nord de l'Espagne sur trois rivages rocheux semi-exposés sur 200 km de côte.** Sur 2 des 3 sites étudiés, certaines espèces dont *Bifurcaria bifurcata* ont vu leur abondance augmenter après retrait des sargasses. A l'échelle très locale, la présence des sargasses a donc un effet sur la composition et la dynamique des communautés macroalgales. Cependant, en raison de la **répartition hétérogène de *S. muticum* dans le nord de l'Espagne, l'effet global de l'espèce devrait être minime, tant parmi les localités que parmi les bassins d'une localité.**

Zhao et al. (2018) Mer jaune ; Chine

Cet article évalue **le potentiel invasif de l'écotype (souche) flottante responsable des MV par rapport à l'écotype local fixé.** Dans l'eau de mer et sur les sédiments, la proportion de l'écotype flottant dans les propagules d'*Ulva* a atteint respectivement 32% et 69% lorsque les algues flottantes se sont accumulées sur le littoral concerné, ce qui a exercé une grande pression sur l'écosystème local. Les résultats indiquent que les ressources disponibles et la concurrence entre l'écotype flottant et les espèces locales d'*Ulva* pourraient constituer les principales restrictions à la colonisation. Bien que l'échelle actuelle de la population établie soit encore petite, **le risque d'invasion biologique par l'écotype flottant existe et mérite une plus grande attention.**

Sur le milieu abiotique

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Kwak, Jeon et Duck Hur (2018)	Saemangeum ; Corée	Cette étude concerne la variation de la qualité de l'eau et de la composition des sédiments, y compris la chlorophylle-a (Chl-a) et le phosphore (P). L'objectif est de déterminer l'interaction entre l'eau et les sédiments. L'étude porte principalement sur la sédimentation de particules d'algues qui affecte la libération de P et la minéralisation des sédiments. Les résultats montrent que la sédimentation des particules d'algues constitue une source d'apport en P plus importante que la libération de P inorganique minéralisé de la couche superficielle des sédiments.

Sur les activités humaines

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Yang et al. (2018)	Chine	Cet article vise à quantifier les divers éléments du coût social des marées vertes de la mer Jaune. L'estimation des coûts résiduels des marées vertes s'élève en moyenne à 24 450 millions de CNY par an. Ce coût représente les dommages causés aux activités touristiques et récréatives. Il est composé d'un coût de marché (perte de chiffre d'affaires pour l'industrie du tourisme), d'un montant



de 22 200 millions de CNY par an, et d'un coût non marchand (perte de surplus des consommateurs pour les activités récréatives non marchandes), s'élevant à 2 250 millions de CNY par an.

Table 4
Estimated social cost of Yellow Sea green tides (yearly average, 2009–2014).

Type of cost	Million CNY
Management cost	
Prevention	19
Detection and mitigation	14
Detection	5
Algae interception nets	33
Protection of aquaculture facilities	65
Algae harvesting operations	117
Total	117
Minus: benefits generated by industrial processing of green algae	-7
Net total	129
Residual cost	
Aquaculture (after 2008)	0
Tourism industry	22,200
Non market recreational activities	2250
Total	24,450
Grand total	24,579

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

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Le Moal et al. (2019)	France	Ce manuscrit rassemble les analyses effectuées par un groupe de scientifiques français à qui les ministères français chargés de l'Environnement et de l'Agriculture ont demandé de fournir des informations de pointe sur l'eutrophisation afin d'identifier les leviers d'actions pour mesurer et suivre l'eutrophisation ainsi que pour évaluer les risques associés.

Table 1
Pressure, status and impact indicators of eutrophication in rivers, lakes, transitional waters, coastal and marine waters.
Adapted from Ibsch et al. (2017).

Indicators	Rivers	Lakes	Transitional waters
Pressure indicators			
Nutrient emissions, nutrient load	x	x	x
Status indicators			
Phosphorus concentrations (total P, ortho-phosphate)	x	x	x
Nitrogen concentrations (total N, NO ₃)	x	x	x
Impact indicators			
Ecological status (WFD: European Water Framework Directive)	x	x	x
Environmental status (MSFD: Marine Strategy Framework Directive)			
Phytoplankton (chl- <i>a</i> , biovolume)	x	x	x
Phytoplankton (community composition, harmful and toxic algae)		x	
Secchi depth		x	
Macrophytes (depth of lower growth)		x	
Macrophytes (community composition)	x	x	x
Phytoplankton (community composition of benthic algae)	x	x	
Macrozoobenthos (community composition, biomass)	x	x	x
Oxygen concentration at the bottom		x ^a	x

^a Only for stratified lakes.

Ménesguen et Lacroix (2018)

Monde

Cette étude est une **revue globale de la littérature scientifique (291 références analysées) traitant de la modélisation du phénomène d'eutrophisation.** Les forces et limites des modèles développés sont examinées et les différentes méthodologies d'acquisition de données associées sont discutées.



2.5.3.7. Origine des sels nutritifs et leur gestion

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Wang, Baodong et al. (2018)	Chine	Ce travail dresse un historique de l'eutrophisation des eaux côtières chinoises au cours des 40 dernières années . Les résultats ont montré que si la situation d'eutrophisation côtière était modérée au début des années 1980, elle s'est aggravée rapidement du début des années 1990 jusqu'au milieu des années 2000. Au cours de la dernière décennie, la tendance a été ralentie, mais l'état d'eutrophisation côtière n'a pas été sensiblement amélioré. La somme de rejets d'eau douce des trois plus grands fleuves chinois, à savoir le Fleuve jaune, le fleuve Yangtse et la rivière des Perles représentent 73% des rejets totaux d'eau douce des rivières chinoises dans les 4 mers de Chine.

2.5.3.8. Gestion et valorisation des algues vertes

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Yuan, Yuan et al. (2018)	Qingdao, Chine	Ce travail propose une méthode d'extraction et de purification des polysaccharides contenus dans <i>Ulva prolifera</i> . Cette méthode est envisagée comme facilitant le développement de la valorisation d' <i>U. prolifera</i> dans divers domaines d'application (alimentation, agro-alimentaire, pharmaceutique...)

Analyse socio-économique de la gestion des marées vertes

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Yang et al. (2018)	Mer Jaune, Chine	L'article examine les mécanismes bioéconomiques des MV, leurs conséquences économiques, les politiques de gestion publique et les perceptions des parties prenantes . Ensuite, il tente de quantifier le coût social des marées vertes, y compris les coûts de gestion et les coûts résiduels pour le marché et les activités non marchandes. Sur cette base, des scénarios de gestion alternatifs sont comparés. L'analyse suggère que le développement de la prévention pourrait être économiquement plus efficace que celle mise en place par les politiques actuelles , qui reposent principalement sur l'atténuation des marées vertes. Définir des politiques publiques efficaces nécessite de prendre en compte l'hétérogénéité socio-économique des sites concernés.

Santé humaine et cosmétique

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Wang, Xiaojuan et al. (2018)	Qingdao, Chine	La teneur en phénol et la capacité anti-oxydante des composants d'aliments et de produits naturels sont des facteurs important à prendre en compte pour l'évaluation de leur qualité. Cette étude présente <i>U. prolifera</i> comme source intéressante de « Carbon Dots » (CD) qui sont des nano-éléments dont les propriétés fluorescentes permettent le traçage de divers composés phénoliques . Une méthode simple, économique et écologique est décrite pour l'extraction, la synthèse et la purification de ces CD à partir d' <i>U. prolifera</i> issue de sites d'échouages.
Yuan, Yuan et al. (2018)	Qingdao, Chine	Ce travail propose une méthode d'extraction et de purification des polysaccharides contenus dans <i>Ulva prolifera</i> . Cette méthode est envisagée comme facilitant le développement de la valorisation d' <i>U. prolifera</i> dans divers domaines d'application (alimentation, agro-alimentaire, pharmaceutique...)



Agriculture et agroalimentaires

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Yuan, Yuan et al. (2018)	Qingdao, Chine	Ce travail propose une méthode d'extraction et de purification des polysaccharides contenus dans <i>Ulva prolifera</i> . Cette méthode est envisagée comme facilitant le développement de la valorisation d' <i>U. prolifera</i> dans divers domaines d'application (alimentation, agro-alimentaire, pharmaceutique...)

Alimentation humaine

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Li, Juan-Ying et al. (2018)	Mer Jaune, Chine	L'analyse d'échantillons d' <i>U. prolifera</i> ont révélé : un intérêt nutritionnel élevé en termes de protéines, d'acides gras et de minéraux. Par ailleurs, cette étude a révélé des taux en composés polluants (5 métaux lourds et 13 pesticides) significativement en dessous des seuils préconisés. Cette étude montre que la consommation en alimentation humaine d'<i>U. prolifera</i>, prélevée dans une zone à forte prolifération, ne présente aucun danger pour la santé.
Wang, Xiaojuan et al. (2018)	Qingdao, Chine	La teneur en phénol et la capacité anti-oxydante des composants d'aliments et de produits naturels sont des facteurs importants à prendre en compte pour l'évaluation de leur de qualité. Cette étude présente <i>U. prolifera</i> comme source intéressante de « Carbon Dots » (CD) qui sont des nano-éléments dont les propriétés fluorescentes permettent le traçage de divers composés phénoliques. Une méthode simple, économique et écologique est décrite pour l'extraction, la synthèse et la purification de ces CD à partir d' <i>U. prolifera</i> issue de sites d'échouages.

Production d'énergie

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Konasani et al. (2018)	Suède	Cette étude vise à étudier le potentiel d'une enzyme issue de <i>Formosa agariphila</i> pour dégrader les ulvanes issues de 3 espèces d'ulves (<i>U. armoricana</i> , <i>U. lactuca</i> et <i>U. intestinalis</i>) en oligosaccharides. Les résultats proposent des perspectives intéressantes en termes de valorisation des Ulvanes en bioraffinerie.

Utilisation en tant que bioindicateur

Aucune référence relevée en 2018. (cf. Bermejo et al, 2018)

Bioremédiation et autres modes de valorisation

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Sun, Ying-Ying et al. (2018)	Qingdao, Chine	Cette étude décrit les capacités de 9 composés d'<i>U. pertusa</i> comme biocides permettant de lutter contre la prolifération de 6 espèces de microalgues.
Gao et al. (2018)	Chine	Description d'une méthode permettant l'utilisation d' <i>U. prolifera</i> pour la synthèse de bio-charbons efficaces dans la capture d'ions cuivre. Ces résultats ouvrent des perspectives intéressantes dans le développement de nouvelles méthodes de traitement des eaux polluées en métaux lourds par l'utilisation de bio-charbons issus du traitement d'ulves.



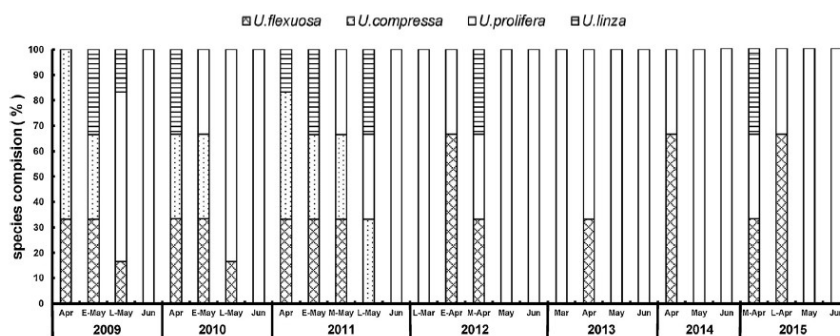
Valorisation d'autres macroalgues que les algues vertes

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Franzén, Infantes et Gröndahl (2019)	Bay off Gotland, Baltic Sea	Le contenu en cadmium a été mesuré sur des échantillons d'algues d'échouage, provenant de 15 sites différents, afin d'évaluer le potentiel de valorisation de ces échouages comme fertilisant agricole. Un échantillon présentait une teneur en cadmium supérieure à la limite imposée par la législation suédoise concernant le biofertilisant pour boues d'épuration (2 mg Cd / kg MS) et quatre affichaient des valeurs supérieures à la limite suggérée par l'Agence suédoise de protection de l'environnement pour 2030 (0,8 mg / kg MS). L'analyse par espèce a révélé que <i>Zostera marina</i> contenait des concentrations de cadmium significativement plus élevées que les espèces d'algues rouges filamenteuses (<i>Ceramium</i> et <i>Polysiphonia spp.</i>). L'utilisation des algues d'échouage nécessite donc d'identifier des sites et des périodes pour lesquelles le taux de cadmium est faible et la présence de <i>Zostera marina</i> est limitée.

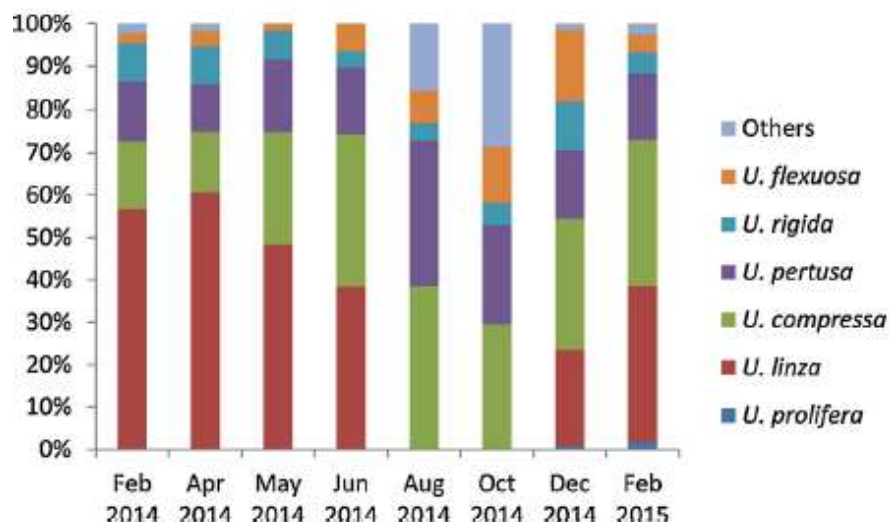
2.5.3.9. Caractérisation des algues vertes

Génétique et moléculaire

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
You et al. (2018)	Chine	Les ulves sont à l'origine de la plupart des proliférations de macroalgues, en raison de leur grande capacité d'utilisation de l'azote par l'enzyme nitrate réductase; Cependant, aucune caractérisation de cette enzyme n'est disponible pour l'ulve à ce jour. Cette étude décrit, pour l'espèce <i>Ulva prolifera</i> , la structure cristalline et une analyse enzymatique de la « Cytochrome b5 réductase » . Les résultats présentés permettent d'approfondir les connaissances sur les mécanismes enzymatiques responsables de la capacité d'assimilation des nitrates chez les ulves et ainsi permettre une meilleure compréhension des processus de prolifération.
Zhang et al. (2018)	Mer Jaune, Chine	Etude de la diversité génétique d' <i>Ulva prolifera</i> dans les rideaux d'échouage par comparaison de séquences d'ADNr 5S prélevée sur différents sites. Les résultats montrent une similarité entre les signatures génétiques d'<i>U. prolifera</i> issue du recrutement spontané sur les structures d'algoculture et celles prélevées dans les rideaux d'échouage. Ceci confirme que les ulves issues des structures aquacoles seraient à l'origine des proliférations d'algues libres observées en Mer Jaune.
Wang, Shiyong et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	Afin d'expliquer le mécanisme de succession d'une année à l'autre (2009 à 2015) et au cours d'une saison de MV , la composition des rideaux a été analysée du point de vue moléculaire en utilisant des marqueurs ITS et ADNr-5S .



Zhao et al. (2018)	Mer jaune ; Chine	Des marqueurs ITS ont été utilisés sur des algues fixées le long de la côte de Qingdao et échantillonnées à différentes périodes de l'année 2014 afin caractériser les successions saisonnières d'espèces.
--------------------	-------------------	--



Composition

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Konasani et al. (2018)	Suède	Cette étude vise à étudier le potentiel d'une enzyme issue de <i>Formosa agariphila</i> pour dégrader les ulvanes issues de 3 espèces d'ulves (<i>U. armoricana</i> , <i>U. lactuca</i> et <i>U. intestinalis</i>) en oligosaccharides. Cette étude donne donc le profil moléculaire des ulvanes contenues dans ces trois espèces d'ulves .
Li, Juan-Ying et al. (2018)	Mer Jaune, Chine	L'analyse d'échantillons d' <i>U. prolifera</i> ont révélé : un intérêt nutritionnel élevé en termes de protéines, d'acides gras et de minéraux. Par ailleurs, cette étude a révélé des taux en composés polluants (5 métaux lourds et 13 pesticides) significativement en dessous des seuils préconisés. Cette étude montre que la consommation en alimentation humaine d'<i>U. prolifera</i>, prélevée dans une zone à forte prolifération, ne présente aucun danger pour la santé .
Wang, Xiaojuan et al. (2018)	Qingdao, Chine	La teneur en phénol et la capacité anti-oxydante des composants d'aliments et de produits naturels sont des facteurs importants à prendre en compte pour l'évaluation de leur qualité. Cette étude présente <i>U. prolifera</i> comme source intéressante de « Carbon Dots » (CD) qui sont des nano-éléments dont les propriétés fluorescentes permettent le traçage de divers composés Phénoliques . Une méthode simple, économique et écologique est décrite pour l'extraction, la synthèse et la purification de ces CD à partir d' <i>U. prolifera</i> issue de sites d'échouages.
Sun, Ying-Ying et al. (2018)	Qingdao, Chine	Cette étude décrit les capacités de 9 composés d'<i>U. pertusa</i> comme biocides permettant de lutter contre la prolifération de 6 espèces de microalgues .

3. CONCLUSION – PERSPECTIVES

L'action d'expertise, d'information et de soutien aux collectivités dans la lutte contre les marées verte s'est poursuivie sur un rythme soutenu en 2018 en particulier pour répondre aux SAGES, aux acteurs du PLAV plus particulièrement dans le cadre de la mise en place du PLAV2 mais aussi des socio professionnels et du grand public (via les médias) et du milieu éducatif. Le recueil des informations de flux saisonnier, sur tous les cours d'eau se jetant dans des baies touchées par des proliférations,



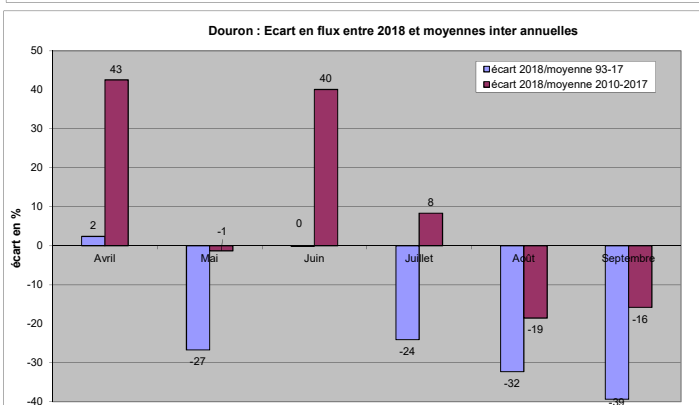
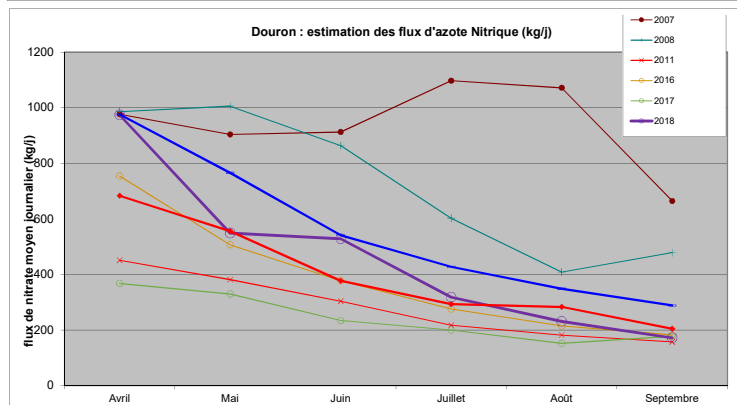
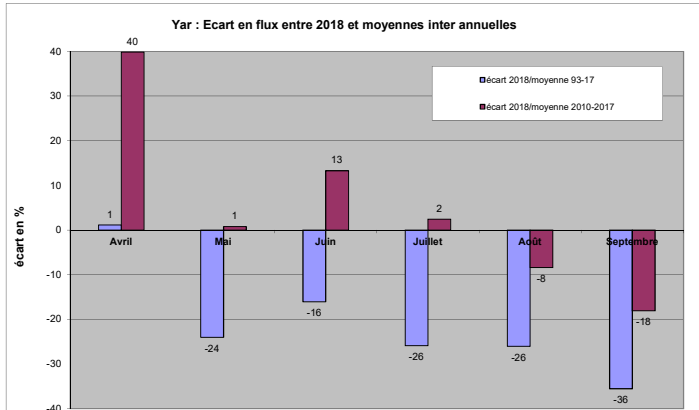
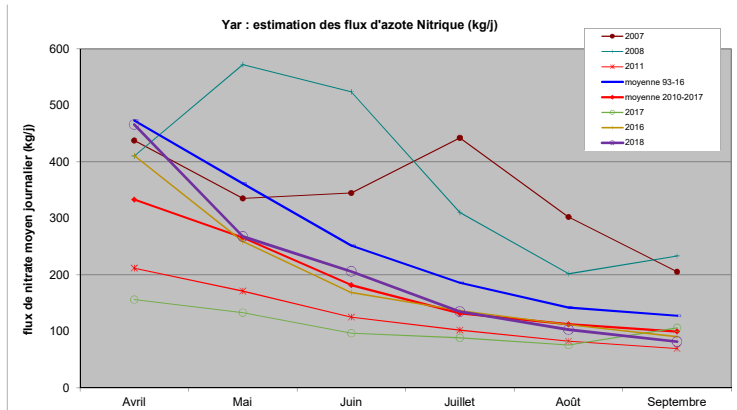
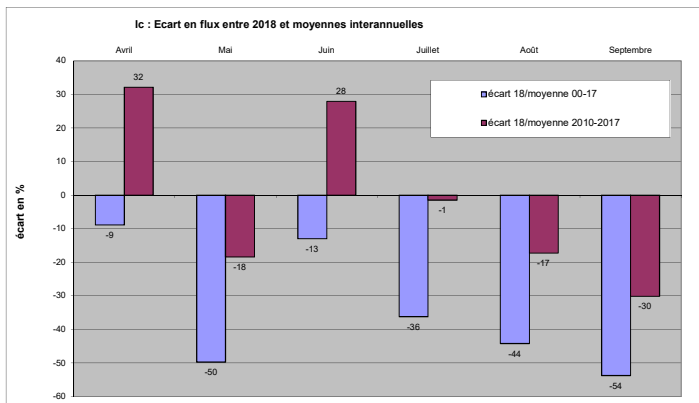
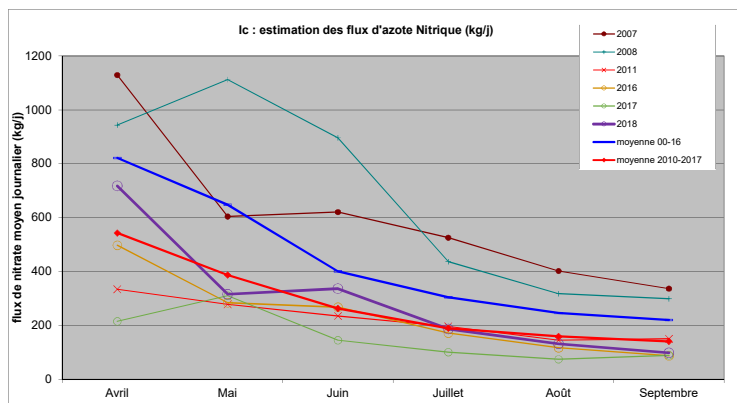
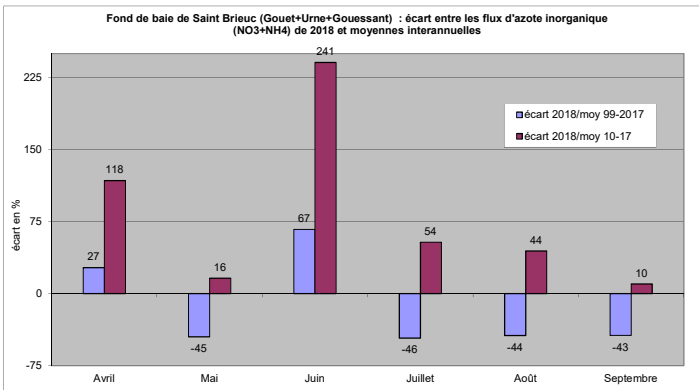
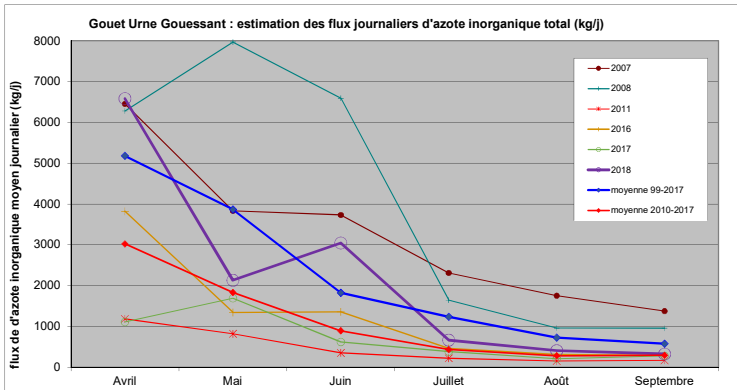
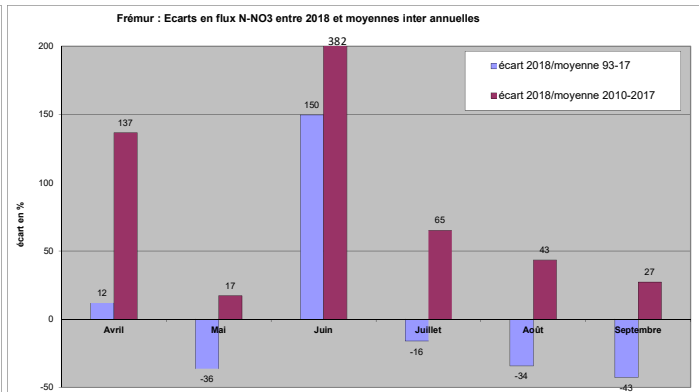
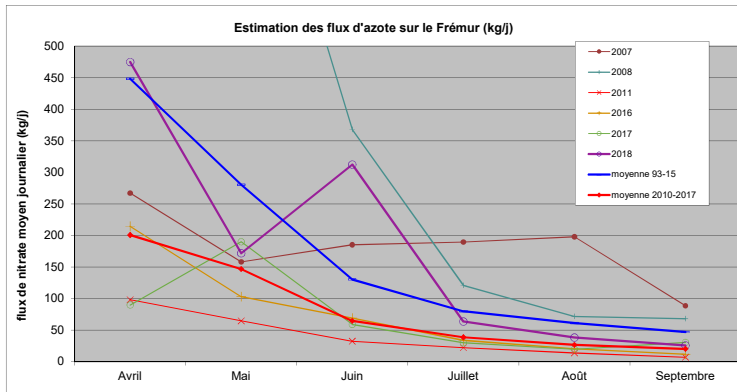
permet de caractériser l'année 2018 en termes de flux et le recueil des autres paramètres environnementaux est également indispensable pour poursuivre l'analyse de la réaction de la prolifération à ces paramètres. Les flux, ont été en 2018 contrastés selon les secteurs et les saisons. La reprise de flux très importante sur le centre et l'est des Côtes d'Armor en juin (suite aux orages de fin mai-début juin) a engendré, à partir d'une situation de retard saisonnier de la prolifération, une croissance très soutenue sur la baie de Saint Brieuc comme sur la baie de la Fresnaye. Alors que l'Ouest de la Bretagne n'a pas été soumis à de telles reprises de flux et n'aura, dans l'ensemble, pas connu de grosses proliférations (pas d'ulves sur la baie de Douarnenez, pour la première fois depuis le début des suivis). La prolifération très retardée en 2018, en lien avec des stocks localement peu élevés et des mauvaises conditions de report de ces stocks accentue l'analyse pluriannuelle des proliférations (reports plus ou moins important des stocks d'algues durant l'hiver). Pour la première fois en 2018, la baie de Douarnenez, à partir d'une situation de retard saisonnier très marqué liée aux faibles stocks de 2017 et à la forte dispersion hivernale 2017-2018 n'a pas connu de prolifération d'ulves de toute la saison 2018. Cela s'est produit dans le contexte de flux très bas et en l'absence de stock de démarrage. Toutefois, d'autres algues ont proliféré sur la baie (*Asparagopsis* (*Falkenbergia*), *Ectocarpales*, *Cladophores*). L'action P1 a également permis d'analyser la reconduction 2018-2019 et d'annoncer un démarrage contrasté suivant les sites avec la baie de Saint Brieuc (et de la Forêt) qui connaît un démarrage précoce quand les autres secteurs sont très tardifs.

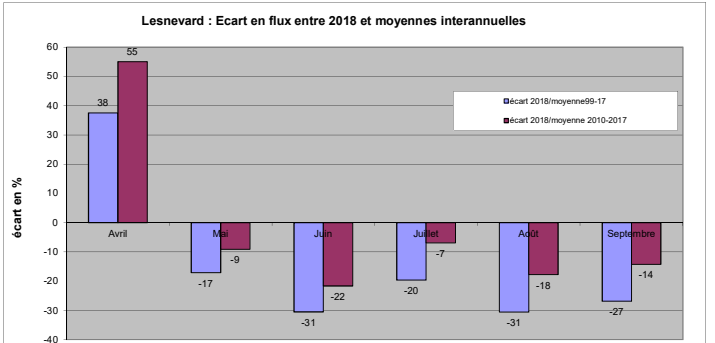
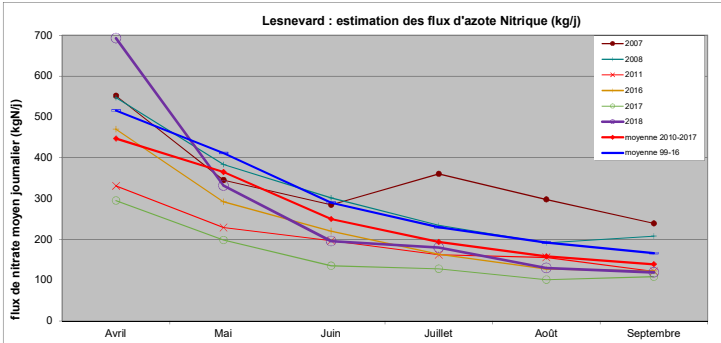
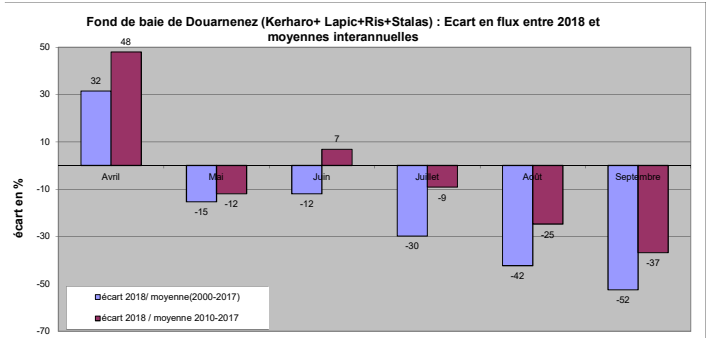
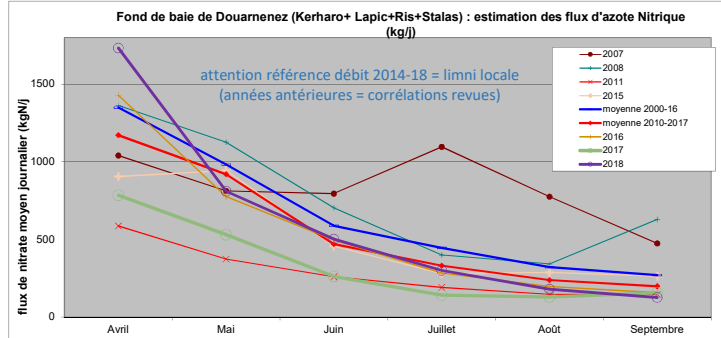
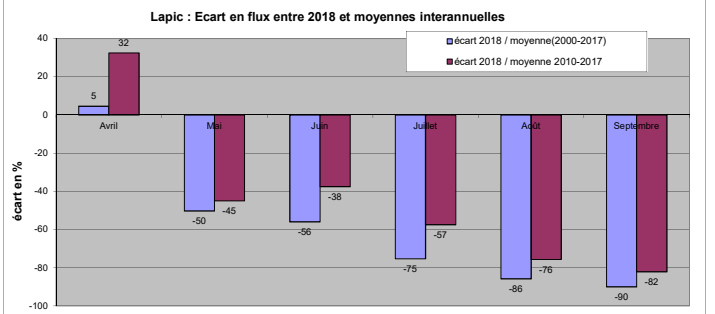
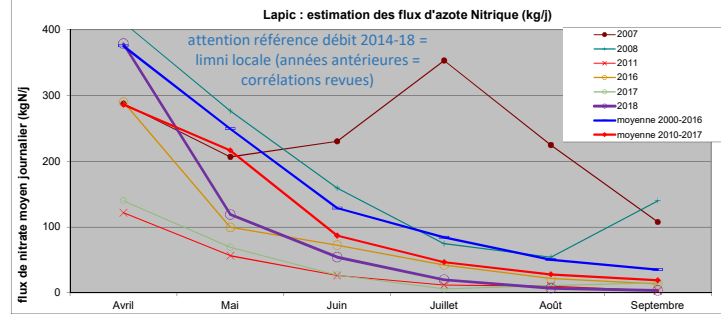
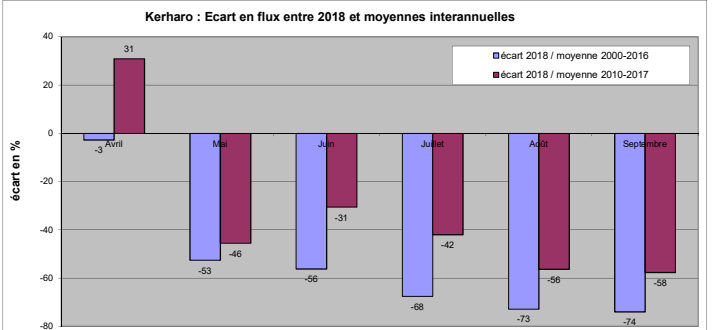
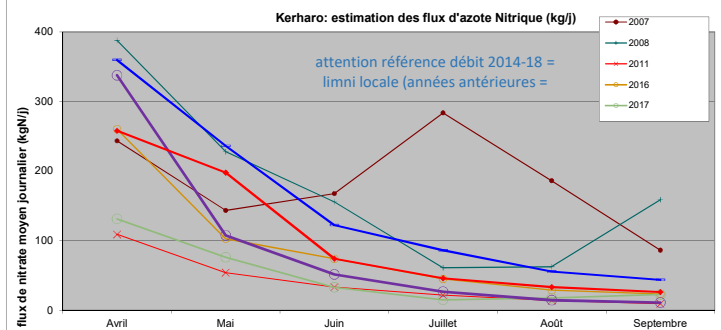
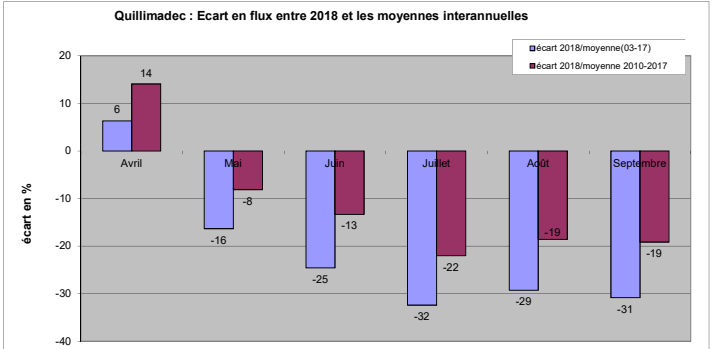
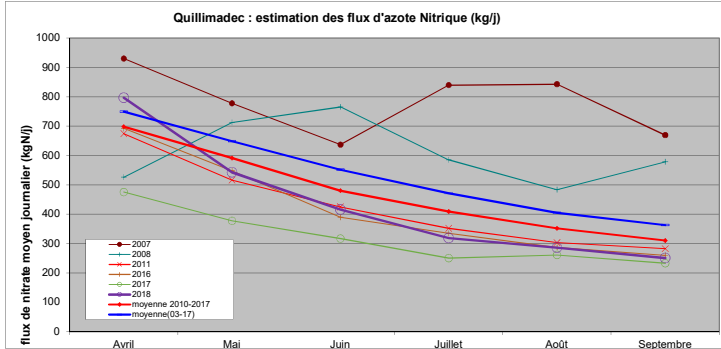
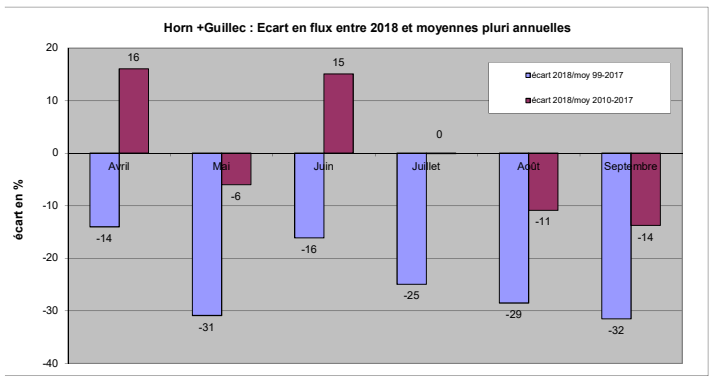
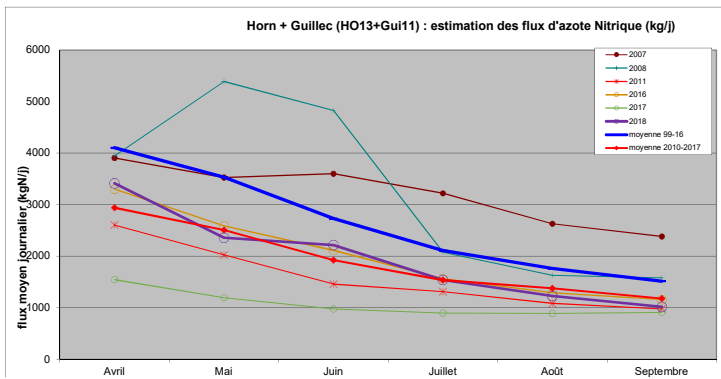
Cette action a aussi permis de répertorier les publications (de Rang A) nationales et internationales sur les phénomènes de proliférations algales liés à des conditions d'eutrophisations des eaux marines côtières. Cette veille permet à la fois d'identifier i) les dernières avancées sur la connaissance des proliférations et ii) les moyens mis en œuvre pour la reconquête de la qualité de l'eau.



ANNEXES

(flux 2018 sur les principaux cours d'eau)







BIBLIOGRAPHIE

Anonyme (2018a) C'est quoi le problème avec les sargasses, ces algues toxiques qui prolifèrent dans les Antilles ? In : France TV info, 2018a. En ligne : https://www.francetvinfo.fr/sante/environnement-et-sante/c-est-quoi-le-probleme-avec-les-sargasses-ces-algues-toxiques-qui-prolifere-dans-les-antilles_2962815.html, consulté le 14 février 2019.

Anonyme (2019b) Des plages équipées pour surveiller l'arrivée des sargasses - Guadeloupe la 1ère. In : franceinfo, 2019b. En ligne : <https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/plages-equipees-surveiller-arrivee-sargasses-679425.html>, consulté le 14 février 2019.

Anonyme (2019a) Des tonnes de sargasses ramassées en quelques semaines - Environnement en Guadeloupe. In : France-Antilles, 2019a. En ligne : <https://www.guadeloupe.franceantilles.fr/actualite/environnement/des-tonnes-de-sargasses-ramassees-en-quelques-semaines-520911.php>, consulté le 14 février 2019.

Anonyme (2019c) Environnement : les sargasses, le fléau des plages antillaises. In : France TV info, 2019c. En ligne : https://www.francetvinfo.fr/sante/environnement-et-sante/environnement-les-sargasses-le-fleau-des-plages-antillaises_3181759.html, consulté le 14 février 2019.

Bermejo, Ricardo; Heesch, Svenja; Mac Monagail, Michéal; O'Donnell, Moya; Daly, Eve; Wilkes, Robert J.; Morrison, Liam (2019) Spatial and temporal variability of biomass and composition of green tides in Ireland. In : Harmful Algae, vol. 81, p. 94–105, consulté le 7 février 2019.

Bittick, Sarah Joy; Sutula, M.; Fong, P. (2018) A tale of two algal blooms. Negative and predictable effects of two common bloom-forming macroalgae on seagrass and epiphytes. In : Marine Environmental Research, vol. 140, p. 1–9, consulté le 7 février 2019.

Chávez-Sánchez, Tonatiuh; Piñón-Gimate, Alejandra; Serviere-Zaragoza, Elisa; López-Bautista, Juan Manuel; Casas-Valdez, Margarita (2018) Ulva blooms in the southwestern Gulf of California. Reproduction and biomass. In : Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 200, p. 202–211, consulté le 7 février 2019.

Chen, Xiaogang; Wang, Jinlong; Cukrov, Neven; Du, Jinzhou (2019) Porewater-derived nutrient fluxes in a coastal aquifer (Shengsi Island, China) and its implication. In : Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 218, p. 204–211, consulté le 7 février 2019.

Cui, Jianjun; Shi, Jinting; Zhang, Jianheng; Wang, Lintao; Fan, Shaoying; Xu, Zhenyang et al. (2018) Rapid expansion of Ulva blooms in the Yellow Sea, China through sexual reproduction and vegetative growth. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 130, p. 223–228, consulté le 7 février 2019.

Fort, Antoine; Lebrault, Morgane; Allaire, Margot; Esteves-Ferreira, Alberto A.; McHale, Marcus; Lopez, Francesca et al. (2019) Extensive variations in diurnal growth patterns and metabolism amongst Ulva spp strains. In : Plant physiology, consulté le 25 mars 2019.

Franzén, Daniel; Infantes, Eduardo; Gröndahl, Fredrik (2019) Beach-cast as biofertiliser in the Baltic Sea region-potential limitations due to cadmium-content. In : Ocean & Coastal Management, vol. 169, p. 20–26, consulté le 7 février 2019.



Fu, Mingzhu; Fan, Shiliang; Wang, Zongling; Song, Wei; Sun, Kaiming; Han, Hongbin et al. (2019) Buoyancy potential of dominant green macroalgal species in the Yellow Sea's green tides, China. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 140, p. 301–307, consulté le 7 février 2019.

Gao, Yuan; Zhu, Xiuzhen; Yue, Qinyan; Gao, Baoyu (2018) Facile one-step synthesis of functionalized biochar from sustainable prolifera-green-tide source for enhanced adsorption of copper ions. In : Journal of environmental sciences (China), vol. 73, p. 185–194, consulté le 7 février 2019.

Golubkov, Sergey M.; Berezina, Nadezhda A.; Gubelit, Yulia I.; Demchuk, Anna S.; Golubkov, Mikhail S.; Tiunov, Alexei V. (2018) A relative contribution of carbon from green tide algae *Cladophora glomerata* and *Ulva intestinalis* in the coastal food webs in the Neva Estuary (Baltic Sea). In : Marine Pollution Bulletin, vol. 126, p. 43–50, consulté le 7 février 2019.

Hu, Lianbo; Zeng, Kan; Hu, Chuanmin; He, Ming-Xia (2019) On the remote estimation of *Ulva prolifera* areal coverage and biomass. In : Remote Sensing of Environment, vol. 223, p. 194–207, consulté le 7 février 2019.

Hu, Po; Liu, Yahao; Hou, Yijun; Yin, Yuqi (2018) An early forecasting method for the drift path of green tides. A case study in the Yellow Sea, China. In : International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, vol. 71, p. 121–131, consulté le 7 février 2019.

Jin, Song; Liu, Yongxue; Sun, Chao; Wei, Xianglin; Li, Huiting; Han, Zhen (2018) A study of the environmental factors influencing the growth phases of *Ulva prolifera* in the southern Yellow Sea, China. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 135, p. 1016–1025, consulté le 7 février 2019.

Konasani, Venkat Rao; Jin, Chunsheng; Karlsson, Niclas G.; Albers, Eva (2018) Ulvan lyase from *Formosa agariphila* and its applicability in depolymerisation of ulvan extracted from three different *Ulva* species. In : Algal Research, vol. 36, p. 106–114, consulté le 7 février 2019.

Kwak, Dong-Heui; Jeon, Young-Tae; Duck Hur, Young (2018) Phosphorus fractionation and release characteristics of sediment in the Saemangeum Reservoir for seasonal change. In : International Journal of Sediment Research, vol. 33, n° 3, p. 250–261, consulté le 7 février 2019.

Lanari, Marianna; S Copertino, Margareth; Colling, Leonir A.; C Bom, Fábio (2018) The impact of short-term depositions of macroalgal blooms on widgeon-grass meadows in a river-dominated estuary. In : Harmful Algae, vol. 78, p. 36–46, consulté le 7 février 2019.

Le Moal, Morgane; Gascuel-Odoux, Chantal; Ménesguen, Alain; Souchon, Yves; Étrillard, Claire; Levain, Alix et al. (2019) Eutrophication. A new wine in an old bottle? In : The Science of the total environment, vol. 651, n° Pt 1, p. 1–11, consulté le 7 février 2019.

Le Monde (2019d) Les algues sargasses de retour en Guadeloupe, 2019d. En ligne : https://www.francetvinfo.fr/sante/environnement-et-sante/environnement-les-sargasses-le-fleau-des-plages-antillaises_3181759.html, consulté le 14 février 2019.

Li, Juan-Ying; Yang, Fengyuan; Jin, Ling; Wang, Qian; Yin, Jie; He, Peimin; Chen, Yiqin (2018) Safety and quality of the green tide algal species *Ulva prolifera* for option of human consumption. A nutrition and contamination study. In : Chemosphere, vol. 210, p. 1021–1028, consulté le 7 février 2019.

Li, Yahe; Zhong, Jiali; Zheng, Mingshan; Zhuo, Pinli; Xu, Nianjun (2018) Photoperiod mediates the effects of elevated CO₂ on the growth and physiological performance in the green tide alga *Ulva prolifera*. In : Marine Environmental Research, vol. 141, p. 24–29, consulté le 7 février 2019.

Ménesguen, Alain; Lacroix, Geneviève (2018) Modelling the marine eutrophication. A review. In : The Science of the total environment, vol. 636, p. 339–354, consulté le 7 février 2019.



Miao, Xiaoxiang; Xiao, Jie; Pang, Min; Zhang, Xuelei; Wang, Zongling; Miao, Junwei; Li, Yan (2018) Effect of the large-scale green tide on the species succession of green macroalgal micro-propagules in the coastal waters of Qingdao, China. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 126, p. 549–556, consulté le 7 février 2019.

Paumier, A.; Tatlian, T.; Réveillac, E.; Le Luherne, E.; Ballu, S.; Lepage, M.; Le Pape, O. (2018) Impacts of green tides on estuarine fish assemblages. In : Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 213, p. 176–184, consulté le 7 février 2019.

Putman, Nathan F.; Goni, Gustavo J.; Gramer, Lewis J.; Hu, Chuanmin; Johns, Elizabeth M.; Trinanes, Joaquin; Wang, Mengqiu (2018) Simulating transport pathways of pelagic Sargassum from the Equatorial Atlantic into the Caribbean Sea. In : Progress in Oceanography, vol. 165, p. 205–214, consulté le 7 février 2019.

Sánchez, I.; Fernández, C. (2018) Impact of the invasive species *Sargassum muticum* (Phaeophyta) on tide pool macroalgal assemblages of northern Spain. In : Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 210, p. 45–54, consulté le 7 février 2019.

Sun, Xiao; Wu, Mengquan; Xing, Qianguo; Song, Xiaodong; Zhao, Deheng; Han, Qianqian; Zhang, Guangzong (2018) Spatio-temporal patterns of *Ulva prolifera* blooms and the corresponding influence on chlorophyll-a concentration in the Southern Yellow Sea, China. In : The Science of the total environment, 640-641, p. 807–820, consulté le 7 février 2019.

Sun, Ying-Ying; Zhou, Wen-Jing; Wang, Hui; Guo, Gan-Lin; Su, Zhen-Xia; Pu, Yin-Fang (2018) Antialgal compounds with antialgal activity against the common red tide microalgae from a green algae *Ulva pertusa*. In : Ecotoxicology and Environmental Safety, vol. 157, p. 61–66, consulté le 7 février 2019.

van Alstyne, Kathryn L. (2018) Seawater nitrogen concentration and light independently alter performance, growth, and resource allocation in the bloom-forming seaweeds *Ulva lactuca* and *Ulvaria obscura* (Chlorophyta). In : Harmful Algae, vol. 78, p. 27–35, consulté le 7 février 2019.

Wang, Baodong; Xin, Ming; Wei, Qinsheng; Xie, Linping (2018) A historical overview of coastal eutrophication in the China Seas. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 136, p. 394–400, consulté le 7 février 2019.

Wang, Shiyong; Huo, Yuanzi; Zhang, Jianheng; Cui, Jianjun; Wang, Yi; Yang, Lili et al. (2018) Variations of dominant free-floating *Ulva* species in the source area for the world's largest macroalgal blooms, China. Differences of ecological tolerance. In : Harmful Algae, vol. 74, p. 58–66, consulté le 7 février 2019.

Wang, Xiaojuan; Chen, Qi; Zhang, Zhengyuan; He, Hua; Ma, Xiqi; Liu, Zhenzhen et al. (2018) Novel Enteromorpha Prolifera based carbon dots. Probing the radical scavenging of natural phenolic compounds. In : Colloids and surfaces. B, Biointerfaces, vol. 174, p. 161–167, consulté le 7 février 2019.

Wei, Qinsheng; Wang, Baodong; Yao, Qingzhen; Fu, Mingzhu; Sun, Junchuan; Xu, Bochao; Yu, Zhigang (2018) Hydro-biogeochemical processes and their implications for *Ulva prolifera* blooms and expansion in the world's largest green tide occurrence region (Yellow Sea, China). In : The Science of the total environment, vol. 645, p. 257–266, consulté le 7 février 2019.

Wu, Hailong; Gao, Guang; Zhong, Zhihai; Li, Xinshu; Xu, Juntian (2018) Physiological acclimation of the green tidal alga *Ulva prolifera* to a fast-changing environment. In : Marine Environmental Research, vol. 137, p. 1–7, consulté le 7 février 2019.

Xiao, Yanfang; Zhang, Jie; Cui, Tingwei; Gong, Jialong; Liu, Rongjie; Chen, Xiaoying; Liang, Xijian (2019) Remote sensing estimation of the biomass of floating *Ulva prolifera* and analysis of the main factors driving



the interannual variability of the biomass in the Yellow Sea. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 140, p. 330–340, consulté le 7 février 2019.

Xing, Qianguo; Wu, Lingling; Tian, Liqiao; Cui, Tingwei; Li, Lin; Kong, Fanzhou et al. (2018) Remote sensing of early-stage green tide in the Yellow Sea for floating-macroalgae collecting campaign. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 133, p. 150–156, consulté le 7 février 2019.

Xu, Fuxiang; Gao, Zhiqiang; Jiang, Xiaopeng; Shang, Weitao; Ning, Jicai; Song, Debin; Ai, Jinquan (2018) A UAV and S2A data-based estimation of the initial biomass of green algae in the South Yellow Sea. In : Marine Pollution Bulletin, vol. 128, p. 408–414, consulté le 7 février 2019.

Yang, Yi; Boncoeur, Jean; Liu, Shuguang; Nyvall-Collen, Pi (2018) Economic assessment and environmental management of green tides in the Chinese Yellow Sea. In : Ocean & Coastal Management, vol. 161, p. 20–30, consulté le 7 février 2019.

You, Cai; Liu, Changshui; Li, Yingjie; Jiang, Peng; Ma, Qingjun (2018) Structural and enzymatic analysis of the cytochrome b5 reductase domain of *Ulva prolifera* nitrate reductase. In : International Journal of Biological Macromolecules, vol. 111, p. 1175–1182.

Yuan, Huamao; Song, Jinming; Xing, Jianwei; Li, Xuegang; Li, Ning; Duan, Liqin et al. (2018) Spatial and seasonal variations, partitioning and fluxes of dissolved and particulate nutrients in Jiaozhou Bay. In : Continental Shelf Research, vol. 171, p. 140–149, consulté le 7 février 2019.

Yuan, Yuan; Xu, Xiang; Jing, Changliang; Zou, Ping; Zhang, Chengsheng; Li, Yiqiang (2018) Microwave assisted hydrothermal extraction of polysaccharides from *Ulva prolifera*. Functional properties and bioactivities. In : Carbohydrate Polymers, vol. 181, p. 902–910, consulté le 7 février 2019.

Zhang, Qing-Chun; Yu, Ren-Cheng; Chen, Zhen-Fan; Qiu, Li-Mei; Wang, Yun-Feng; Kong, Fan-Zhou et al. (2018) Genetic evidence in tracking the origin of *Ulva prolifera* blooms in the Yellow Sea, China. In : Harmful Algae, vol. 78, p. 86–94, consulté le 7 février 2019.

Zhao, Jin; Jiang, Peng; Qiu, Ri; Ma, Yingying; Wu, Chunhui; Fu, Huihui et al. (2018) The Yellow Sea green tide. A risk of macroalgae invasion. In : Harmful Algae, vol. 77, p. 11–17, consulté le 7 février 2019.