



Centre d'Etude et de Valorisation des
Algues
Presqu'île de Pen Lan
BP 3 / 22610 PLEUBIAN
02 96 22 93 50
02 96 22 84 38
e-mail : algue@ceva.fr

Programme d'intervention du CEVA
en faveur de l'action régionale et interdépartementale
pour la maîtrise des phénomènes de marées vertes

CIMAV 2017

RAPPORT SUR LE PROJET 1

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

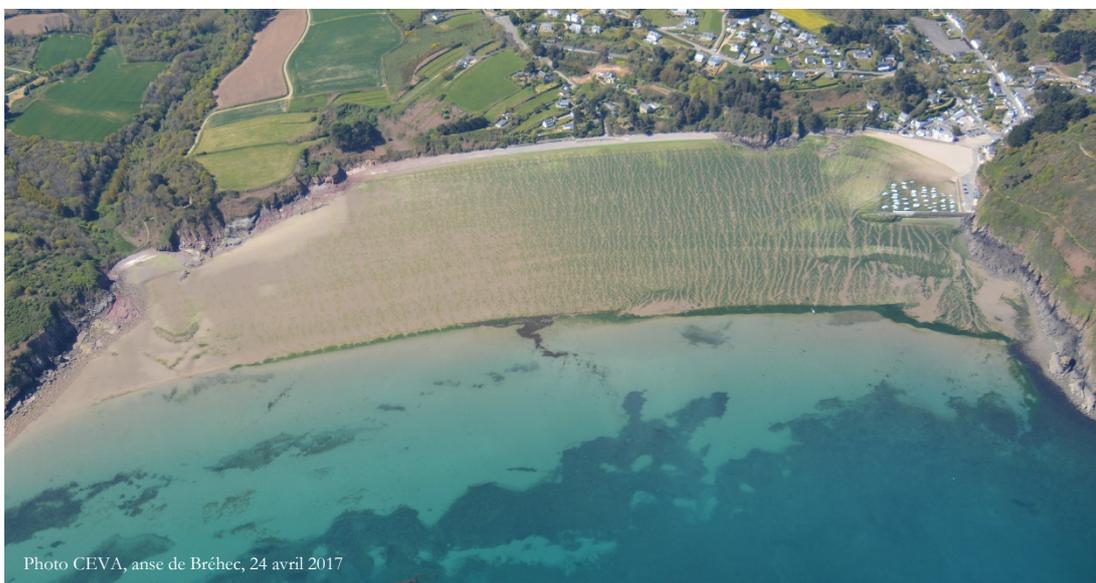


Photo CEVA, anse de Bréhec, 24 avril 2017

ANNEE 2017



**Programme d'intervention du CEVA
en faveur de l'action régionale et interdépartementale
pour la maîtrise des phénomènes de marées vertes
*mars 2017 - mars 2018***

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 2017 sur une période de douze mois (mars à mars).

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 2017 du programme proposé 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.

Programme P1 :
**Actions d'expertise scientifique, d'information et de conseil
technologique en faveur des programmes de maîtrise des marées
vertes de Bretagne**

SOMMAIRE

1. CONTEXTE ET OBJECTIFS :	5
2. CONTENU DE LA MISSION ET REALISATIONS	6
2.1. Information générale sur les marées vertes, leurs causes et les moyens de lutte	6
2.2. Appui aux collectivités : marées vertes et moyens de lutte	6
2.3. Participation aux différents cycles de réunions régionales sur l'eau / autres réunions	7
2.4. Approfondissement connaissance des flux sédimentaires soutenant les proliférations.....	7
2.5. Analyse des données de suivis de la marée verte et des paramètres climatiques correspondant	8
2.6. Veille thématique internationale	17
2.6.1. Contexte et objectif.....	17
2.6.2. Matériel et Méthodes.....	17
2.6.3. Résultat de l'analyse bibliographique	18
2.6.3.1. <i>Descriptions locales du phénomène de marées vertes</i>	18
2.6.3.2. <i>Descriptions locales d'autres types de proliférations macroalgales</i>	22
2.6.3.3. <i>Eléments contribuant au développement des marées vertes</i>	24
2.6.3.4. <i>Contrôle nutritionnel et autres facteurs limitant les marées vertes</i>	26
2.6.3.5. <i>Impact direct et indirect des accumulations de macroalgues sur l'écosystème</i>	27
2.6.3.6. <i>Effets généraux de l'eutrophisation côtière sur les équilibres biologiques</i>	29
2.6.3.7. <i>Origine des sels nutritifs et leur gestion</i>	29
2.6.3.8. <i>Gestion et valorisation des algues vertes</i>	29
2.6.3.9. <i>Caractérisation des algues vertes</i>	31
3. CONCLUSION - PERSPECTIVES	33
ANNEXES	35

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 reconquêtes 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.

La situation créée en juillet 2009 par l'accident survenu à Saint Michel en Grève, avec sa très forte médiatisation et la mise en place d'une commission d'enquête interministérielle en vue d'élaborer un « plan d'urgence algues vertes », 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, plus particulièrement sur le point du ramassage accru des algues et leur traitement. Ce surcroît de demande, associé au fait que le nombre de jours programmé pour cette mission de soutien avait été diminué sensiblement en 2009, a conduit à solliciter la capacité d'intervention du Ceva au-delà des moyens prévus et mis en évidence un certain nombre de lacunes notamment en terme de mise à disposition des informations accumulées au travers de nouveaux documents ou publications.

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 mais aussi de demandes plus modérées, a incité à la définition de programmes pour 2014 à 2016, dans la lignée des années précédentes mais revus à la baisse par rapport aux années antérieures.

Pour l'année 2017, les demandes étaient estimées comme pouvant être plus soutenues du fait de la mise en œuvre du nouveau SDAGE 2016-2021 et de la finalisation du montage des plans locaux « algues vertes ». Cependant, étant données les difficultés potentielles, y compris pour le CEVA, de financement de ce programme, il a été proposé de maintenir les moyens à un niveau proche des trois dernières années, années pour lesquelles ces moyens avaient été revus à la baisse. Une légère augmentation des moyens est cependant prévue, notamment pour intégrer un survol d'avant saison et une estimation de stock résiduel, et quelques jours incompressibles sur la participation au groupe permanent de scientifique en appui du plan algues vertes.

2. CONTENU DE LA MISSION ET REALISATIONS

La mission du CEVA dans ce programme CIMAV P1 suppose une grande disponibilité pour répondre, le plus souvent 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, syndicat 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 2017, 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 2017 à mars 2018, ces interventions répertoriées représentent plus de 110 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 la longue de limiter quelque peu les demandes. En 2017, les demandes ont pourtant été très importantes et en particulier de la part des médias. Cela est lié à la mise en place du nouveau plan de lutte contre les algues vertes (PLAV2) qui a suscité de nombreuses demandes d'informations de bilan du PLAV1, de son efficacité sur les proliférations et concentrations en nitrates, etc. Ensuite, le démarrage extrêmement précoce de la prolifération 2017, d'autant qu'il coïncidait avec le bilan du PLAV1, a provoqué beaucoup de demandes en termes de constat et surtout d'explication de cette anomalie dans le démarrage de la prolifération 2017, malgré un contexte pluriannuel plutôt favorable. L'explication a beaucoup porté sur la précocité du phénomène qui était liée aux caractéristiques de l'hiver et aux stocks de l'automne précédent plutôt qu'au « niveau de pollution de l'année ». Et au fait qu'un démarrage aussi massif de la prolifération était, au moins pour le printemps, incontrôlable par les flux d'azote de l'année.

A noter également des demandes de la part d'étudiants notamment dans le cadre de travaux sur le phénomène (AgroCampusOuest ou AgroParisTech) de publications 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 (mail, 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, surtout dans la situation perturbée et très médiatisée depuis 2009, dans la mesure où la mise en œuvre d'actions n'est possible que si les acteurs mais aussi le public ont connaissance de la situation réelle et des leviers d'actions à disposition (préventif N ou P, niveau à atteindre et actions pertinentes, curatif, ...). 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, très précoce en 2017 et particulièrement massive sur d'autres doit donc pouvoir être expliquées et mises en ligne avec les mécanismes de ces proliférations.

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 rapide synthèse des observations issues des survols. 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 lourd en temps 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. Ces 7 bulletins mensuels ont été complétés par un bulletin de synthèse annuelle +

perspectives de précocité de la saison suivante (le 7 mars 2018 ; et avant la saison 2017, bulletin de consolidation le 4 avril en plus du précédent le 21 février 2017).

Outre l'édition de bulletins d'information sur l'évolution de la prolifération, l'action d'appui aux collectivités a représenté, environ 50 interventions en 2017. Ce volet est d'autant plus lourd en temps, que nombre d'interventions nécessitent souvent un temps de préparation long (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, Arguenon-Fresnaye, Rance Fémur, ...), des comités thématiques algues vertes créés dans le cadre du plan gouvernemental, du groupe permanent de scientifique en appui au PLAV et, dans une moindre mesure, des structures de bassin versant et des collectivités bretonnes (de communes éventuellement, de communautés de communes, départements, région). En 2017, plusieurs communes ont demandé au Ceva des données pour mettre à jour ou compléter des profils de baignade (Penvenan, Plouha, Locquémeau, Breg-Léguer, Trébeurden, Nantouar). Le groupe de travail sur les vasières (10 A2) s'est réuni à 3 reprises (dont une fois avec les Sages concernés) et le Ceva a été appelé à contribuer de près à un nouveau 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.

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

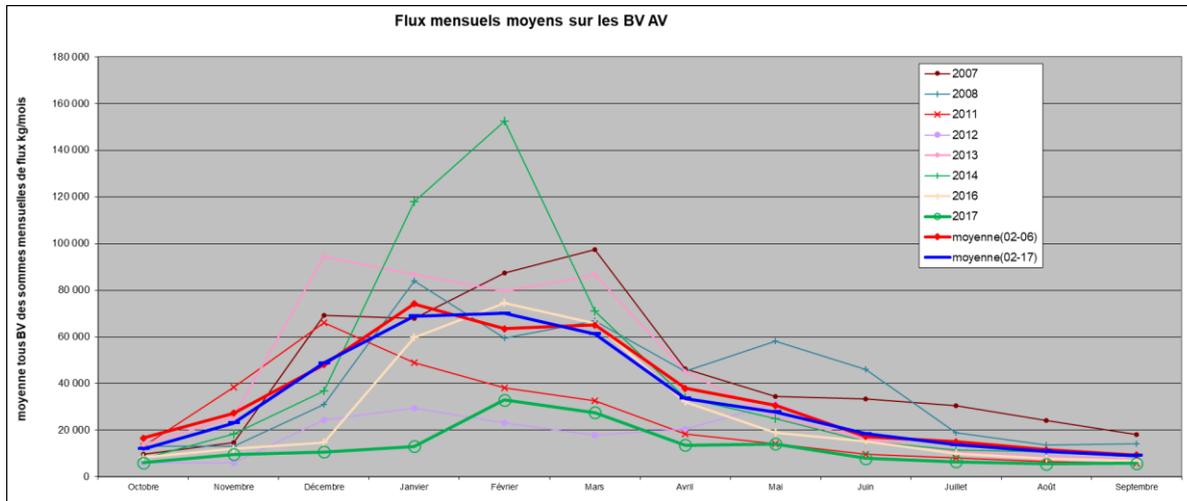
Cette « rubrique » représente en 2017 plus de 20 réunions. Les principales interventions sont reportées en annexe 1. Le Ceva a répondu à des demandes d'universitaires et de divers organismes qui utilisent les suivis des algues vertes comme indicateur environnemental (DREAL / Cahier de l'environnement, PRSE, Bretagne Environnement, Atlas de l'environnement du Finistère, Ifremer/DCSMM et OSPAR, BRGM/AELB : contribution à l'étude d'analyse des coûts /bénéfice de la diminution des nitrates sur le ppc), a participé à la rédaction d'un article sur les proliférations sur les masses d'eau de transition et impact sur les poissons, a fourni des données pour la constitution d'un Atlas par les préfecture 22 et 29 sur les algues en putréfaction sur les zones de vasières, a contribué à analyser l'apport des données hautes fréquences acquises sur le Douron à la mesure des flux aux exutoire, Ces actions ont été lourdes encore en 2017 notamment du fait pour certaines demandes de besoin de traitements de données et explications de la signification de celles-ci gourmandes en temps. A noter que les moyens humains limités pour répondre aux demandes ont parfois impliqué des réponses plus succinctes ou différées dans le temps. On peut cependant estimer que l'absence du CEVA aux diverses rencontres auxquelles il s'est excusé n'a pas entravé l'action de lutte contre les marées vertes.

2.4.Approfondissement connaissance des flux sédimentaires soutenant les proliférations

En début 2015, le Ceva avait produit une synthèse (annexe du rapport P1 2014) sur l'état des connaissances sur les flux sédimentaires et les outils pour les mesurer (« Contribution du sédiment aux cycles de l'Azote et du Phosphore en zone côtière – Impacts potentiels sur les marées vertes »). Afin d'améliorer les connaissances sur les flux sédimentaires, notamment pour répondre à la disposition 10A2 du Sdage, le Ceva a proposé en 2016 un programme de recherche (Cimav P3) consistant en l'utilisation d'ulves pour évaluer la fourniture sédimentaire en nutriments, programme qui s'est poursuivi en 2017. Les moyens humains du P1 ont été mis à contribution pour prolonger ce programme dans la mesure où ceux définis dans le cadre du Cimav P3 étaient insuffisants pour répondre à toutes les missions réalisées. En particulier, les réunions (non prévues dans le Cimav P3) entre scientifiques et entre les scientifiques et les Sages ont été réalisées dans le cadre du P1 ainsi que la partie bibliographie particulière aux flux sédimentaires et que certaines actions concernant l'interprétation des données acquises dans le cadre du dispositif Cimav P3 (utiles à l'action P1).

2.5. 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 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). Jusqu'en 2009, seuls les sites du précédent programme de lutte « Prolittoral » faisaient l'objet de suivi de leur qualité de l'eau et flux au littoral (fournitures par les animateurs des bassins versant de ce programme). En 2010, en plus de ces bassins versants a été ajoutée la compilation des données des 3 cours d'eau se jetant en fond de baie de Saint Brieuc (Gouet Urne Gouessant : données de qualité de l'eau par le suivi DDTM22/CQEL aux exutoires), avec les mêmes méthodes (calcul des débits journaliers, interpolation des concentrations journalières puis calcul des flux journaliers). En 2011, en plus des cours d'eau précédents, ont été ajoutés l'Horn et le Guillec (données de qualité de l'eau de l'Horn et du Guillec fournies par le Syndicat Mixte de l'Horn). Les débits du Frémur ont été recalculés pour l'ensemble de la période 1992-2013 (d'après les débits nouvellement acquis station limnigraphique de la DREAL opérationnelle depuis mars 2010 ce qui permet d'avoir une chronique de près de 2 ans qui peut être corrélée aux valeurs du Frémur de Pleslin). En mars 2015, les débits de l'Ic ont été recalculés en exploitant les mesures de la nouvelle station limnigraphique de l'Ic (validée par la DREAL) et les corrélations entre ces débits et les débits du Leff à Boquého et Quemper Guézennec (c'est ce dernier cours d'eau qui permet les meilleures extrapolations de débit au moins pour ce qui est du débit annuel, les débits d'étiage étant probablement surestimés). Pour la baie de Douarnenez, depuis nov 2013 sont disponibles de nouvelles valeurs de débit issues des stations de jaugeage installées sur le Kerharo et le Ris. En 2016, ces valeurs locales mesurées ont été intégrées pour décrire les flux arrivant en baie et les années 2014-2016 pour lesquelles nous disposons d'acquisitions locales ont permis de revenir sur les évaluations des années antérieure (base Steir à Guengat). Il est cependant possible que les courbes de tarage évoluent encore (manque de valeurs dans les plus forts débits).



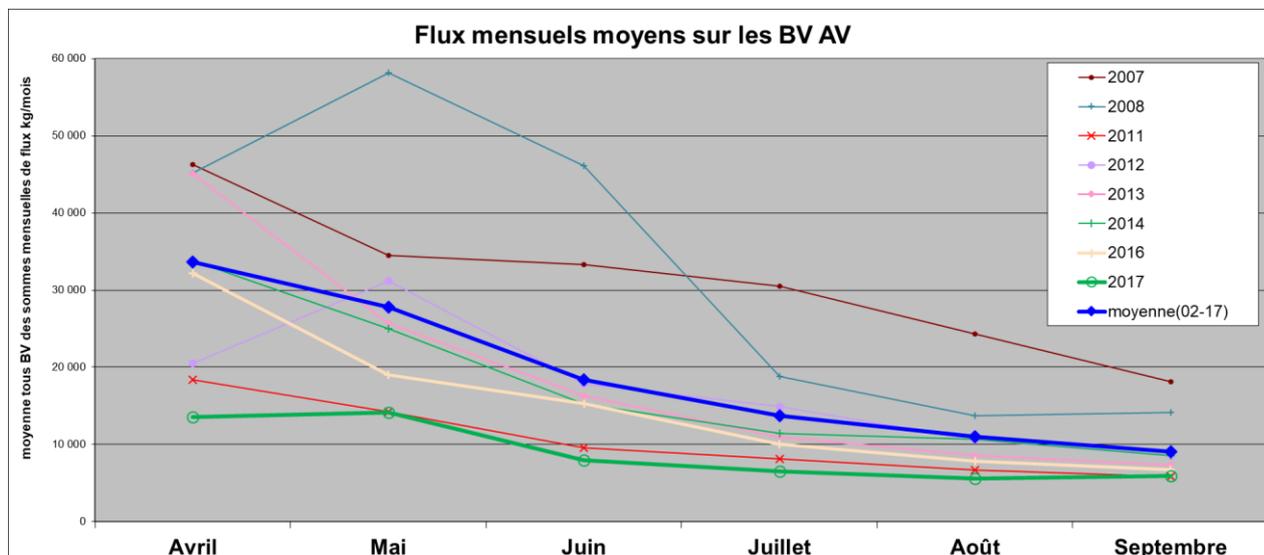


Figure 1 (a) et (b) : Flux moyens mensuels à l'exutoire des bassins versants concernés par les principales proliférations (moyenne des flux mensuels des 7 cours d'eau alimentant les sites du programme « Prolittoral 2002-2006 » + les trois cours d'eau du fond de baie de Saint Briec : Gouessant Urne Gouet + l'Horn + le Guillec). Seules certaines années ont été sélectionnées sur ces graphes pour alléger la représentation, ainsi que les moyennes pluriannuelles 2002-2016 et 2002-2006 (série d'années plutôt sèches). La première figure présente les flux sur l'ensemble de l'année, particulièrement bas en hiver 2016-2017 (-50 à -80 % sur octobre à mars). La deuxième figure présente les flux sur la période la plus sensible : les niveaux de flux de 2017 sont sensiblement inférieurs au flux moyen pluriannuel et à toutes les années antérieures y compris à l'année 2011, référence de flux bas.

* pour les années 2002 et 2003, les flux ont été calculés sans intégrer les données du Quillimadec (débits manquants).

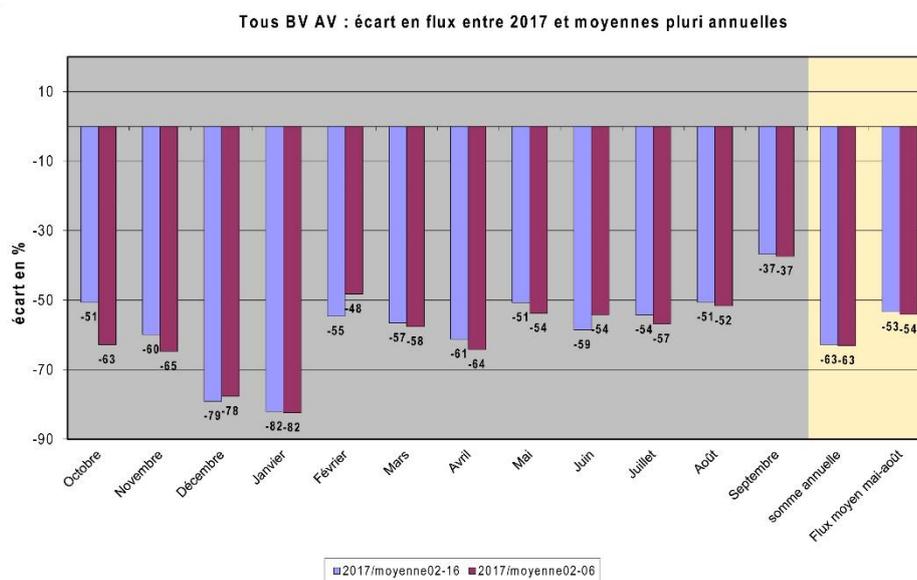


Figure 2 : écart de flux mensuel, annuel et saisonnier aux exutoires des BV AV par rapport aux années antérieures (moyenne des sommes mensuelles pour tous les BV). Sur l'ensemble de la période annuelle le flux est de 60 % inférieur à la moyenne des années antérieures (janvier le plus fortement déficitaires, avec 80 % de défaut de flux) ; sur la période sensible « mai-août » le flux est de 55 % inférieur au flux moyen (tous les mois sont à plus de 37 % de moins que la moyenne).

* pour les années 2002 et 2003, les flux ont été calculés sans intégrer les données du Quillimadec (débits manquants).

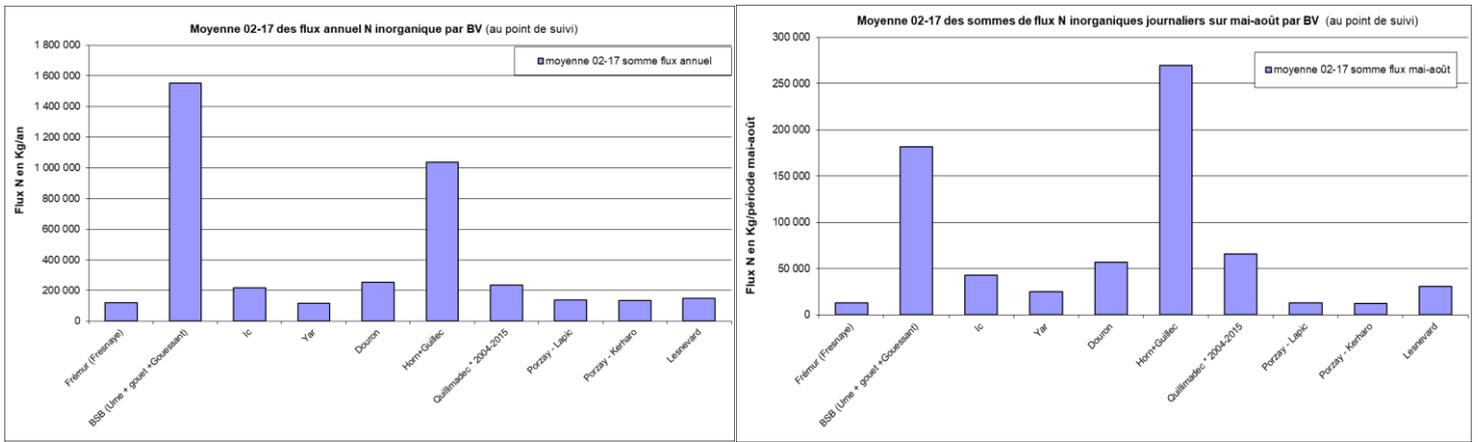


Figure 3 (a) et (b) : évaluation des flux d'azote inorganique de chaque BV estimés sur l'année en moyenne 2002-2017 (graphe de gauche) pour la partie du BV suivie (point exutoire du cours d'eau ; ce qui peut être assez différent du flux total du BV dans le cas où plusieurs cours d'eau drainent les BV mais qui permet de visualiser la part de chaque cours d'eau au flux total régional moyen sur 2002-2017 de 3 950 T décrit en figures 1 et 2). Le graphe de droite présente le flux total d'azote inorganique de chaque BV dans les mêmes conditions mais sur la période mai-août uniquement (somme des apports journaliers). Cela permet de mettre en évidence la contribution forte de l'Horn+Guillec surtout si on analyse la période estivale ce qui s'explique par des étiages soutenus et des flux spécifiques annuels forts. Le flux moyen sur les mois de mai-août est estimé à 710 T.

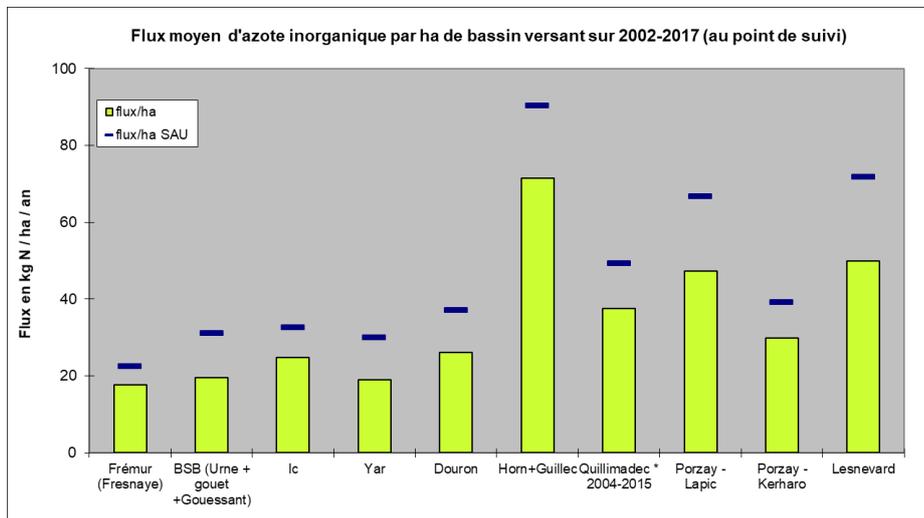


Figure 4 : flux spécifique moyen d'azote inorganique de chaque BV estimé sur l'année en moyenne 2002-2017 pour la partie du BV suivie (point exutoire du cours d'eau, idem aux figures 3 a et b). On perçoit des flux spécifiques (par ha de BV ou par ha de SAU) particulièrement importants sur l'Horn+Guillec 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 18 sur le BV de la Fresnaye.

L'année hydrologique 2017 présente un flux annuel très nettement inférieurs au flux moyen pluriannuel (- 60 % sur l'année) et inférieurs sur chacun des mois. Le déficit de flux est particulièrement marqué sur les mois de décembre et janvier (-80 %) et l'est tous les mois y compris en septembre, mois pour lequel le déficit est le moins marqué mais avec tout de même près de 40 % de moins que la moyenne pluriannuelle. Sur la période la plus sensible aux proliférations (mai-août pris comme indicateur) le défaut de flux est de plus de 50 %. De plus l'année 2017 est, sur la période sensible comme sur l'année hydrologique, l'année présentant le flux le plus bas depuis au moins 2002 (mesures manquantes sur une partie des cours d'eau les années antérieures). Dans le détail, tous les cours d'eau sont sur la même tendance avec toutefois des différences marquées sur le flux total mai-août comme le montre la Figure 5. On peut constater des flux (cf. lien avec la faible pluviosité de l'ouest et les substrats géologiques) très inférieurs aux moyennes pluriannuelles sur le Nord de la baie de Douarnenez (- 66 et - 75 %) alors qu'ils sont plus proches de la moyenne sur la Fresnaye (- 30 %). La distribution de ces flux au cours de la saison est elle aussi variables selon les bassins versants comme le présente l'annexe 2 en lien des pluviosités et contextes pédogéologiques différents.

On peut y distinguer la particularité de la Fresnaye dont les flux en mai sont autour des moyennes pluriannuelles (remontées également sur la baie de Saint Brieuc avec trois épisodes de crues en début, mi et fin mai probablement profitables pour les ulves), le cas du Yar avec des débits sur septembre qui remontent au niveau des moyennes pluriannuelles et la baie de Douarnenez (en particulier le nord de la baie dont les étiages sont plus prononcés) qui présentent des flux sur la période estivale très en dessous des moyenne pluriannuelles (jusqu'à -80 ou -90 % sur le Laptic ou Kerharo en juillet).

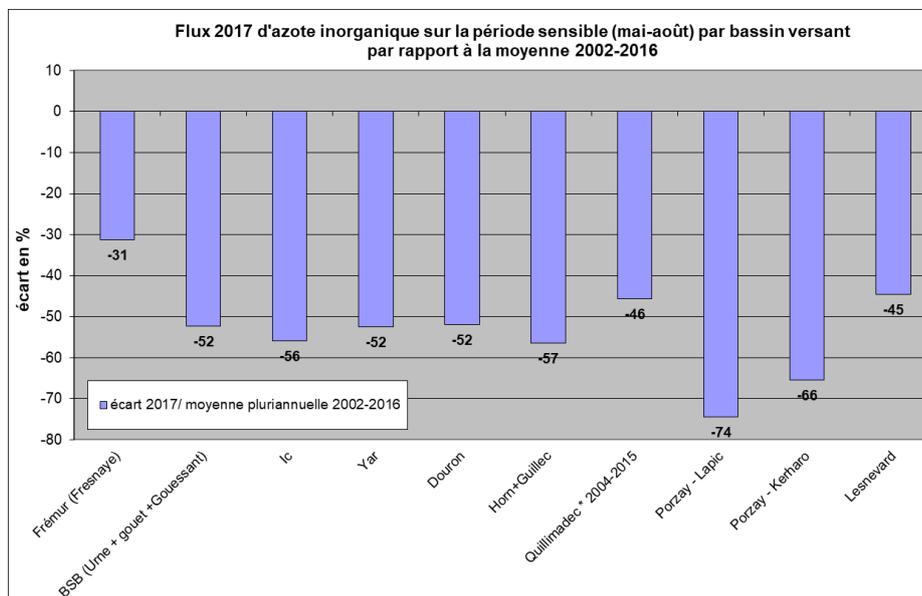


Figure 5 : écarts par BV entre flux d'azote inorganique dissous sur mai-août 2017 et le flux pluriannuel 2002-2016. La pluviiosité différente et le contexte géologique local expliquent en majeure partie ces différences de comportement.

Il convient aussi de noter que la **valeur « totale » du flux mai-août peut résulter de situations plus ou moins favorables aux proliférations**. Comme relevé ci-dessus, une année de flux plutôt bas, les reprises de flux importantes à trois reprises sur le mois de mai (chaque fois plusieurs jours de rang) produisent probablement un effet plus favorable pour la croissance algale sur ce mois, alors que les flux, habituellement très élevés du mois mai sont « saturants » pour la croissance et influent sur le niveau général mai-août. Cette première analyse « globalisante » par le flux sur la période « sensible » permet donc de relever les grandes tendances, mais une explication plus précise de la réaction des sites aux conditions annuelles doit prendre en compte les flux sur des périodes plus fines et les associer aux autres paramètres (ensoleillement, dispersion éventuelle par des coups de vent, voire même coefficients de marées au moment des apports,). Il est clair surtout pour 2017 que la présence déjà très massives des ulves en avril (niveau d'avril = niveau moyen pluriannuel de juin) explique en très grande partie le niveau intense de la prolifération, même dans un contexte de flux très bas sur la période.

Ces différences de comportement en flux des différents bassins versants sont en partie liées à des différences de pluviiosité Est-ouest (voire beaucoup plus locales dans les cas d'orages) mais aussi à des réactions hydrologiques différentes (substrats géologiques qui commandent l'importance des soutiens d'étiage et la plus ou moins grande part d'azote restituée en période sensible) et aux baisses plus ou moins marquées des concentrations de nitrates dans les cours d'eau (et dans une moindre mesure, dans le cas de la baie de Saint Brieuc aux améliorations du traitement des eaux usées des Step).

A noter qu'outre ces débits inférieurs aux normales, **la baisse des concentrations de nitrates sur l'ensemble des cours d'eau** (et des apports par la Step de Saint Brieuc) joue **un rôle important dans la diminution observée des flux** en 2017 et lors des dernières années de suivi.

Les caractéristiques pluviométriques et d'éclairements fournis par Météo France sont reportées en Figure 6. Le début de l'hiver 2017 est particulièrement peu pluvieux (décembre 2016 : -80 % puis janvier -35 à -70 % de pluie) devenant en février proche de la normale et légèrement déficitaire en mars. Le printemps est plus

contrasté avec un mois d'avril, très sec (autour de 20 mn de pluie soit près de 80 % de pluie en moins que la normale sur l'ouest Bretagne) suivi du mois de mai qui reste sec sur l'ouest (léger déficit) mais plus arrosé sur le nord et l'est (jusqu'à 80 % de pluie en plus sur Saint-Brieuc avec près de 120 mn en lien surtout avec trois épisodes orageux intenses en début, mi et fin mai). L'été est proche de la moyenne en juin (léger déficit) très peu arrosé sur le sud-ouest (Quimper – 40 % de pluie) et en léger excédent sur les autres stations, phénomène qui s'accroît en août (déficit sur Quimper de – 60 % quand les autres stations montrent des excédents de 25 à 50 %). En septembre, toutes les stations analysées présentent des excédents (+ 30 à + 60 %). Logiquement, l'ensoleillement présente des caractéristiques inverses avec des fort excédents en janvier et avril et des déficits plus ou moins marqués en juillet août et surtout septembre.

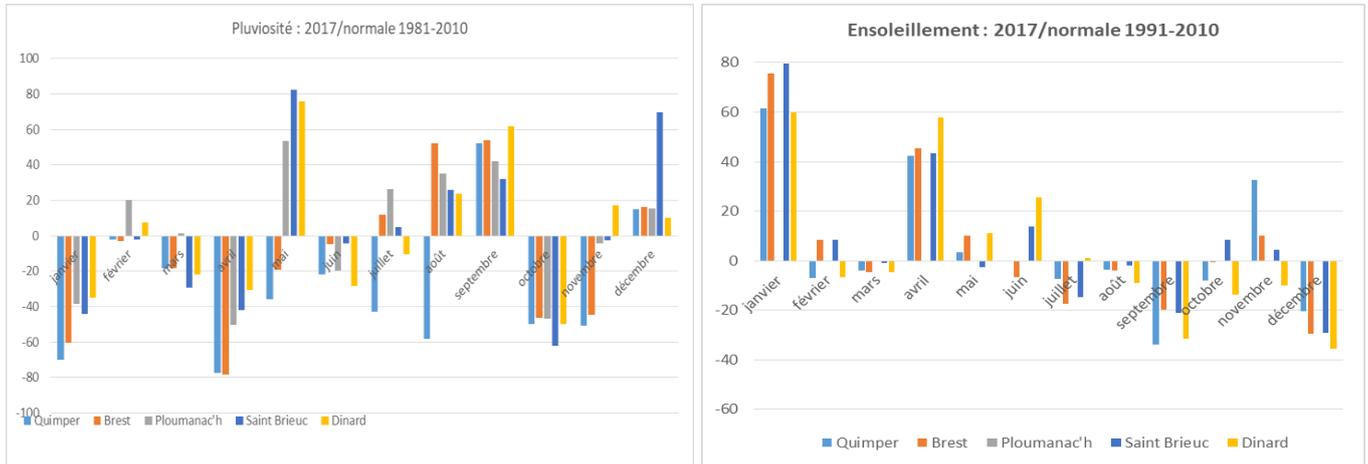


Figure 6 (a) et (b): données MétéoFrance sur les différentes stations, en pluviosité (à gauche) et en ensoleillement (à droite ; pas de donnée disponible sur Ploumanac'h).

Les évolutions, d'une année sur l'autre des flux mesurés dans la saison, sont en grande partie liées aux variations des débits des cours, eux-mêmes liés aux précipitations et aux caractéristiques pédo-géologiques des bassins versants (transformation plus ou moins rapide des précipitations en débit de cours d'eau). En effet, cette composante débit sur la période estivale est très fortement variable à l'échelle interannuelles alors que les concentrations, elles, sont beaucoup plus tamponnées. Cependant, pour certains secteurs côtiers, les niveaux de concentrations en nitrates, **en forte baisse depuis plusieurs années**, expliquent en partie la situation mesurée en flux. Le suivi des concentrations permet de voir la diminution plus ou moins rapide et forte des concentrations de nitrates pour les différents cours d'eau (à noter pour la baie de Saint Brieuc, outre la baisse pluriannuelle des concentrations en nitrate, le fort abattement depuis 2006 des fournitures de NH4 par la Step de la ville de Saint Brieuc qui induit une diminution de près de 500 kg/jours des flux d'azote ce qui est considérable, surtout dans le cas d'année sèche). La diminution des concentrations se poursuit sur la plupart des cours d'eau comme le montre les Figure 7 (a) et (b).

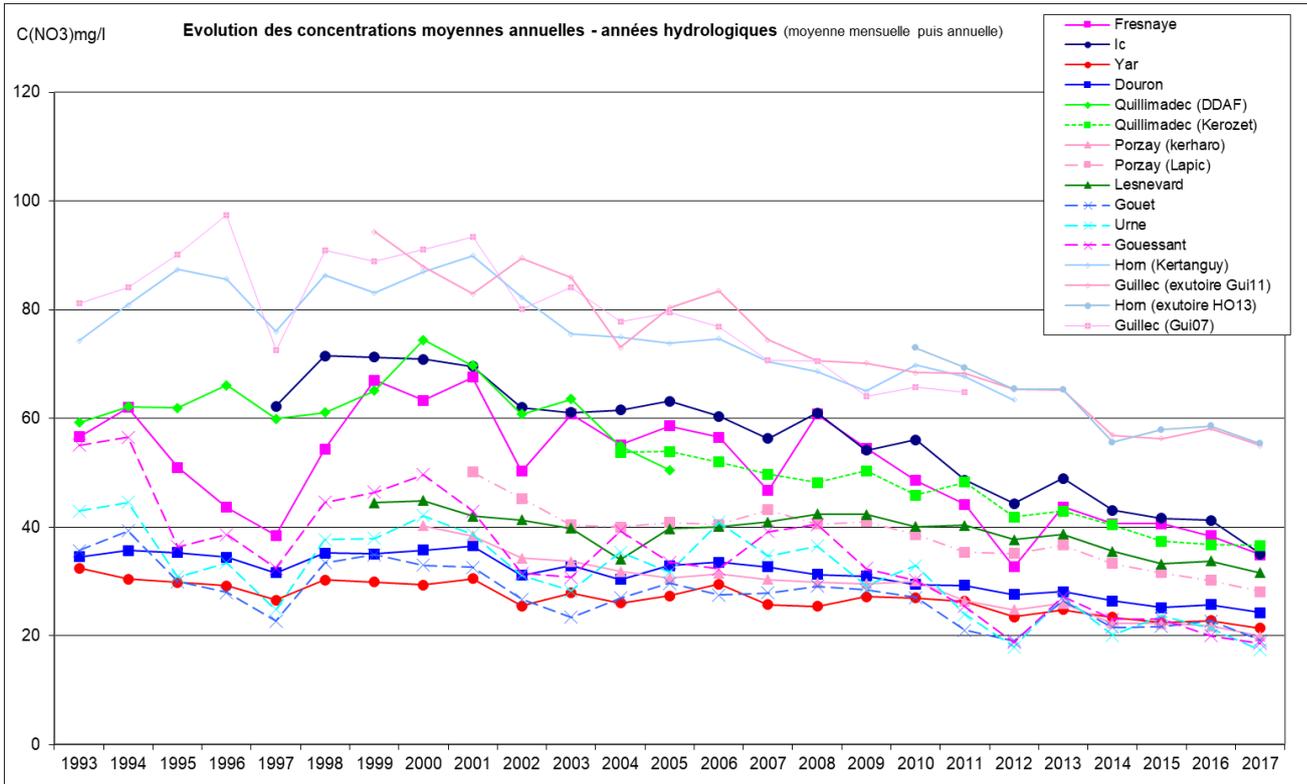
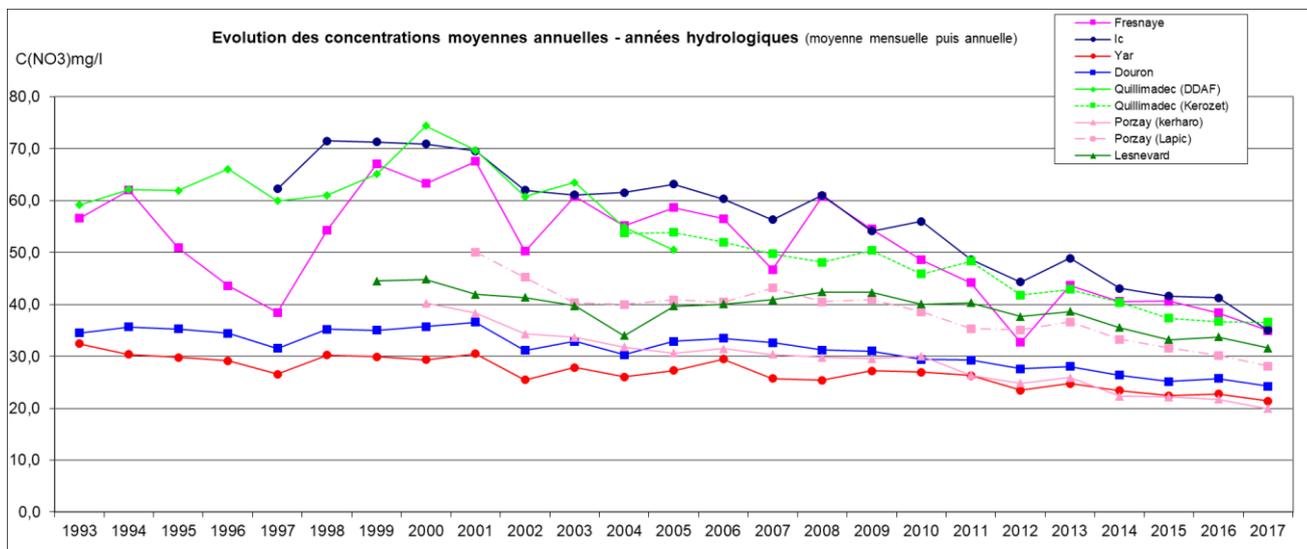


Figure 7 (a) et (b) : Evolutions des concentrations en Nitrates sur les cours d'eau suivis (moyennes mensuelles puis annuelles afin d'avoir le même poids pour chaque mois de l'année). (a) sur les cours d'eau de l'ex programme Prolittoral, (b) sur tous les cours d'eau intégrés au suivi dans le cadre de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

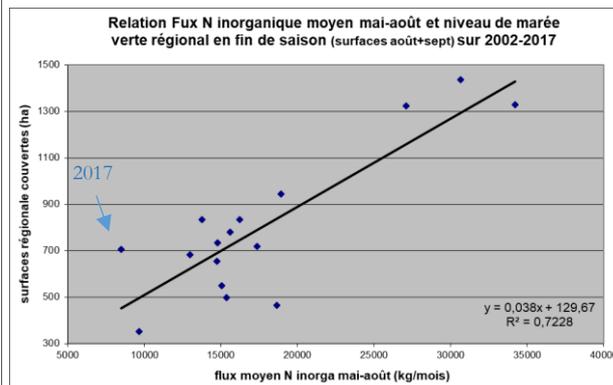
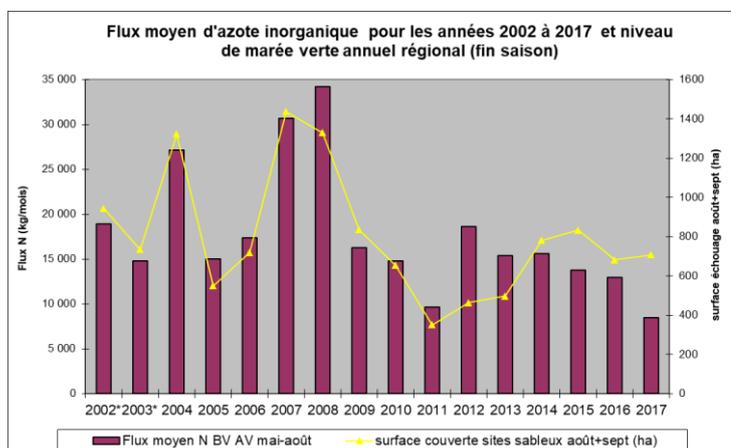


Figure 8 (a) et (b) : Flux d'azote sur la période sensible (moyenne des flux de mai à août sur les BV AV) et niveau de marée verte atteint en fin de saison (surface en août+septembre sur les plages bretonnes). Les surfaces couvertes par des algues

brunes (ou rouges) filamenteuses notamment en 2011, 2012, 2013, 2015 et 2017 en baie de Saint Briec, en 2016 et 2017 sur la baie de Douarnenez et depuis 2006 sur l'est du département des Côtes d'Armor) ne sont pas comptabilisées ici.

* pour les années 2002 et 2003, les flux ont été calculés sans intégrer les données du Quillimadec (débits manquants).

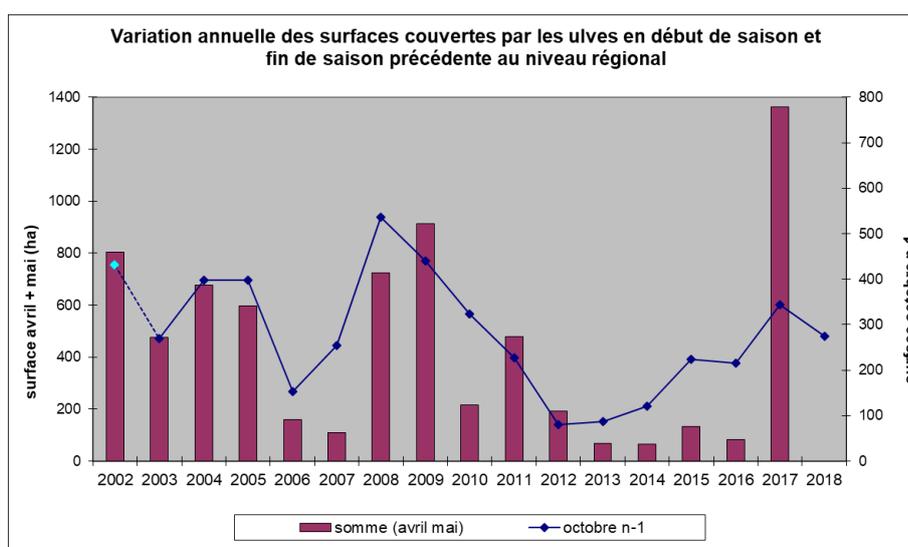


Figure 9 : Surfaces couvertes par les ulves en début de saison (avril+mai) et lien avec le niveau de couverture de la fin de l'année n-1. Les niveaux plus faibles qu'attendus en 2006, 2007, 2010, 2013, 2014, 2015 et 2016 s'expliquent : pour 2006, 2010 et 2013, par des températures de l'eau beaucoup plus 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, 2014, 2015 et 2016 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 (cf. plus bas) est lié aux conditions hivernales très peu dispersives sur novembre-mars (et aussi avril), des températures de l'eau favorable 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 2017**, en début avril 2017, les éléments ci-dessous étaient proposés :

Les éléments disponibles, assez clairs le 21 février (2017), sont confirmés en ce début avril et laissent **craindre une prolifération particulièrement précoce** :

- Les **quantités présentes en fin 2016** sont supérieures aux années antérieures (depuis octobre 2009) et s'établissent au double de la moyenne de 2009-2015 et même à 30 % au-dessus du niveau moyen 2002-2015,
- La température de l'eau **est, pour les mois de janvier, février et mars proche de la moyenne et même légèrement supérieure** (0.2 °C au-dessus de la moyenne pour février et 0.5 en mars : réseau SOMLIT à Astan – 60 m de fond),
- **L'hiver est le moins dispersif** de la chronique suivie : indicateur « jour de houle de + de 2.5 m » très nettement inférieur à la moyenne sur novembre à mars (47 jours contre 63 jours sur 2003-2015) et le nombre de jours est surtout très bas pour les tranches de houle les plus élevées (9 jours de + de 3.5 m contre 27 en moyenne **soit 3 fois moins**).

Le démarrage de la prolifération 2017 était donc attendu comme très précoce. Cela a probablement été encore accentué par des **conditions d'avril très favorables** : temps lumineux (entre + 40 à + 57 % d'heures d'ensoleillement en plus suivant les stations de Météo France), très peu dispersif. **Le premier survol d'avril 2017 a ensuite confirmé cette précocité exceptionnelle** avec une surface **5.9 fois supérieur** à la moyenne 2002-2016 d'avril et identique au niveau interannuel du mois de juin (qui est le niveau maximum annuel moyen).

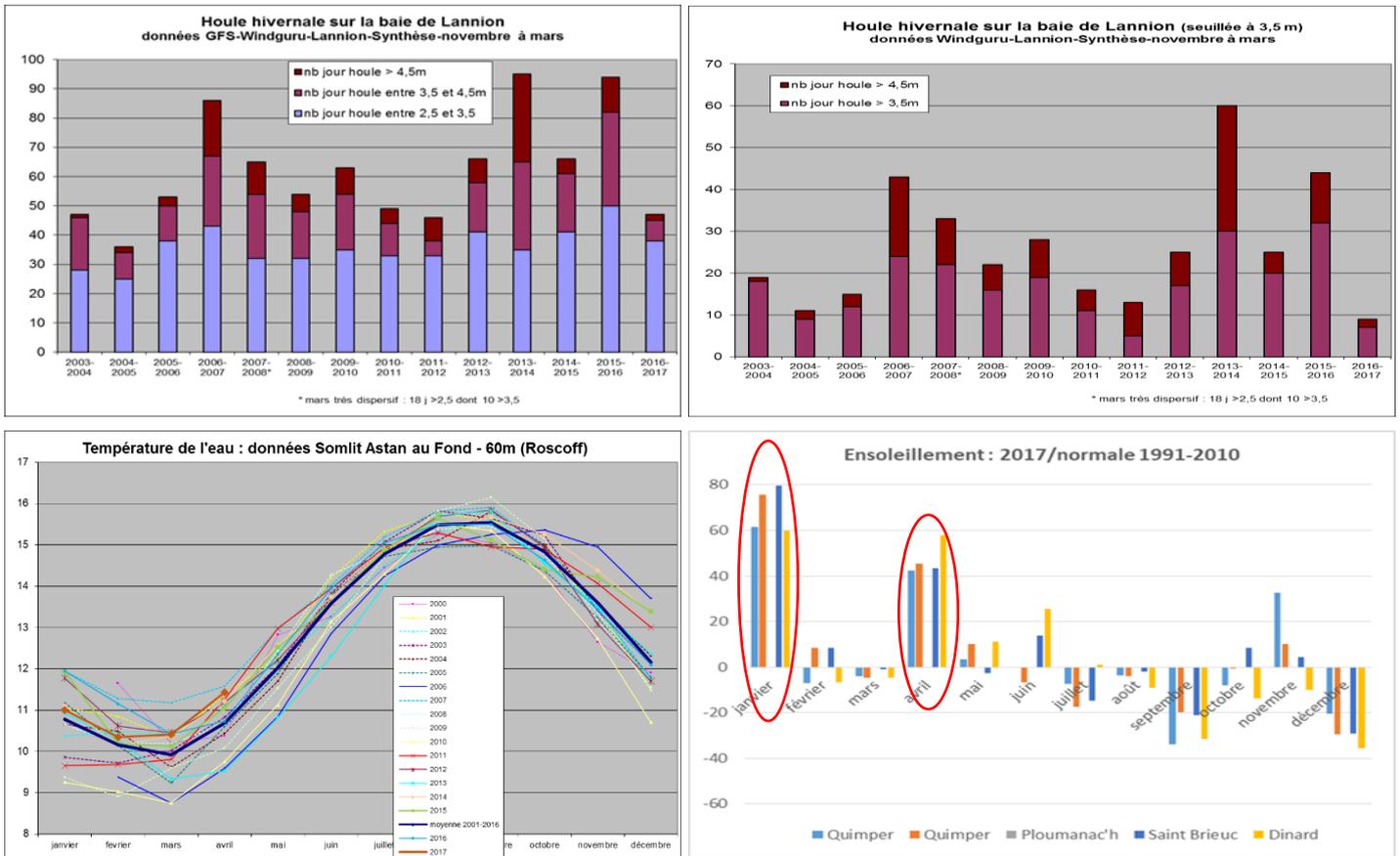


Figure 10 (a), (b), (c) et (d) : caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et mars 2017 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. On note le fort éclairement sur toutes les stations en janvier et avril, périodes pour lesquelles la lumière est classiquement un facteur limitant.

➤ **Concernant la précocité de démarrage 2018**, les éléments disponibles en cette fin mars 2018, au niveau régional, sont les suivants :

- Les surfaces couvertes en octobre 2017 (cf. Figure 9) sont inférieures au niveau de l'année précédente (-20%) et identiques au niveau moyen pluriannuel 2002-2016.
- La température de l'eau est, a priori sensiblement inférieure aux moyenne pluriannuelle (de l'ordre de 0.25 °C en novembre, décembre et février). Les données de mesure SOMLIT ne sont pas disponibles (exceptionnellement du fait d'absence temporaire du responsable du réseau) pour la fin février ni pour le mois de mars mais les données disponibles par ailleurs semble attester d'un maintien ou renforcement même en mars de ces températures basses (probablement de l'ordre de 0.5 ou 1°C, à confirmer),
- L'analyse de la dispersion hivernale permet de percevoir un hiver plutôt dispersif : sur l'ensemble de la période novembre à mars, le nombre de jours de houle de plus de 2.5m est 6 % supérieur à la moyenne (14% si on se base sur la houle en max annuel plutôt qu'en moyenne journalière). Cela place l'hiver 2017-2018 au 4^{ème} rang sur les 15 années, derrière 2013-2014, 2015-2016 et 2006-2007 (et au même niveau que 2012-2013 et 2014-2015). Sur les épisodes les plus dispersif, en particulier du fait des tempêtes de mi-décembre, fin décembre/début janvier et mi-janvier, l'hiver 2017-2018 apparaît plus nettement dispersif : 2^{ème} hiver comptant le plus de jours de plus de 5.5 m de houle (4 jours contre 5 en 2013-2014, année la plus dispersive) et 16 % de jours de houle de plus de 4.5m qu'en moyenne 2003-2016.

En plus de ces éléments, on peut noter (Figure 11 (d)) que les paramètres d'ensoleillement sont défavorables sur les mois de décembre, janvier et mars. L'excédent d'ensoleillement de février est lié à la dernière semaine du mois (50 % des heures d'ensoleillement du mois) de vent d'est soutenu et de température particulièrement froides ce qui très probablement n'aura pas été profitable aux ulves.

L'ensemble des paramètres **conduisent donc à prévoir une prolifération 2018** qui sera très nettement moins précoce que l'année précédente et même **plus tardive qu'en moyenne pluriannuelle**. La poursuite d'un temps plutôt agité et peu lumineux (prévisions météorologiques actuelles) sur le début avril **devrait encore accentuer ce retard saisonnier**. A plus long termes, les débits actuellement importants pourraient permettre une croissance soutenues des algues une fois les quantités dans les baies significatives (mais il est trop tôt pour estimer le niveau que les débits présenteront en fin-mai ou juin, période pour laquelle les flux peuvent devenir plus nettement limitants).

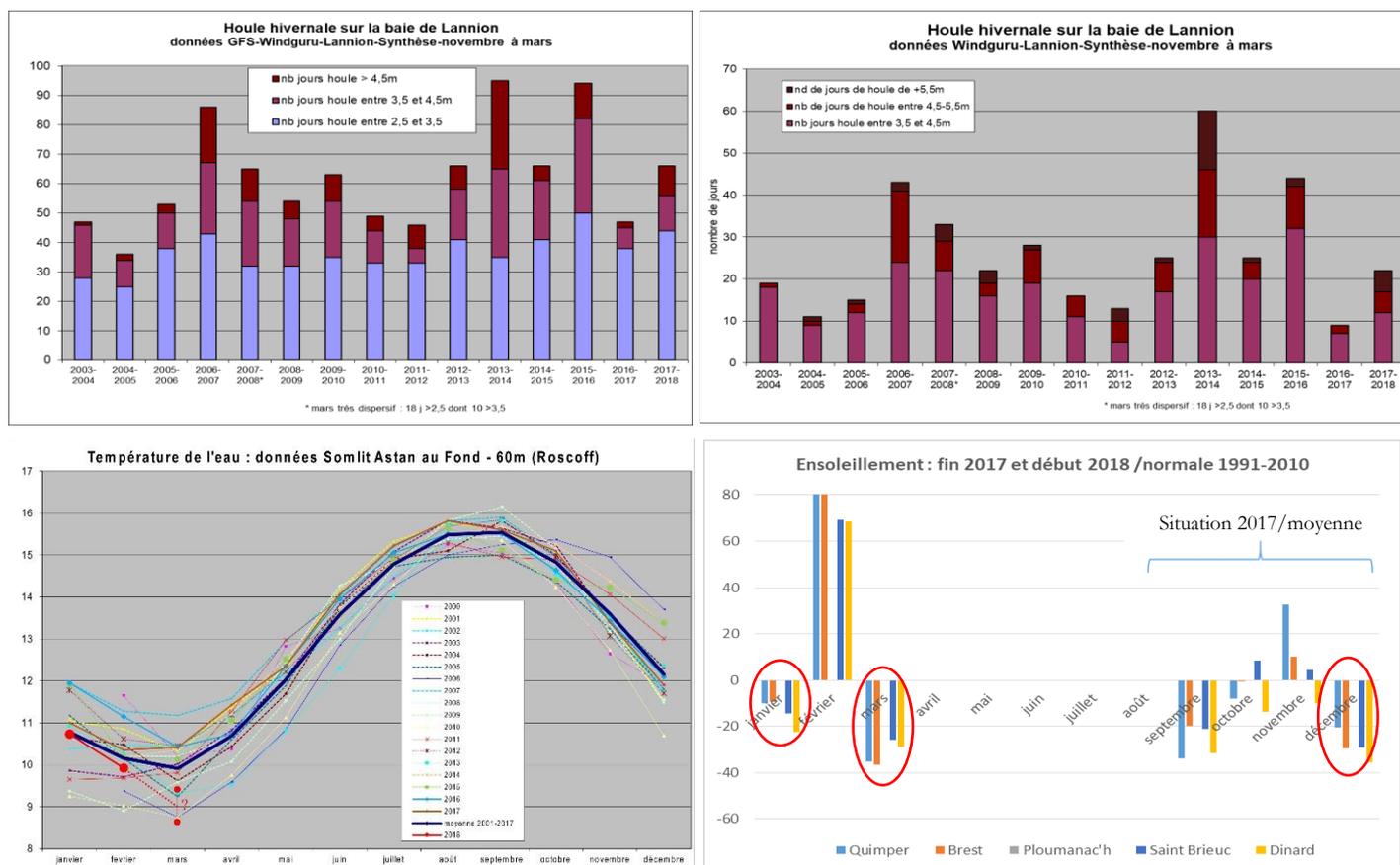


Figure 11 (a), (b), (c) et (d) : caractéristiques des hivers. (a) houle du modèle GFS /Windguru pour le site de Lannion par catégorie de hauteur de vague sur novembre à mars ; (b) mêmes valeurs mais seuillées au-dessus de 3.5 m de houle ; (c) données de température de l'eau en baie de Morlaix entre 2000 et mars 2018 sur le point Astan au fond -60m (données SOMLIT fournies par la Station Biologique de Roscoff ; une seule donnée disponible actuellement pour février et données de mars non encore disponibles) ; (d) écart en nombre d'heures d'ensoleillement sur les stations MétéoFrance littorales suivies pour ce rapport.

➤ Premiers éléments de perception de la reconduction 2017 – 2018

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 relativement favorables au dépôt d'algues potentiellement présentes dans les baies et aux acquisitions aériennes en mi-février. Un vol a pu être réalisé le 21 février (baie de la Forêt, de Douarnenez, de l'anse du Moulin Blanc, de Locquirec/Saint Michel en Grève, de la 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. 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 (de l'ordre de quelques

kg perceptibles contre autour de 1000 T en 2009 et 1500 T en 2017), dans la zone accessible aux observations. **Cela confirme et renforce le caractère attendu tardif de la prolifération 2018** au niveau régional. A noter qu'en cette saison la turbidité forte empêche la visualisation d'éventuels stocks infralittoraux sous quelques centimètres ou mètres d'eau devant la baie. Un second contrôle de terrain a été réalisé le 5 mars (coefficient 100, sur l'heure de la basse mer) puis un troisième le 21 mars (coefficient 92, basse mer) qui ont confirmé cette absence d'ulves perceptible dans la zone de balancement des marées.

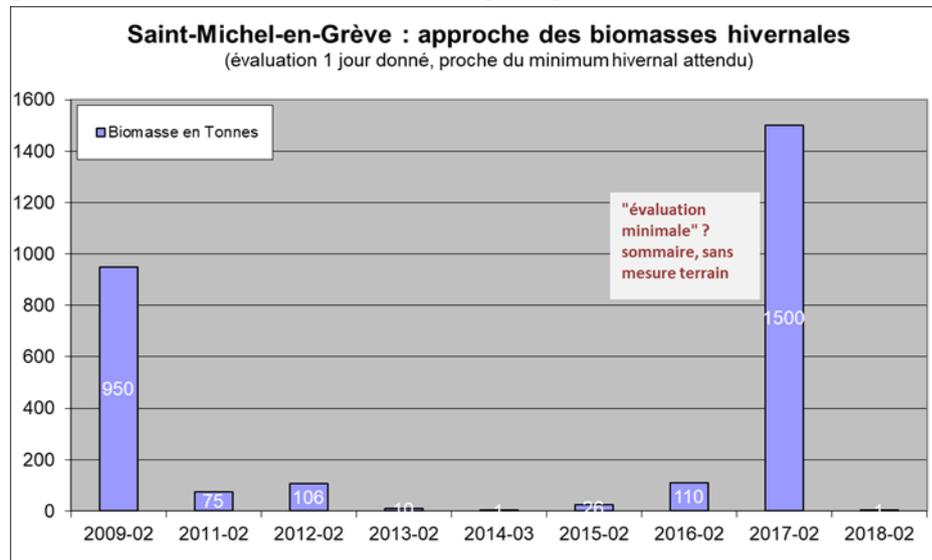


Figure 12 : *estimation sommaire des biomasses minimales hivernales en baie de Saint Michel en Grève (indicatrice du niveau régional de reconduction)*

Les photos prises sur le reste du littoral mettent en évidence la particularité de la **baie de la Forêt qui présentait des surfaces couvertes d'ulves relativement importantes** (anse de Cabellou, anse de Saint Jean, du Saint Laurent et plage de Kerleven : confirmation par les photos de terrain prises par les opérateurs du BV de la baie de la Forêt que les algues perçues en aérien sont bien des ulves). Des figures de masses algales infralittorales (probablement ulves mais difficile de l'attester) sont également perceptible sur l'anse du Moulin Blanc (Brest). Le reste du littoral ne présentait pas de dépôt ni rideau d'ulves.

Ces éléments permettent d'envisager une prolifération 2018 tardive, ou du moins pas précoce comme avait pu l'être la saison 2017. Avec apparemment une particularité de la baie de la Forêt (probablement liée à sa topographie) qui pourrait, en fonction des conditions de mars-avril connaître un démarrage plus précoce.

2.6. Veille thématique internationale

2.6.1. 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.

2.6.2. Matériel et Méthodes

➤ Veille documentaire

La veille documentaire a été réalisée à travers la consultation principalement des bases de données suivantes : Web Of Science, Google Scholar et via les moteurs classiques de recherche sur internet. Les mots clés suivants ont été employés (seuls ou en combinaison) pour pouvoir avoir un résultat le plus exhaustif et pertinent possible : « green-tide », « golden tide », « macroalgae », « sargass », « bloom », « soliera », « asparagopsis ». La recherche documentaire a été centrée sur l'année 2017 complétée par le début de l'année 2018.

➤ Gestion 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.

2.6.3. Résultat de l'analyse bibliographique

Avant-propos : le nom de genre *Ulva* est abrégé dans la suite de ce document par *U.* .

2.6.3.1. Descriptions locales du phénomène de marées vertes

➤ Asie

Comme les années précédentes, l'année 2017 a vu paraître 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 *Ulva prolifera*) se développant au niveau du banc de Subei (Subei Shoal). Les précédentes publications ainsi que celles collectées pour l'année 2017 confirment que l'initiation du bloom est en partie liée à la présence des structures aquacoles destinées à la culture de l'algue rouge alimentaire *P. yezonesis* plus communément connue sous le nom de Porphyra ou Nori. Comme pour l'année 2016, plusieurs publications traitent de l'utilisation de la télédétection satellitaire pour suivre le développement surfacique de la marée verte et fournir des estimations historiques de la prolifération au moyen des images d'archives. Deux publications démontrent l'intérêt de l'imagerie satellitaire associée à des survols aériens par drone pour suivre l'évolution du bloom ou pour évaluer et valider les résultats obtenus avec les images satellites. Ces nouvelles publications s'appuient en grande partie sur le traitement d'images fournies par le capteur MODIS. La **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** Figure 13 propose une cartographie au 15 juin 2015 des algues vertes dérivantes (*U. prolifera*) en Mer Jaune obtenue à partir d'une image du satellite MODIS traduite en fausse couleur.

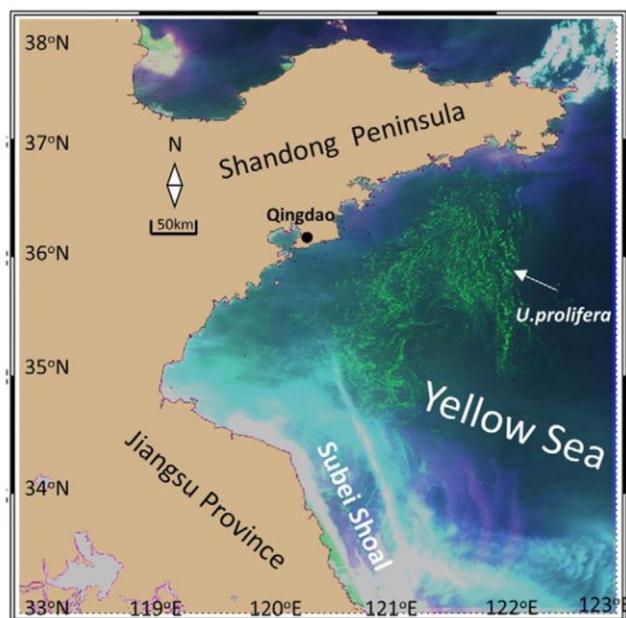


Figure 13 : Cartographie au 15 juin 2015 des algues vertes dérivantes (*U. prolifera*) en Mer Jaune obtenue à partir d'une image du satellite MODIS en fausse couleur. Hu et al. (2017)

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

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Gao et al. (2017d)	Mer Jaune / Chine	Article traitant des outils disponibles pour détecter et suivre les macro-algues flottantes en mer Jaune au moyen de la télé-détection satellitaire . Les auteurs montrent sur la période de suivi de 2014 à 2016 que l'utilisation en complément du satellite d'un suivi aérien (avion et/ou drone) permettrait 1/ d'affiner sur de petites zones le diagnostic de suivi et 2/ de fournir des résultats pour valider les traitements satellitaires.
Hu et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Mise en évidence d'une relation robuste liant la biomasse par unité de surface (poids humide) à l'indice FAI (Floating Algae Index) utilisé dans le traitement des images satellites. L'application de cette relation aux images d'archives MODIS entre 2008 et 2015 a montré que le maximum de biomasse a été atteint mi-juin 2015 avec 1.7 millions de tonnes pour un minimum de 0.09 million de tonnes en 2012.
Qi et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Etude de l'origine des blooms d'algues flottantes (<i>U. prolifera</i> et <i>Sargassum horneri</i>) se développant en Mer Jaune par traitement d'images MODIS . Traçage de la dérive des macro-algues au moyen du modèle numérique HYCOM utilisé pour le suivi de particules Lagrangiennes. Réalisation d'expérimentations en laboratoire.
Song et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Le traitement d'images GOCI sur l'année 2014 montre que la marée verte a été initiée mi-mai dans les eaux littorales de Yancheng (province du Jiangsu) puis a ensuite dérivée du sud-ouest vers le nord-est pour atteindre début juin les eaux situées entre le Jiangsu et le Shandong avec un maximum surfacique de 2206,54 km ² le 18 juin. A partir de début juillet, la marée verte a commencé à régresser puis a disparu au mois d'août tandis que la ligne géographique joignant « Yantai - Weihai - Qingdao » a été préservée. Les auteurs concluent que l'utilisation d'images GOCI permet de suivre à haute fréquence le cheminement des algues vertes dérivantes et d'en déduire leur vitesse moyenne de dérive.
Wang et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Mise au point d'une méthodologie de détection automatique des algues vertes à partir du traitement d'images Landsat TM/ETM . Cette méthodologie permet de s'affranchir d'une correction atmosphérique fine.
Xiao et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Pour le suivi opérationnel des marées vertes, le recours à des images MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) représente un outil intéressant en raison à la fois de leur courte période de revisite (deux fois par jour) et de leur grande capacité de couverture (régionale et mondiale). Toutefois, leur résolution spatiale grossière (250 à 1000 mètres) peut conduire à des problèmes de pixels mixtes (présence de plusieurs cibles distinctes au sein du même pixel). L'article propose une méthodologie de démélangeage spectral pour la détection des algues vertes. Les résultats montrent que la méthode proposée apporte de meilleures informations sur l'abondance et la superficie des marées vertes par rapport aux méthodes classiques dites de démélangeage linéaire.
Xu et al. (2017a)	Mer Jaune / Chine	Article démontrant la capacité d'un drone de type quadricoptère doté d'un capteur RGB à fournir des éléments de compréhension objectifs et scientifiques pour la cartographie des marées vertes.
Xu et al. (2017b)	Mer Jaune / Chine	Evaluation des images MODIS pour cartographier les marées vertes par comparaison avec des images acquises par drone et des mesures in situ . L'étude montre que le traitement d'images MODIS fournit des résultats fiables pour des surfaces en algues vertes supérieures à 100 mètres de large mais n'est pas adapté à la détection des petites surfaces (typiquement moins de 10 mètres de large). Si les images MODIS conviennent à la surveillance des marées vertes une fois le bloom installé, les auteurs recommandent en revanche l'utilisation de Sentinel-2, de la caméra chinoise GF-1 à grand champ et à haute résolution et le dispositif à couplage de charge chinois HJ-1 pour la détection précoce des marées vertes.

➤ Amérique du Nord et Amérique Centrale

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Thornber et al. (2017)	Baie de Narraganset / USA	Compréhension de l'évolution pluriannuelle de prolifération des macroalgues au moyen de relevés aériens et terrestres (échantillonnage mensuel à bimensuel) durant les marées basses de mai à octobre entre 2006 et 2013 au Nouveau-Brunswick (N.-B.). Les proliférations de macro-algues au N.-B. sont dominées par

Ulva et dans une moindre mesure par *Gracilaria* spp. indépendamment de l'année ou du mois (cf. Figure 14). **Malgré d'importants investissements sur les dix dernières années pour la réduction des flux de nutriments** par le traitement des eaux usées se déversant en baie de Narragansett, **les blooms de macroalgues continuent à persister**. Les auteurs recommandent de poursuivre les efforts par le suivi continu et à long terme de la qualité de l'eau, des proliférations de macroalgues et des indicateurs écologiques. Ces outils sont nécessaires pour comprendre les changements dans la dynamique de prolifération des macroalgues qui se produisent après la réduction des nutriments induit par l'amélioration de la qualité de l'eau.

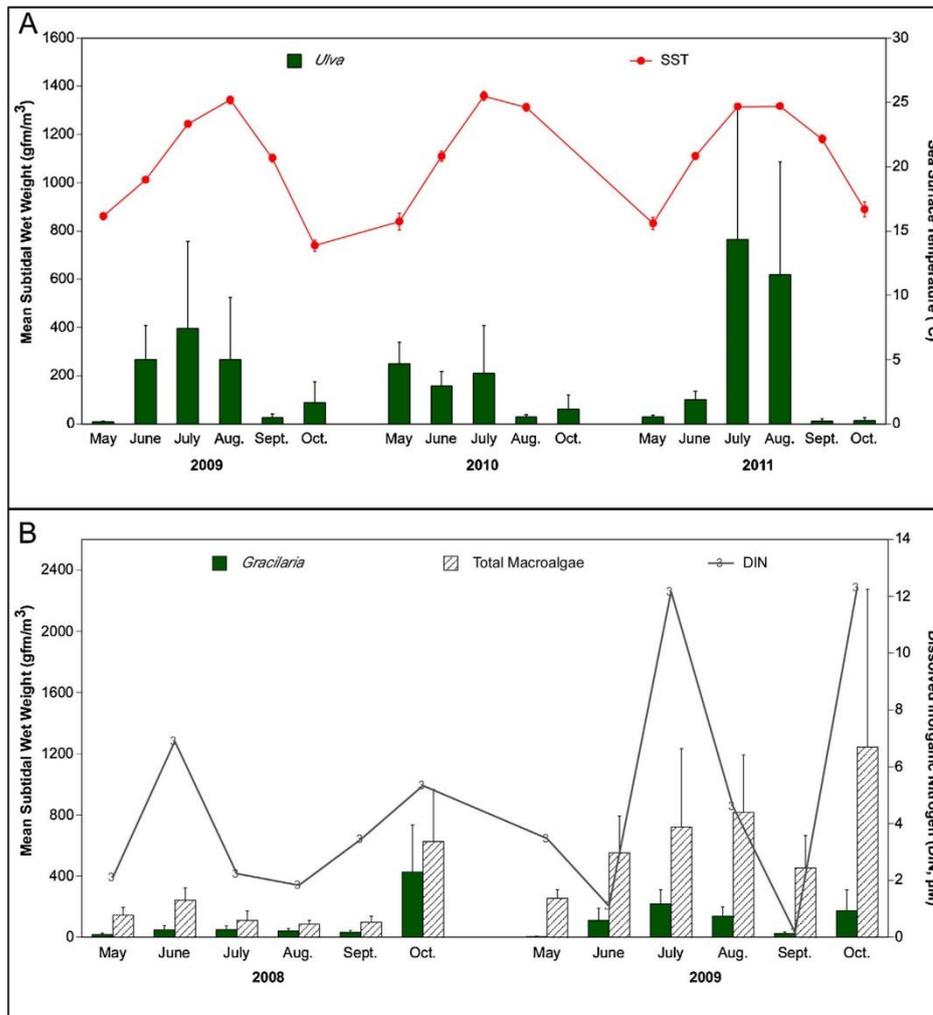


Figure 14 : (A) Evolution durant la saison de prolifération de 2009, 2010 et 2011 de la biomasse moyenne subtidale en *Ulva* spp. en fonction de la température de surface de la mer. Une corrélation significative entre la biomasse d'*Ulva* spp. et la température de surface est observée. (B) Evolution de la biomasse moyenne subtidale en *Gracilaria* spp. et en macroalgues (total en algues rouges, vertes et brunes) en fonction de l'azote inorganique dissous de mai à septembre 2008 et 2009. La biomasse totale en macroalgues et en *Gracilaria* spp. est significativement corrélée avec l'azote inorganique dissous. Thornber et al. (2017)

➤ Océanie

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Anonyme (2018a)	Plage de Poé / Nouvelle-Calédonie	D'importants dépôts en algues vertes entre le creek salé et la faille aux requins au niveau de la plage du Poé (cf. Figure 15) ont fait l'objet d'une alerte par l'association Ensemble pour la Planète (EPLP). La présidente de l'association met en cause les rejets des eaux usées et des engrais du golf du complexe hôtelier. Un communiqué de la Province Sud indique qu'il semble s'agir du genre <i>Cladophora</i> , qui sont naturellement présentes dans le milieu mais qui ne peuvent proliférer qu'en présence d'une pollution organique ou minérale. Trois hypothèses pouvant expliquer le phénomène ont été émises par les autorités : 1/ la source de pollution

serait à rechercher à l'échelle du lagon de Poé-Déva jusqu'à l'embouchure de la Nera car aucune activité ni ouvrage de la zone pris isolément ne saurait émettre à lui seul les quantités de nutriments nécessaires à la formation d'un phénomène d'une telle ampleur 2/ la **chaleur estivale et la faible profondeur du lagon de Poé** sont favorables à une telle prolifération. Les conditions de houle pendant la semaine qui a précédé les échouages, associée à un hydrodynamisme faible, pourrait avoir induit l'arrachage des algues et leur concentration dans le lagon (à défaut d'avoir été expulsés par l'alizé, celui-ci ayant été absent totalement sur une dizaine de jours) 3/ **l'origine de la pollution est probablement diffuse**. Les sols des bassins versants ont été lessivés par les premières pluies suivant la sécheresse (plus de 50 mm constatées sur Bourail entre le 2 et le 12 décembre), ce qui aurait propagé des nitrates et des phosphates dans le lagon via les rivières et par infiltration.



Figure 15 : Algues vertes échouées sur la plage de Poé et entassées par les services de la Province Sud en attendant d'être ramassées au niveau de l'hôtel Sheraton. Anonyme (2018a)

2.6.3.2. Descriptions locales d'autres types de proliférations macroalgales

➤ *Solieria* spp.

Aucun élément n'a été trouvé cette année pour cette catégorie.

➤ *Sargassum* spp.

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Amaral-Zettler et al. (2016)	Atlantique ouest / Mer des Caraïbes / Mer des Sargasses	Analyse génétique des trois formes de sargasses pélagiques (<i>S. fluitans</i> III, <i>S. natans</i> I et <i>S. natans</i> VIII) à l'origine des « marées dorées » se développant en Atlantique Ouest. Les résultats montrent des différences faibles mais cohérentes entre <i>S. natans</i> I et VIII. Les analyses comparatives montrent également que <i>S. natans</i> I et <i>S. natans</i> VIII partagent une relation phylogénétique très étroite avec <i>S. fluitans</i> III. Malgré une synténie génétique et une conservation de séquence significative, les trois formes de sargasses diffèrent par leur morphologie, leur écologie et leurs schémas de distribution. Les auteurs concluent sur la nécessité d'une étude plus approfondie des génomes des sargasses pélagiques dans leur ensemble.
Andrefouet et al. (2017)	Pacifique / Etat des Tuvalu (Polynésie)	Estimation au moyen d'une image multispectrale Pléiades associée à des observations <i>in situ</i> de la biomasse totale de <i>Sargassum polycystum</i> présente en novembre 2014 le long des rives de l'atoll de Funafuti (Tuvalu). Les auteurs estiment à 852 tonnes (poids frais) la biomasse totale en <i>S. polycystum</i> . L'analyse d'une série d'images multispectrales à très haute résolution (acquise en 2002, 2003, 2004, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015) suggère que la prolifération algale a débuté à partir de 2010.
Anonyme (2017a)	Guadeloupe	Le 15 juin 2017, la DEAL prévoit une arrivée massive de sargasses qui pourrait impacter Marie-Galante, La Désirade, Saint-François, Saint-Anne et le Gosier.
Anonyme (2017b)	Guadeloupe	Inauguration le 24 août 2017 d'un barrage flottant anti-sargasses à l'entrée du port de pêche de Capesterre à Marie-Galante. L'expérience marie-galantaise devrait inspirer les prochaines actions du département dans les autres communes de la Guadeloupe, envahies elles aussi par les sargasses.
Anonyme (2018b)	Guadeloupe	La mission sargasses, missionnée par le préfet et conduite par le sous-préfet de Pointe-à-Pitre, s'est rendue sur les plages de la Riviera du Levant fortement touchée par les échouages. Cette mission regroupe l'ensemble des services de l'État et des collectivités chargés de lutter contre la prolifération de ces algues brunes (cf. Figure 16).



Figure 16 : Echouages de sargasses sur les plages de la Riviera du Levant en février 2018. Anonyme (2018b)

Anonyme (2018c)	Guadeloupe	Premiers bancs de sargasses signalés à proximité des côtes Guadeloupéennes début février 2018. Ces détections ont déclenché l'activation le 06 février par la DEAL Guadeloupe du service de dérive d'HYDRO-COTE pour estimer les délais et les zones d'échouages à court-terme des radeaux de sargasses observés.
Anonyme (2018d)	Guadeloupe	Depuis plusieurs semaines, certaines embarcations de pêche au port du Vauclin sont prisonnières des sédiments qui se sont accumulés mais aussi des sargasses. Les marins pêcheurs concernés ne peuvent plus sortir en mer. Le 27 février 2018, une machine appelée Truxxor est venue faire quelques essais pour tenter de débarrasser le port des sargasses.

Article traitant de l'**impact en 2014 et 2015 de marées brunes de *Sargassum* spp.** sur quatre sites situés en bordure du littoral de la mer des Caraïbes. Les résultats montrent 1/ une **réduction de la lumière, de l'oxygène dissous** (hypoxie ou anoxie) et **du pH** 2/ un **apport important d'azote et de phosphore** entraînant une eutrophisation 2/ **un remplacement des herbiers littoraux** (cf. Figure 17) dominés par *Thalassia testudinum* par une communauté dominée par des algues rhizophytiques de type calcaires avec présence de nombreuses épiphytes (perte de la biomasse benthique de 61.6 à 99.5 %) 3/ une **mortalité partielle à totale des coraux**. Les auteurs en concluent que la restauration des herbiers pourra prendre des années, voire des décennies, et que le phénomène pourrait devenir permanent si de nouvelles marées brunes de *Sargassum* spp. venaient à se reproduire.

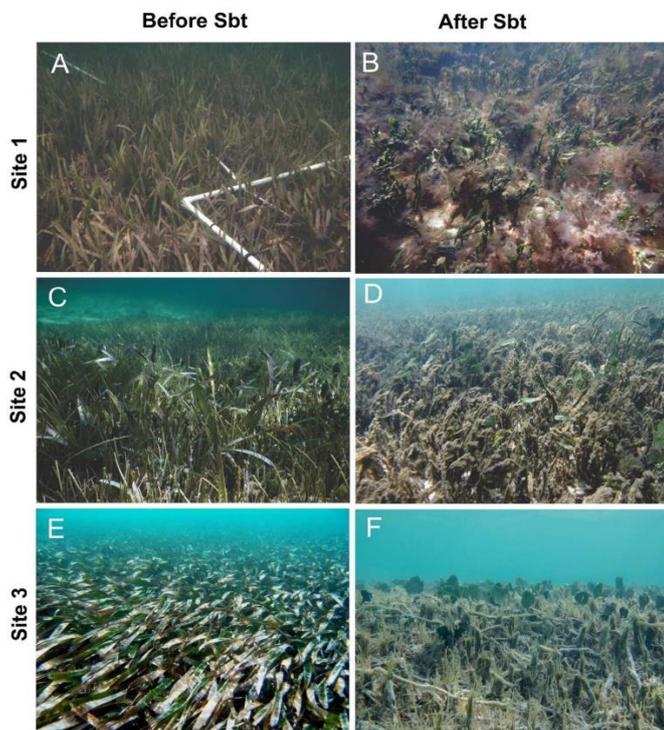


Figure 17: Evolution de l'herbier avant ("before Sbt") et après ("After Sbt") la marée brune de sargasses sur trois sites littoraux situés en mer des Caraïbes. Site 1 : Mirador Nizuc (A. Novembre 2008, B. Mai 2016), Site 2 : Puerto Morelos (C. Septembre 2013, D. Octobre 2015) et Site 3 Xahuayxol (E. Septembre 2006, F. décembre 2016). van Tussenbroek et al. (2017)

Mise en place pour la **mer des Caraïbes d'un système d'alerte basé sur le traitement d'images MODIS permettant d'anticiper l'arrivée massive à la côte d'un bloom de sargasses**. Le système d'alerte a la capacité de pouvoir prédire plusieurs mois à l'avance les blooms de sargasses et donc de mieux préparer aux événements d'échouages les populations et les services de l'état.

Utilisation des **images à haute résolution GF-1 pour évaluer la surface en sargasses** dérivants en hiver en Mer Jaune. L'utilisation d'un modèle linéaire de démantèlement spectral permet aux auteurs d'estimer à 8.8 km² la surface couverte par les sargasses le 31 décembre 2016.

➤ ***Pylaiella* spp.**

Aucun élément trouvé cette année pour cette catégorie.

➤ *Asparagopsis spp.*

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Orlando-Bonaca et al. (2017)	Baie de Piran / Slovénie	L'article rapporte la présence d'un bloom inhabituel de tétrasporophytes provenant de l'algue rouge non indigène <i>Asparagopsis armata</i> (stade <i>Falkenbergia</i>) dans la ceinture médiolittorale de la baie de Piran où les thalles de cette algue rouge ont envahi l'algue coralline articulée <i>Corallina officinalis</i> . Les auteurs recommandent de suivre régulièrement les sites affectés afin de déterminer quels sont les facteurs environnementaux responsables de ce phénomène.

2.6.3.3. *Eléments contribuant au développement des marées vertes*

➤ **Facteurs anthropiques**

• *Apports excessifs en nutriments*

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Ge et al. (2017)	Baie de Jinhai / Mer Jaune	L'exposition d' <i>U. Pertusa</i> à une contamination multiple (concentration importante en métaux lourds et en nutriments) en conditions contrôlées n'aboutit pas à une inhibition de l'activité anti-oxydante et photosynthétique de l'algue. La capacité d'adaptation d' <i>U. Pertusa</i> à des contaminations multiples serait un des mécanismes biologiques à l'origine des marées vertes d' <i>Ulva sp.</i>
Kwon et al. (2017)	Ile de Jeju / Corée	Les mesures effectuées au ²²² Rn dans le port de Jocheon suggèrent que les rejets provenant des eaux souterraines sous-marines sont la principale source d'azote inorganique dissous (DIN) étant donné qu'il n'y a pas de ruissellement en surface . Les entrées d'eau souterraines ont enrichi d'un facteur 10 les eaux du port par rapport à celles du large. Les expériences en mésocosme ont montré que le taux de croissance d'<i>U. pertusa</i> a augmenté de 160 % en moyenne grâce aux concentrations accrues de DIN apportées par les eaux souterraines .
Li et al. (2017a)	Mer Jaune / Chine	L'analyse spatio-temporelle de la concentration en azote inorganique dissous (DIN) et en phosphore dissous (P-PO₄) de 1996 à 2014 sur la période de mars à avril (période de pré-bloom) montre depuis 1996 le long de la côte du Jiangsu (entre les villes de Sheyang et Nantong) le développement d'une zone de fortes teneurs pour ces deux composés. Les résultats montrent une corrélation significative entre la biomasse d'<i>U. prolifera</i> et les teneurs en DIN . Les apports de nutriments par les rivières associés à l'activité d'aquaculture de la province du Jiangsu ont probablement fournis l'azote à l'origine des marées vertes lesquelles se sont ensuite répandues dans le sud de la mer Jaune.
Liu et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Etude de la contribution des eaux souterraines sous-marines à l'enrichissement en nutriments du plateau de Subei . La mesure de l'activité de l'isotope ²²⁸ Ra collectés dans l'eau de mer montre que le flux en azote inorganique dissous (DIN), phosphore (DIP) et silice (DSi) provenant des eaux souterraines est respectivement 18, 7 et 13 fois supérieur aux apports fluviaux de la Chine continentale et de la Corée. Les flux d'éléments nutritifs provenant des eaux souterraines peuvent donc jouer un des rôles les plus importants dans la prolifération de la marée verte à l'échelle du plateau de Subei .
Thornber et al. (2017)	Baie de Narragansett / USA	Les flux de nutriments provenant majoritairement des eaux usées se déversant en baie de Narragansett sont à l'origine des blooms de macroalgues . Malgré la diminution initiée en 1995 du flux azoté issus des eaux usées avec une diminution effective de ce flux de 50 % atteinte en 2005, les proliférations de macroalgues persistent ce qui démontre la nécessité de poursuivre l'effort de réduction des flux de nutriments d'origine anthropiques.

• *Aquaculture*

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Li et al. (2017a)	Mer Jaune / Chine	Les flux de nutriments associés à la présence des structures aquacoles de la province de Jiangsu seraient à l'origine du bloom d' <i>U. Prolifera</i> .

Qi et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	L'important bloom relevé en 2017 est le résultat de l'expansion continue des structures aquacoles de Porphyra ainsi que des conditions favorables de température et de lumière.
Xiangqing et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	L'analyse des prélèvements effectués entre fin avril et fin mai 2014 dans la zone côtière de la province du Jiangsu montre que les micro-propagules d'algues vertes sont présentes sur l'ensemble des stations avec une forte densité (> 300 ind.l⁻¹) au niveau des structures aquacoles de Porphyra .
Zhang et al. (2017b)	Mer Jaune / Chine	Les prélèvements d' U. prolifera sur les radeaux de <i>Porphyra</i> en mars, novembre et décembre 2011 présentaient des séquences d'espacement ITS et 5S rDNA identiques à l'espèce <i>U. prolifera</i> qui forme l'essentiel du bloom printanier. L'article met également en évidence une succession des populations d'ulves présentes sur les structures aquacoles de Porphyra en début de bloom ainsi que durant la phase de transport et de dérive en mer de la marée verte. Les espèces dominantes en début de prolifération sont respectivement U. compressa, U. flexuosa et U. linza. U. prolifera est apparue à la mi-mai et domine chaque année jusqu'en juin la communauté d'algues dérivante.
Zhang et al. (2017c)	Mer Jaune / Chine	L'utilisation du modèle numérique POM pour simuler les trajectoires en mer des algues vertes dérivantes (trajectoires validées par le traitement d'images d'archives MODIS) suggère que la biomasse présente sur les structures aquacoles (environ 450 tonnes P.H.) joue un rôle essentiel dans le développement de la marée verte.

➤ Autres facteurs d'origine anthropique

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Gao et al. (2017a)	Angleterre	Etude en milieu contrôlé de la germination et de la croissance de jeunes plants d'U. rigida, de la reproduction et de la capacité de fixation de ses spores dans l'hypothèse du changement climatique en combinant 3 facteurs : le pH, la température et la disponibilité en nitrate. Les résultats montrent que 1/ la température la plus élevée a augmenté la reproduction 2/ toute combinaison de deux facteurs favorise la germination et accélère la croissance chez les jeunes plants 3/ le succès reproducteur est le plus élevé lorsque les limites supérieures des trois facteurs sont combinées. Ces résultats suggèrent que le changement climatique peut causer des marées vertes plus importantes , en particulier lorsque l'eutrophisation ne peut pas être contrôlée efficacement.
Ge et al. (2017)	Baie de Jinhai / Mer Jaune	L'exposition d' U. Pertusa à une contamination multiple (concentration importante en nutriments et en métaux lourds) en conditions contrôlées ne produit pas une inhibition de l'activité anti-oxydante et photosynthétique de l'ulve.

➤ Facteurs environnementaux abiotiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Lanari & Copertino (2017)	Lagune de Patos / Brésil	Article traitant de l'effet du climat, de l'hydrologie et de l'action du vent sur l'apparition et l'ampleur des blooms de macroalgues (principalement <i>Ulva</i> sp.) se développant dans l'estuaire de Patos. Les paramètres hydrologiques (flux terrigènes, salinité, niveau d'eau dans la lagune) ont été influencés par les précipitations lesquelles ont été affectées par l'oscillation australe El Niño . À l'échelle interannuelle, la plus grande prolifération a été observée durant une année El Niño faible à modérée.
Na et al. (2017)	Corée	Evaluation des effets de facteurs environnementaux sur la libération de zoospores et la croissance des germes Cladophora albida dans diverses conditions de température, irradiance et nutriment . Les conditions environnementales optimales pour la libération des zoospores sont de 30 °C, 100 µmol(photons).m ⁻² et 34 psu. La croissance des germes est maximale à 25 °C, 100 µmol(photons).m ⁻² , PES (eau de mer enrichie avec une solution de Provasoli) et 34 psu. Ces conditions environnementales représentent les conditions optimales pour la prolifération de C. albida .

➤ Facteurs biologiques

• *Métabolisme*

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Zhang et al. (2017b)	Mer Jaune / Chine	Etude en laboratoire sous différentes conditions environnementales (température et lumière) de la croissance de <i>U. compressa</i> , <i>U. flexuosa</i> , <i>U. linza</i> et <i>U. prolifera</i> . Les résultats montrent que le taux de croissance le plus important pour <i>U. prolifera</i> est de 418% ce qui est beaucoup plus élevé que les trois autres espèces d'ulves.

• *Reproduction et cycle biologique*

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Gao et al. (2017b)	Angleterre	Etude en laboratoire de la reproduction d' <i>U. rigida</i> soumise à différentes conditions : choc thermique, déshydratation, variation de la température de culture et de la concentration en nitrate et fragmentation du thalle. L'exposition à un choc thermique de 20 minutes induit au cinquième jour une réponse reproductrice moyenne de 94,7% dans le tissu de la lame. Le taux de reproduction des tissus de la lame augmente avec le degré de fragmentation et avec le renouvellement du milieu de croissance. La combinaison du choc thermique et de la fragmentation a déclenché la reproduction de 97,3% des tissus de la lame au troisième jour. En revanche, la déshydratation a réduit la reproduction. Une température de 18 °C associée à une concentration de nitrate de 100 µmol.l⁻¹ a divisé par deux la période de maturation (28,4 jours contre 62,1 jours dans des conditions de température et nitrate moins favorables). Les auteurs notent également que la reproduction dans les tissus de la lame a augmenté avec l'âge de la plante mais les tissus basaux sont restés dans l'état végétatif même après le choc thermique et la fragmentation. D'autre part, la présence de tissus basaux a supprimé la reproduction des tissus de la lame. Cette étude suggère que la différenciation des cellules d'<i>Ulva</i> pourrait soutenir la croissance rapide d'<i>Ulva</i> lorsque les conditions environnementales sont favorables et faciliter également la survie dans des conditions défavorables.

• *Compétition et prédation*

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Zhang et al. (2017b)	Mer Jaune / Chine	<i>U. prolifera</i> présente par rapport à <i>U. compressa</i>, <i>U. flexuosa</i>, <i>U. linza</i> un net avantage compétitif au printemps en terme de croissance ce qui explique pourquoi <i>U. prolifera</i> domine largement le bloom d'algues vertes dérivantes à partir de mi-mai.

2.6.3.4. *Contrôle nutritionnel et autres facteurs limitant les marées vertes*

➤ Contrôle nutritionnel

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Li et al. (2016a)	Mer Jaune / Chine	Un environnement nutritionnel élevé en azote et phosphore augmente significativement le taux de croissance journalier d'<i>U. prolifera</i>.

➤ Facteurs anthropiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Jing et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Étude de l'efficacité d'un revêtement antifouling au silicone pour prévenir l'adhérence et la germination des micro-propagules d'<i>U. prolifera</i> sur les structures aquacoles. Les résultats montrent qu'un revêtement à base de silicone

		(Sylgard 184) contenant du benzoate de sodium pouvait réduire le taux d'adhérence à moins de 5 % et inhiber complètement la croissance des propagules d' <i>U. prolifera</i> sur les surfaces revêtues.
Lee et al. (2017)	Corée	Utilisation du chitosane (un polysaccharide) en mélange avec de la terre rouge et de l'argile pour lutter contre la marée verte . Les résultats montrent que le composé testé 1/ a une bonne floculation 2/ est un algicide efficace et sans effets néfastes sur l'écosystème.
Leehyunso et al. (2017)	Corée	Etude de l'effet algicide d'un mélange à base de terre rouge et d'argile avec du chitosane pour lutter contre la marée verte . La floculation du composé est analysée et les résultats suggèrent que le chitosane mélangé à la terre rouge et à de l'argile permet d'inhiber la marée verte.
Li et al. (2017b)	Mer Jaune / Chine	Etude en laboratoire et en mer de l'efficacité d'une argile à base de chlorure de polyaluminium pour retirer les micro-propagules de la colonne d'eau et inhiber la germination des micro-propagules . Les résultats indiquent que plus de 80 % des micro-propagules étaient retirés après application de l'argile avec une forte réduction du taux de germination. Les auteurs en concluent que des expériences à plus grande échelle en mer Jaune sont nécessaires ainsi qu'une étude de faisabilité sur la viabilité économique et les effets écologiques de cette méthode.

➤ Facteurs environnementaux abiotiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Gao et al. (2017c)	Mer Jaune / Chine	L'article montre que l'acidification des océans induit par l'évolution du CO₂ modulerait la toxicité du cuivre pour l'algue verte <i>U. prolifera</i> . Les résultats montrent qu'une augmentation modeste du CO ₂ (1000 µatm) peut atténuer la toxicité du cuivre pour <i>U. prolifera</i> alors qu'une augmentation plus importante (1400 µatm) aurait un effet toxique pour cette algue.
SEOG et al. (2017)	Corée	Etude de l'effet de divers facteurs physiques et chimiques sur la mortalité d'<i>U. australis</i> . Le trempage des thalles dans de l'eau pure pendant 8 heures ne provoque pas de mortalité, mais une incubation à une salinité de 1,0 à 1,5‰ pendant 7 jours inhibe la sporulation d'environ 70%. La dessiccation provoque de graves dommages avec une perte par rapport au poids frais initial de plus de 40-50%. La croissance d' <i>U. australis</i> est sensible à la température et se trouve sérieusement inhibée à plus de 30 °C. Au-delà de cette température, la mortalité est importante et rapide. La croissance est sérieusement inhibée lorsque le pH est inférieur à 6 et l'algue ne survit pas à un pH de 4. L'application de produits chimiques oxydants tels que le peroxyde d'hydrogène et le percarbonate de sodium aboutit à une mortalité rapide.

➤ Facteurs biologiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Golubkov et al. (2018)	Mer Baltique / Russie	Le modèle dit de mélange d'isotopes bayésiens stables montre que le carbone organique issu des macroalgues <i>Cladophora glomerata</i> et <i>Ulva intestinalis</i> impliquées dans les marées vertes ne soutient pas les réseaux trophiques côtiers . Les macro-invertébrés benthiques et les poissons consomment principalement le carbone issu du pélagique. Seules quelques espèces de macroinvertébrés consomment des macroalgues. Cette étude corrobore une précédente étude qui a révélé une forte proportion de zooplancton dans les viscères des poissons non prédateurs.

2.6.3.5. Impact direct et indirect des accumulations de macroalgues sur l'écosystème

➤ Impacts sur les organismes et sur les populations

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Le Luherne et al. (2017)	Baie de St Brieuc / France	Etude de l'impact de la marée verte sur trois espèces de poissons : <i>Sprattus sprattus</i> (pélagique), <i>Dicentrarchus labrax</i> (démersale) et <i>Pleuronectes platessa</i> (benthique) . Les résultats montrent que les marées vertes affectent différemment les poissons juvéniles en fonction de la biomasse en algues vertes et de la tolérance spécifique de l'espèce laquelle est liée à leur capacité de déplacement et à leur répartition dans la colonne d'eau. Un gradient de sensibilité décroissant a été observé entre les espèces de poissons benthiques, démersales et pélagiques. A faible biomasse, les trois espèces sont restées sur le site et une diminution de la croissance de la plie a été observée. À des densités moyennes en algues vertes, la plie a disparu du site et la croissance du bar ainsi que la teneur totale en lipides du sprat ont été réduites. Lorsque la densité en algues vertes est devenue élevée, aucune des espèces étudiées n'a été capturée. Les auteurs en concluent que les sites touchés par les marées vertes deviennent des nurseries moins favorables pour les poissons étudiés .
Lewis & DeWitt (2017)	Pacifique Nord-Ouest / USA	Etude de l'impact de la marée verte sur le comportement, la croissance et la survie des coques <i>Clinocardium nuttallii</i> . Les observations terrains indiquent que le bloom d'algues vertes provoque l'émergence des coques du sédiment à plus grande fréquence, inhibe leur croissance et augmente la mortalité de $34,0 \pm 15,2\%$. La présence de dépôts en algues vertes favorise l'émergence des coques qui, en se tapissant sous le dépôt d'algues vertes, parviennent à éviter une mortalité directe mais qu'en revanche, ce comportement les expose à un risque de mortalité dû au stress thermique ou à la prédation par les goélands. Ces recherches ont montré que les proliférations en algues vertes constituent une menace pour la survie des bivalves intertidaux .
Lin et al. (2017)	Province du Fujian / Chine	Article traitant des effets de l'entéromorphe <i>E. prolifera</i> sur les structures des communautés bactériennes en milieu aquacole . L'étude montre que les taxons bactériens abondants dans l'étang contenant <i>E. prolifera</i> sont en général absents de l'étang sans <i>E. prolifera</i> . Cette étude suggère que la croissance massive d'<i>E. prolifera</i> entraînera de graves répercussions sur les communautés bactériennes et par conséquent aura un impact important sur l'environnement .
Miao et al. (2018)	Quinddao / Chine	Etude des effets de la marée verte à grande échelle sur la succession des espèces de micro-propagules d'algues vertes . Les résultats montrent que la prolifération de l'espèce dominante <i>U. prolifera</i> en été pourrait affecter la communauté locale de micro-propagules. Cependant l'influence de la marée verte à grande échelle semble avoir un impact transitoire dans la mesure où l'hiver suivant, la prolifération de l'année n-1 n'a pas laissé de façon prolongée de micro-propagules dans les eaux côtières de Qingdao.
Sun et al. (2018)	Australie	Analyse de l'effet de la libération de dopamine par <i>U. obscura</i> var. <i>blyttii</i> sur les transformations en fer et la production de dérivés réactifs de l'oxygène (ROS) dans des conditions typiques des eaux côtières. L'étude montre que le relargage de dopamine pourrait favoriser les proliférations persistantes d' <i>U. obscura</i> var. <i>blyttii</i> voire de toute la communauté via l'atténuation de la carence en fer dans la zone de prolifération.
Vazquez et al. (2017)	Pacifique Nord-Ouest / USA	Etude de l'effet de la libération de dopamine par <i>U. obscura</i> sur la larve de l'oursin plat <i>Dendraster excentricus</i> et de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> . Les modifications de la morphologie et de la fonction des larves induites par les composés libérés par les algues vertes pourraient avoir un impact sur la capacité des larves à se nourrir et à survivre.

➤ Impacts sur les cycles biogéochimiques

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Wu et al. (2018)	Mer Jaune / Chine	Etude de l'impact de la marée verte sur les nutriments . L'étude estime à environ $7,46 \times 10^3$, $1,05 \times 10^3$ et $1,73 \times 10^5$ tonnes l'élimination respectivement de l'azote, du phosphore et du carbone par la marée verte. Les auteurs en concluent que le ramassage des algues vertes au début de la phase de développement serait une action particulièrement bénéfique pour l'écosystème en permettant de retirer une grande quantité de nutriments des eaux eutrophes de la mer Jaune.
Zhang et al. (2017a)	Mer Jaune / Chine	Etude de l'impact de la marée verte sur le phénanthrène . L'article met en évidence l'efficacité de l'algue verte <i>U. prolifera</i> à éliminer le phénanthrène ainsi que l'effet bénéfique des nutriments (et de la température) sur l'élimination du phénanthrène.

➤ Impacts sur les populations humaines

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Fang et al. (2017)	Chine	Synthèse bibliographique des risques et impacts liés aux catastrophes d'origines côtières et marines : tempêtes (typhons), mer forte, glace de mer, marées rouges et marées vertes. Il est estimé à plus de 0.25 milliard de dollars le coût lié aux dommages de la marée verte de 2008 pendant les jeux olympiques de Pékin. Les auteurs notent également que la marée verte installée depuis 2007 en mer Jaune menace désormais l'environnement des pays voisins car les algues vertes dérivent sous l'influence naturelle des courants vers l'est en direction de la côte ouest de la Corée du Sud, comme observé en 2008 et 2011.

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

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Kwon et al. (2017)	Ile de Jeju / Corée	Les expériences en mésocosme révèlent que le taux de croissance d'<i>U. pertusa</i> augmente de 160 % en moyenne grâce aux concentrations accrues de DIN apportées par les eaux souterraines et à une salinité plus favorable.
Liu et al. (2017)	Mer Jaune / Chine	Les flux d'éléments nutritifs diffusés par les eaux souterraines jouent très probablement un des rôles les plus importants dans la prolifération de la marée verte à l'échelle du plateau de Subei et permet sans doute pour les sites dépourvus de flux de nutriments terrigènes (absence de rivières) d'alimenter une prolifération en algues vertes.

2.6.3.7. Origine des sels nutritifs et leur gestion

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Pinon-Gimate et al. (2017)	Baie de La Paz / Mexique	Utilisation sur 3 sites d'étude de l'isotope stable ^{15}N de l'azote contenu dans les tissus d'<i>Ulva</i> spp. pour tracer l'origine de l'azote. Le site « San Juan de la Costa » montre le signal le plus élevé en $\delta^{15}\text{N}$ qui est associé aux produits de la pêche et aux eaux usées locales (19,5 ‰) contre 13 ‰ pour le site « Casa del Marino ». Le 3 ^{ème} site « El Tecolote » présente le signal le plus faible. Les signatures isotopiques se sont avérées plus élevées que dans d'autres régions tropicales / subtropicales, associées à des masses d'eau riches en nutriments. Les auteurs en concluent que les ulves peuvent être utilisées pour tracer et discerner différentes sources d'azote provenant de sources naturelles ou anthropiques.

2.6.3.8. Gestion et valorisation des algues vertes

➤ Santé humaine et cosmétique

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Adrien et al. (2017)	Oléron / France	Etude des ulvanes et de leurs propriétés cosmétiques potentielles sur les fibroblastes cutanés humains. Les polysaccharides à bas poids moléculaire ne montrent aucun effet sur la prolifération des fibroblastes tandis que les polysaccharides à fort poids moléculaire tendent à réduire le taux de prolifération ce qui les rend prometteurs pour envisager un développement ultérieur dans le domaine des soins cutanés.
Pinteus et al. (2017)	côte de Peniche / Portugal	Etude de l'effet cytoprotecteur des algues marines à haute activité antioxydante. Les fucales ont montré l'activité antioxydante la plus élevée tandis que <i>U. compressa</i> a présenté l'effet cytoprotecteur le plus élevé. Ces résultats suggèrent qu'une activité antioxydante élevée peut ne pas être directement liée à un potentiel cytoprotecteur élevé. Les auteurs concluent que les algues se révèlent être une source prometteuse de composés potentiels contre le stress oxydatif.

Song et al. (2018)	Beidaihe/ mer de Bohai/Chine	Etude des effets d'extraits d'<i>U. prolifera</i> sur la sensibilité à l'insuline, la réponse inflammatoire et le stress oxydatif chez des souris traitées avec un régime riche en graisses. Les résultats montrent que ces extraits limitent la stéatose hépatique non-alcoolique, ont des propriétés anti-inflammatoires et anti-oxydantes, limitent la synthèse de triglycérides et améliorent l'assimilation du glucose et la tolérance à l'insuline.
--------------------	------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

➤ Agriculture et agroalimentaire

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Jing et al. (2016)	Mer de Chine	Tests de traitements anti-fooling sur structures de culture de <i>Porphyra yezoensis</i> pour limiter la fixation et le développement des micro-propagules d'<i>U. prolifera</i> . Filières enrobées de silicone + benzoate de sodium ont moins de 5% de recrutement d' <i>U. prolifera</i> et leur croissance est inhibée. Les auteurs préconisent ce type de traitement pour éviter l'implication des structures de cultures dans le phénomène des marées vertes .
Lamprianidou et al. (2015)	Chine	Utilisation de trois macro algues (<i>Chaetomorpha linum</i> , <i>Zostera marina</i> et <i>Sargassum thunbergii</i>), dont une impliquée dans des marées vertes (<i>C. linum</i>), comme source alimentaire pour l'élevage du concombre de mer <i>Apostichopus japonicus</i> . Les résultats montrent que <i>C. linum</i> est plus facilement digérée et permet une meilleure conversion énergétique vers la croissance .

➤ Production d'énergie

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Gao et al. (2018)	Cullercoats bay/ Royaumes Unis	Essai de culture d'<i>Ulva rigida</i> en milieu enrichi (carbone, phosphore et azote) pour de la production de biomasse, capture de carbone dissous, bioremédiation et production de biométhane. Les résultats montrent une forte capacité de production en biométhane .
Jeong et al. (2017)	Corée	Cette étude vise à établir les conditions optimales d'extraction des lipides en utilisant des algues vertes (espèce ?) pour remplacer le pétrole et les combustibles fossiles, et étudier la possibilité de les utiliser comme biofuel. Un solvant mixte chloroforme/méthanol/eau paraît le plus approprié pour extraire suffisamment de lipides , les transformer en ester méthylique d'acides gras et produire du biofuel.
Zhang et al. (2017)		Optimisation de la technique de production de biofuel par liquéfaction hydrothermale d'<i>Enteromorpha prolifera</i> .

➤ Utilisation en tant que bioindicateur

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Wan et al. (2017)	Ireland	Mesure de l'état écologique d'une masse d'eau par la mesure des teneurs en métaux présents dans les blooms d'algues vertes principalement représentés par <i>U. rigida</i> . Les résultats montrent qu'il n'y pas de corrélation entre la qualité écologique de la masse d'eau définie par l'EQR et les mesures de concentrations en métaux à l'exception du sélénium.

➤ Bioremédiation et autres modes de valorisation

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Gao et al. (2017)	Cullercoats bay/ Royaumes Unis	Essai de culture d'<i>Ulva rigida</i> en milieu enrichi . Deux souches sont comparées : un mutant stérile et une souche sauvage. Les résultats montrent une croissance plus rapide (5 fois plus) et une capacité d'absorption des nutriments plus importante pour le mutant stérile . Il est observé un taux en lipides 2 fois supérieur pour le mutant mais un taux en protéines plus faible .
Gao et al. (2018)	Cullercoats bay/ Royaumes Unis	Essai de culture d'<i>Ulva rigida</i> en milieu enrichi (carbone, phosphore et azote) pour de la production de biomasse, capture de carbone dissous, bioremédiation et production de biométhane. Les résultats montrent une biomasse supérieure de 130% par rapport au contrôle, un taux d'assimilation de l'azote à 489% du contrôle .

Lu et al. (2017)	Qingdao City/Chine	<i>U. prolifera</i> prélevée sur une plage touchée par les marées vertes et transformée en biocharbon permet une capture significative du Bisphenol A. Ce procédé est proposé comme moyen de valoriser les ulves provenant de la marée verte et de dépollution à coût réduit .
Zhang et al. (2017)	Rushan City/China	Article traitant d' <i>U. prolifera</i> cultivée en présence de Phenanthrène. L'analyse de l'eau de culture et des tissus de l'algue montrent une absorption et accumulation significative du Phenanthrène. Ce procédé est proposé comme moyen de valoriser les algues de marées vertes pour dépollution .
Wu et al. (2017)	Jiangsu/Chine	<i>U. prolifera</i> , <i>U. linza</i> et <i>U. flexuosa</i> poussant spontanément sur des structures de culture de <i>Pyropia yezoensis</i> ont été récoltées sur 6 fermes différentes et les taux en azote et phosphore sont évalués. L'étude montre que la culture de <i>P. yezosensis</i> et d'ulves peut être un bon moyen de bioremédiation en zone eutrophe.
Wu et al. (2018)	Mer de Chine/Chine	Etude de l'évolution des taux en azote, phosphore et carbone sur <i>Ulva</i> sp. pendant 50 jours. Les auteurs envisagent la récolte des marées vertes comme un moyen de capter et d'évacuer les nutriments dans les zones eutrophes .

2.6.3.9. Caractérisation des algues vertes

➤ Génétique et biomoléculaire

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Cai et al. (2017)	Chine	Séquençage du génome chloroplastique d' <i>U. flexuosa</i> . Les séquences analysées montrent une conservation élevée de l'ADN chloroplastique au sein du groupe <i>Ulva</i> spp. <i>U. flexuosa</i> apparaît plus proche d' <i>U. linza</i> que d' <i>U. fasciata</i> .
Gao et al. (2017)	Cullercoats bay/ Royaume Unis	Mutagenèse sur <i>U. rigida</i> et obtention d'un mutant stérile . Ses propriétés sont comparées à la souche sauvage. Les résultats montrent une croissance plus rapide (5 fois plus) et une capacité d'absorption des nutriments plus importante pour le mutant stérile . Le taux en lipides est 2 fois supérieur pour le mutant mais le taux en protéines est plus faible .
Guo et al. (2017)	Chine	Description du gène codant pour la nitrate-réductase chez <i>U. prolifera</i> . Les auteurs proposent d'utiliser ce gène comme marqueur moléculaire pour étudier l'assimilation de l'azote lors de marées vertes.
Hiraoka et al. (2017)		Cette étude vise à affiner les critères de délimitation entre espèces d'ulves : <i>U. flexuosa</i> et <i>U. californica</i> . Utilisation des ITS (séquences très variables dans l'ADN ribosomique) et croisements (intra et inter groupe) expérimentaux. La distance génétique entre les séquences analysées ainsi qu'un isolement reproducteur permettent de dissocier ces deux groupes .
Wan et al. (2017)	Irlande	Cette étude vise à caractériser la composition des blooms sur les côtes Irlandaises . L'analyse ADN montre une présence exclusive d'<i>U. rigida</i> sauf sur un site qui est caractérisé par <i>U. rotundata</i> . Un arbre phylogénétique est présenté
Wang et al. (2017)	Chine	Séquençage et description du génome chloroplastique d'<i>U. linza</i> .
Zhang et al. (2017)	Chine	Analyse de séquences ITS et 5S pour caractériser la composition des blooms. Les espèces <i>U. compressa</i>, <i>U. flexuosa</i> et <i>U. linza</i> sont identifiées comme présentes en début de saison de bloom. <i>U. prolifera</i> devient dominante de mai à juin. Cette dominance d' <i>U. prolifera</i> est expliquée expérimentalement par un taux de croissance significativement plus élevé .

➤ Composition

Auteurs	Localisation	Sujet/Principaux résultats
Wan et al. (2017)	Irlande	Cette étude vise à caractériser la composition des blooms sur les côtes Irlandaises . L'analyse de la composition des algues (<i>U. rigida</i> et <i>U. rotundata</i>) montre des taux significatifs en As, Cu, Cr, Pb et Sn. Les taux élevés en métaux sont corrélés à un indice bas de l'état écologique des sites .
Carvalho et al. (2017)	Brésil, Australie et Argentine	Comparaison des taux en hydrogène isotopique pour discriminer différentes espèces de macroalgues. Ces taux permettent d'identifier significativement les Ulvophyceae des autres classes.

Gao et al. (2017)	Cullercoats bay/ Royaumes Unis	Mutagenèse sur <i>U. rigida</i> et obtention d'un mutant stérile. Ses propriétés sont comparées à la souche sauvage. Les résultats montrent des taux en lipides deux fois supérieur pour le mutant mais un taux en protéines plus faible de 26%.
Gao et al. (2017c)	Jiangsu/Chine	Culture d' <i>U. prolifera</i> pour évaluer la réponse à des concentrations en Cu et en CO ₂ . Une augmentation en Cu induit une réduction du taux de croissance. Une concentration croissante en CO ₂ accentue le phénomène. Les auteurs suggèrent qu'une pollution au Cu associée à une acidification des océans provoquerait une inhibition de l'activité photosynthétique chez <i>U. prolifera</i>.
Geng et al. (2017)	Chine	Cette étude vise à caractériser les stérols de 13 espèces (unicellulaires et pluricellulaires dont <i>U. prolifera</i>) responsables de blooms afin d'évaluer leur intérêt comme indicateur de HAB (Harmful Algal Blooms). Le 28-isofucosterol est identifié comme caractéristique des marées à <i>U. prolifera</i>. Le dinosterol et le (24Z)-24-propylidenecholesterol caractérisent les blooms de dinoflagellés et de pelagophytes. Les auteurs proposent ainsi de nouveaux bioindicateurs pour l'étude des blooms algaux.
Onda et al. (2017)	Japon	Etude de transformation par hydrolyse catalytique de polysaccharides (Ulvane et amidon) issus d' <i>U. meridionalis</i> . Cette ulve contient environ 35% de son poids frais en Ulvane.
Pinon-Gimate et al. (2017)	Baie de La Paz/Golfe de Californie/Mexique	Caractérisation de différentes marées vertes (<i>Ulva spp.</i>) à l'aide d'un dosage de l'azote isotopique (¹⁵N) . L'isotope est davantage présent dans les ulves provenant de sites avec arrivée d'eaux usées et activité de pêche que dans les ulves provenant de sites moins anthropisés.
Wan et al. (2017)	Irlande	Composition en métaux de différentes Ulves provenant de 8 sites différents en Irlande : Al, Ti, Mn, Co, Zn, Se, Sr, Mo, Pb, Cd et Ba. Des différences significatives entre sites sont observées. Corrélation négative mais non significative des taux en métaux avec l'EQR.

3. CONCLUSION - PERSPECTIVES

L'action d'expertise, d'information et de soutien aux collectivités dans la lutte contre les marées vertes s'est poursuivie sur un rythme soutenu en 2017 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, très demandeurs en 2017 du fait notamment de la mise en place du PLAV2 mais surtout de la prolifération très précoce et très intense de 2017) 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 2017 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, au niveau régional ont été particulièrement bas en 2017, y compris sur la période sensible mai-août ce qui n'a pas empêché une prolifération intense de s'installer, surtout en début de saison. Cela démontre et accentue la perception indispensable du caractère pluriannuelle des proliférations par le biais de reports d'algues durant l'hiver, notamment quand l'hiver est peu dispersif. En cas de présence massive d'ulves en début de saison (mars, avril) le contrôle par les nutriments n'est pas envisageable du fait de l'enrichissement hivernal de la bande côtière et des réserves internes des ulves, encore très élevées à cette saison, en azote. L'analyse des autres paramètres, notamment houle et température hivernales entreprise dans le cadre de cette action Cimav P1 avait permis de prévoir l'extrême précocité de la saison 2017 (préparation de certaines collectivités à un ramassage très précoce du fait de ces prévisions anticipées). Ces mêmes éléments permettent de prévoir une prolifération, à l'échelle régionale qui sera en 2018 nettement plus tardive que l'année précédente et probablement même plus tardive qu'en moyenne pluriannuelle. L'évolution des paramètres météorologiques (éclairage, vent/houle et températures de l'eau) peuvent encore venir accentuer ce retard saisonnier s'ils demeurent comme en ce début avril défavorables aux proliférations.

Cette action a aussi permis de faire une mise à jour des travaux de recherche sur les proliférations menés ailleurs dans le monde afin de vérifier les éléments qui pourraient venir nourrir la réflexion sur la reconquête en Bretagne.

ANNEXES

ANNEXE 1

PRINCIPALES INTERVENTIONS EN 2017
**« expertise scientifique, d'information et de conseil technologique en faveur des
programmes de maîtrise des marées vertes de Bretagne »**
(du 15 mars 2017 au 15 mars 2018)

Principales interventions du CEVA dans le cadre de la mission « expertise, information et conseil technologique en faveur des programmes de maîtrise des marées vertes de Bretagne ».
(15/ 03/2017 au 15/03/2018)

Appui aux collectivités sur les marées vertes et moyens de lutte

- 15 03 2017 : Contribution à la rédaction et apports d'éléments de diagnostic pour le BE Asconit mandaté par le Sage du Bas Léon. Cas particulier des petits secteurs (autre que l'anse de Guissény) peu abordés par le Sage et de la vasière de Goulven ciblée dans la disposition 10A2 du Sdage.
- 17 03 2017 : Rennes : réunion du groupe de scientifiques en appui au PLAV 2, feuille de route et la note objectif "qualité de l'eau", analyse des pré-projets de territoire
- 31 03 2017 : Clé de la Baie de Saint Briec : présentation du projet baie 2027 dont prolifération des ulves.
- 03 04 2017 : point avec le CD29 sur l'évolution des proliférations à l'échelle Région et Finistère, fourniture des histogrammes de présentation des évolutions et facteurs explicatifs.
- 04 04 2017 : commission AV de l'anse de Guissény : présentation du pré projet de plan et stratégie adoptée, incluant le volet études.
- 25 04 2017 : demande de Lannion Trégor Communauté d'information sur les proliférations observées sur l'étang du Lenn et diagnostic réalisé par le Ceva.
- 04 05 2017 : Saint Briec CD22 : Réunion d'information des Sages concernés par des proliférations sur vasières (disposition 10A2)
- 05 05 2017 : Réunion Lannion Trégor Communauté : suivis réalisés et évolutions constatées, objectifs à atteindre.
- 10 05 2017 : Rennes, Draf : réunion du groupe de scientifiques en appui au PLAV 2
- 16 05 2017 : pour commune de Penvenan : données sur les proliférations d'algues vertes dont cartographie pluriannuelle pour diagnostic profil de baignade.
- 17 05 2017 : fourniture au Sage baie de Douarnenez des éléments permettant de classer les ME.
- 18 05 2017 : AELB Ploufragan : réunion évaluation de la qualité de l'eau en baie de Saint Briec dont mesure des flux à la baie.
- 22 05 2017 : réponse au syndicat mixte de l'Horn au sujet des objectifs à atteindre pour lutter contre les proliférations sur l'anse du Dossen.
- 23 05 2017 : information du CD29 sur la signification des proliférations d'algues brunes filamenteuses en baie de Douarnenez en été 2016.
- 01 06 2017 : réponse à LTC qui s'interroge sur « l'absence » d'algues en haut de plage et fourniture photos du dernier survol pour clarifier les positions des dépôts.
- 02 06 2017 : demande Saint Briec Armor Agglomération : situation particulière échouage 2017
- 02 06 2017 : Sage du Bas Léon : fourniture/actualisation des informations sur les proliférations sur le littoral du Sage pour l'actualisation du tableau de bord dont carto des dépôts sur vasières.
- 06 06 2017 : réponse au Sage de la baie de Douarnenez sur l'importance des flux mai-septembre pour les proliférations d'ulves vis-à-vis du flux annuel
- 20 06 2017 : à la demande de Saint Briec Armor Agglo, parcours des points de la baie les plus touchés par des putréfactions d'algues vertes, mesures de teneurs H2S, solutions à courts termes ?
- 03 07 2017 : réunion sur le Plan Algues vertes organisée par LTC et Mire sur la baie de la Lieue de Grève en présence du Préfet de Bretagne, des Côtes d'Armor, du VP Région,
- 04 07 2017 : demande DDTM 22 d'informations sur les liens possibles entre présence d'algues verte et mortalité d'araignées qui s'échouent en masse sur les plages des Rosaires.
- 05 07 2017 : comité régional de Suivi du PLAV : présentation du bilan des suivis 2016, apports des suivis à la compréhension du phénomène et situation précocité MV 2017.
- 19 07 2017 : baie de Guissény : lien ramassage surfaces couverte par les algues vertes.
- 21 07 2017 : contribution au rapport pour la baie de Douarnenez sur les flux d'azote arrivant en baie (et lien MV).
- 21 08 2017 : pour Coeur Emeraude, Rance : données sur les ramassages d'algues vertes sur le territoire en vu de la mise en place éventuelle d'une filière de valorisation des algues (stage de Master 2).
- 28 08 2017 : baie de Guissény : quels apports possibles de la modélisation pour répondre à la pertinence de fractionner les apports d'eau par la modulation des débits au Moulin du Pont.

- 04 09 2017 : données d'évolution des proliférations en baie de Saint Brieuc pour le tableau de bord du SAGE.
- 05 09 2017 : DDTM 56 observatoire de l'environnement du Morbihan : synthèse des données à l'échelle du département dont sorties cartographiques spécifiques au territoire.
- 07 09 2017 : diagnostic Echouages d'ulves sur les sites de Locquémeau, Beg Léguer-Trébeurden et Nantouar : évolution, dont cartographie pluriannuelle des dépôts et espèces présentes.
- 14 09 2017 : pour le CD22 : cartographie actualisée des proliférations sur les mois d'avril à juin 2017 sur les côtes costarmoricaines et bretonnes pour mise en évidence du caractère particulière de l'amorçage de la saison.
- 21 09 2017 : fourniture de données cartographiques des proliférations 2016 à l'échelle des côtes finistériennes pour la mise à jour de l'atlas environnement du département.
- 21 09 2017 : réponse au Sage de la Baie de Douarnenez au sujet des algues rouges présentes en 2017 : quelles algues, signification,....
- 22 09 2017 : Saint Brieuc Armor Agglomération : quels outils pour ramasser des algues sur vasière, éviter les putréfactions...
- 27 09 2017 : réunion préfecture des Côtes d'Armor : situation prolifération 2017, présentation des suivis, résultats en termes de précocité, putréfactions relevées sur la baie de Saint Brieuc, actions de ramassage envisageables...
- 03 10 2017 : Mairie de Saint Brieuc : groupe de travail technique sur les améliorations des outils de ramassage. Point sur la situation de prolifération, les travaux antérieurs sur les outils et stratégies de ramassage.
- 04 10 2017 : Lycée Ernest Renan de Saint Brieuc : appui au PLAV2 : forum à destination des structures du PLAV 2 sur les actions envisageables dont modélisation couplée.
- 06 10 2017 : Pour le Sage de la baie de Saint Brieuc : calcul des flux mensuels et saisonnier du Gouet, Gouessant et Urne avec la CLE du Sage.
- 12 10 2017 : Sage Golfe Morbihan Ria d'Etel : données ulves pour le classement des masses d'eau, métriques utilisées, résultats et possibilité de traduire les résultats des modélisations en indicateur DCE.
- 13 10 2017 : pour AELB : sortie des données sur la période avril septembre de 2002 à 2017 pour mise en évidence de la particularité de l'année 2017.
- 23 10 2017 : suite à publication ouest France article sur l'ESCO, demande de la MIRE d'éléments sur la teneur de l'Esco
- 27 10 2017 : CLE de la baie de Saint Brieuc à Lamballe : tableau de bord 2016 dont situation AV.
- 10 11 2017 : demande CC Dinan d'interprétation présence dépôts bruns noir sur Plévenon interprété comme étant du lisier par association locale.
- 14 11 2017 : Lesneven : commission AV de la baie de Guissény : bilan AV 2017 et programmation 2018.
- 23 11 2017 : Maison de la baie d'Hillion : réunion du groupe de travail sur le ramassage innovant en baie de Saint Brieuc.
- 27 12 2017 : Natura 2000 Site de Guissény : diagnostic de la situation locale intégrant les ramassages, surfaces couvertes, biomasse pour bilan activité.
- 07 12 2017 : pour Plav 2 fourniture à la DDTM 29 des cartographies 2016 et données d'évolution (surfaces, biomasses) du phénomène sur les sites du plan des côtes du Finistère
- 23 11 2017 : Ploufragan centre technique déchets SBAA : réunion du groupe de travail sur le ramassage innovant en baie de Saint Brieuc.
- 15 12 2017 : Pour LTC : diagnostic rapide de la situation des échouages pluriannuels sur la plage du Moulin de la Rive dont production de cartographie. Question sur l'intégration de ce secteur dans le périmètre de ramassage de LTC.
- 08 01 2018 : Ploufragan : réunion CIMAV avec les partenaires du programme : point sur les suivis des proliférations, les programmes P1 et P3
- 02 02 2018 : Vannes/Plescop : groupe de travail AV du Sage Golfe du Morbihan : objectif à fixer pour lutter contre les MV.
- 21 02 2018 : diagnostic prolifération sur la commune de Plouha et site de Bréhec en particulier (y compris fourniture carto pluriannuelle des échouages).
- 22 02 2018 : Rennes, Comité Régional de suivi du PLAV : présentation du bilan 2017 et perspectives 2018 puis présentation travaux modélisation couplée INRA-CEVA sur la baie de Saint Brieuc.

Autres réunions et rencontres techniques

- 20 03 2017 : contribution au travail de mise en ligne d'un « atlas des vasières » par la DDTM 22 : fourniture des cartographie SIG des zones putréfiantes digitalisées sur les années 2008-2010 dans le cadre du programme CIMAV P6 2010 et fourniture des planches pdf mises en page + info de mise en garde sur la signification de ces données....
- 24 03 2017 : fourniture de données sur les surfaces couvertes par les ulves à l'Ifremer pour le suivi DCSMM (David Devreker).
- 30 03 2017 : maillage des surfaces couvertes par les AV sur les vasières de la disposition 10A2 du Sdage pour fourniture par le Creseb aux Sages concernés des lieux de dépôts d'AV et position des cours d'eau. Rédaction d'une note de synthèse sur les données acquérir pour répondre à la disposition.
- 18 au 20 04 2017 : Paris : participation au colloque de restitution de l'Esco Eutrophisation.
- 23 05 2017 : réponse DDTM 22 sur les informations « Atlas Vasière »
- 28 06 2017 : demande de Vannes Agglo d'information sur les putréfactions d'algues vertes et autres algues et danger H2S.
- 04 07 2017 : réunion MIRE DREAL INRA Scheme : intérêt d'une éventuelle modélisation couplée BV-baie pour la détermination des objectifs à atteindre.
- 06 07 2017 : DDTM 29 : zones putréfiantes d'algues vertes, explication, rapport et carto réalisés en 2010.
- 25 07 2017 : pour la DCSMM : données marées vertes sur le quartier mer celtique.
- 28 08 2017 : demande BRGM si possibilité d'exploiter les données photo CEVA pour la détermination des zones de mouillage forain (non exhaustivité des données).
- 30 08 2017 : réponse à un constructeur de machine de ramassage sur la possibilité d'accès aux vasières en aéroglesseur (forte capacité) et volumes potentiels d'algues sur vasières.
- 11 09 2017 : réunion Rennes-INRA avec MIRE Inra Scheme Creseb sur le montage éventuel d'un programme de modélisation couplée BV-Baie.
- 28 09 2017 : réunion avec un fabricant matériel ramassage déchets plages pour évaluation possibilités d'adaptation des outils aux tapis sur vasière.
- 17 10 2017 : Comité pilotage de « Sea Mat project » (visio Galway).
- 19 10 2017 : CD56 : réunion d'information des conseillers départementaux : prolifération d'algues opportunistes sur le littoral du Morbihan
- 19 12 2017 : analyse avec le Creseb des points de suivis de qualité de l'eau et de débit et leur utilisation pour les calculs de flux à la baie.
- 15 01 2018 : BRGM, antenne de Rennes : intérêt pour la connaissance des proliférations de mieux cerner les apports directs d'eau et nutriments aux baies (flux souterrain).
- 18 01 2018 : analyse de la proposition de suivi complémentaire émise par le Sage haut Léon pour la compréhension des proliférations sur les vasières du Sage (disposition 10A2).
- 26 01 2018 : Rennes : réunion Creseb / groupe de scientifiques, intérêt et possibilité de monter un programme spécifique pour mieux quantifier les flux des vasières et répondre à la disposition 10A2.
- 14 02 2018 : Syndicat Mixte du bassin du Haut Léon : données disponibles et à acquérir pour mieux comprendre les proliférations en baie de Penzé et Morlaix et répondre à la disposition 10A2.
- 02 03 2018 : BRGM Montpellier : réalisation d'une étude pour l'AELB sur les coûts et bénéfices des protections de captage. Cas de Binic (captage de Plourhan). Apport des connaissances du Ceva et fourniture des données pour l'étude.
- 6 03 2018 : Rennes : réunion Creseb / groupe de scientifiques et partenaires financiers, intérêt et possibilité de monter un programme spécifique pour mieux quantifier les flux des vasières et répondre à la disposition 10A2.
- 15 03 2018 : réunion avec le syndicat du Trégor pour analyser l'impact de l'intégration des données haute fréquence en nitrate et débit.

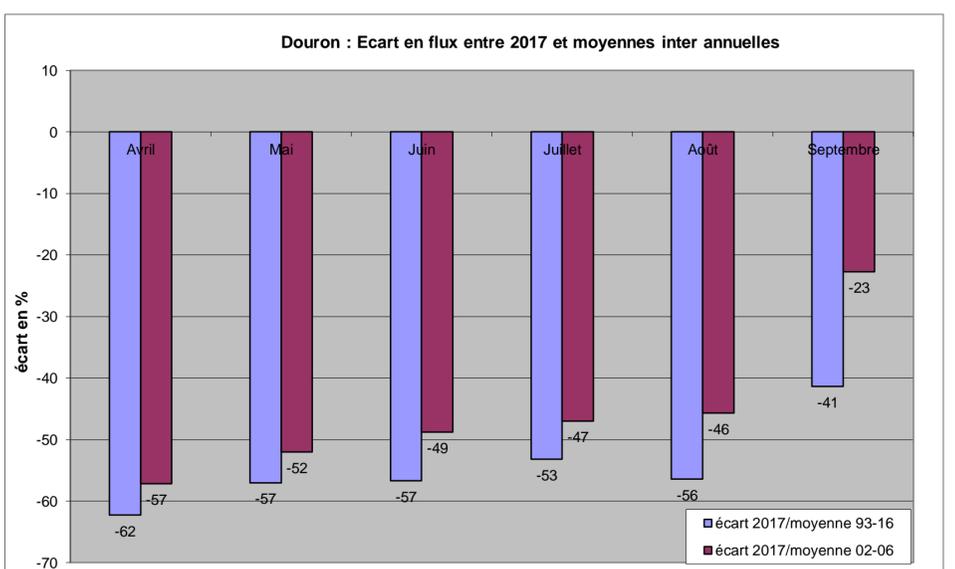
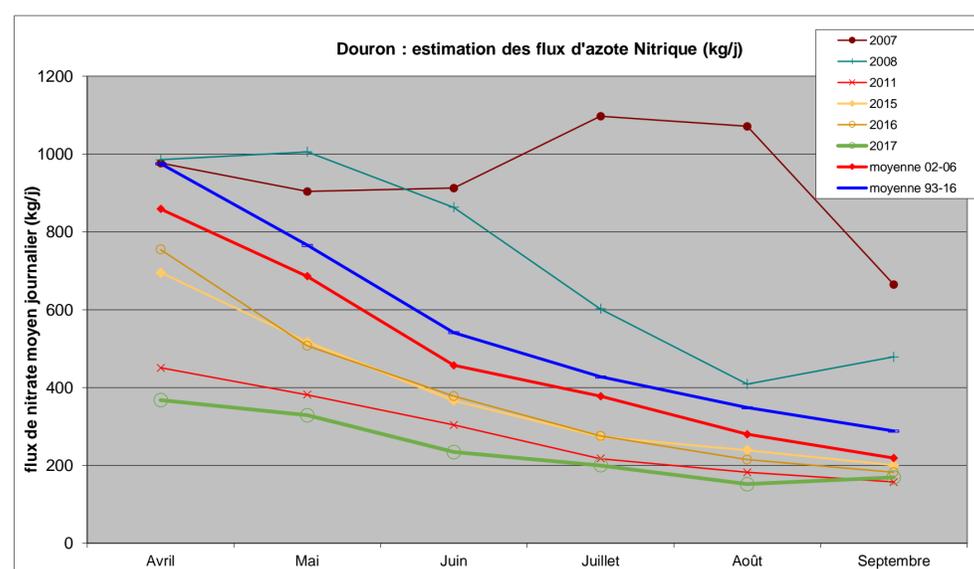
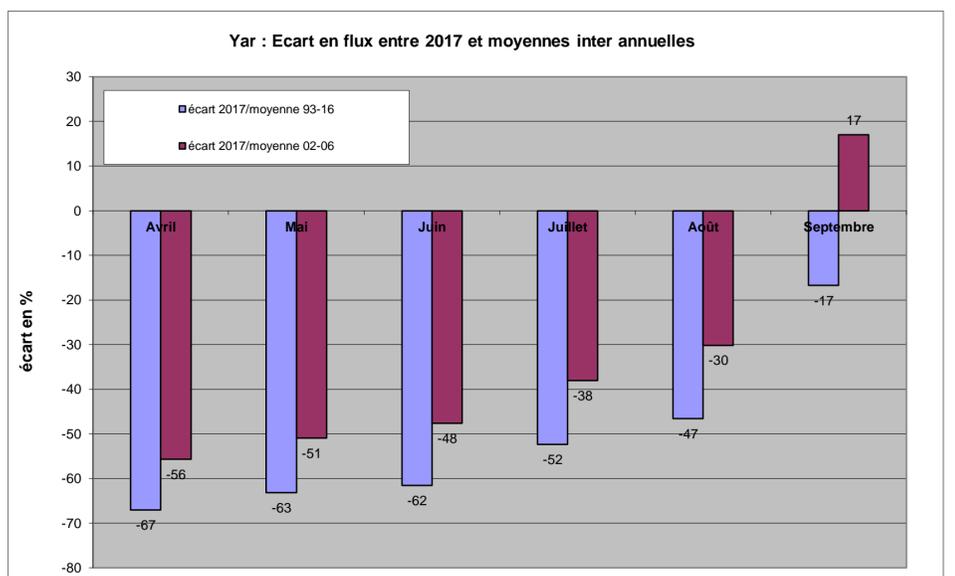
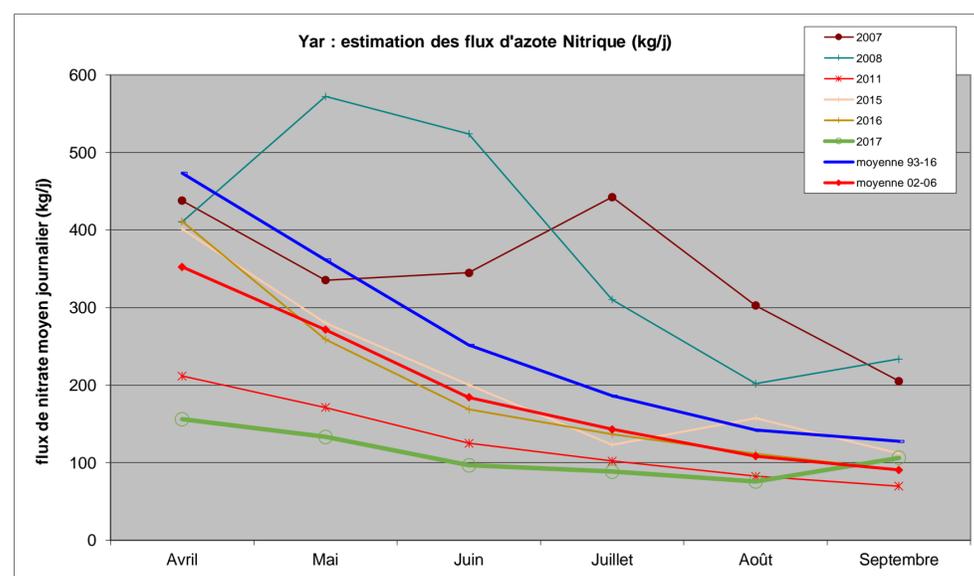
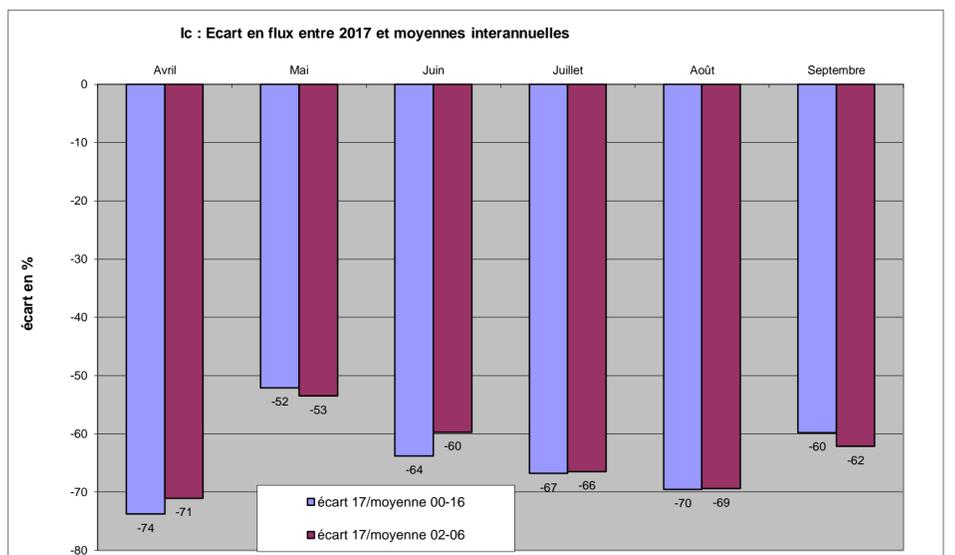
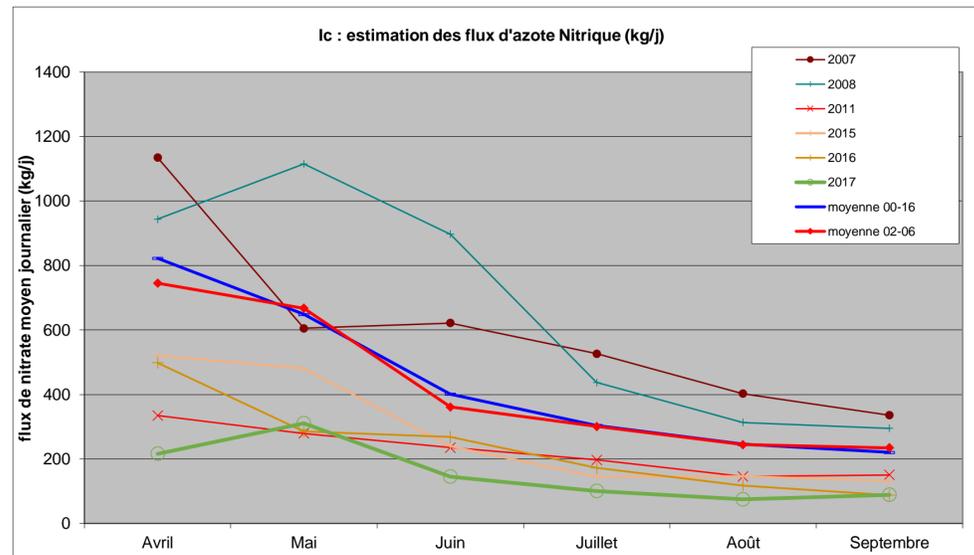
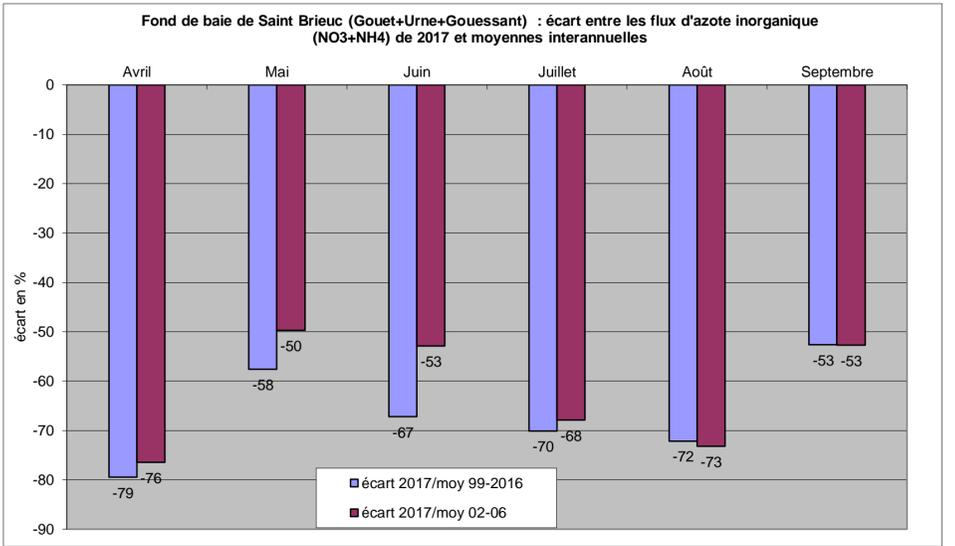
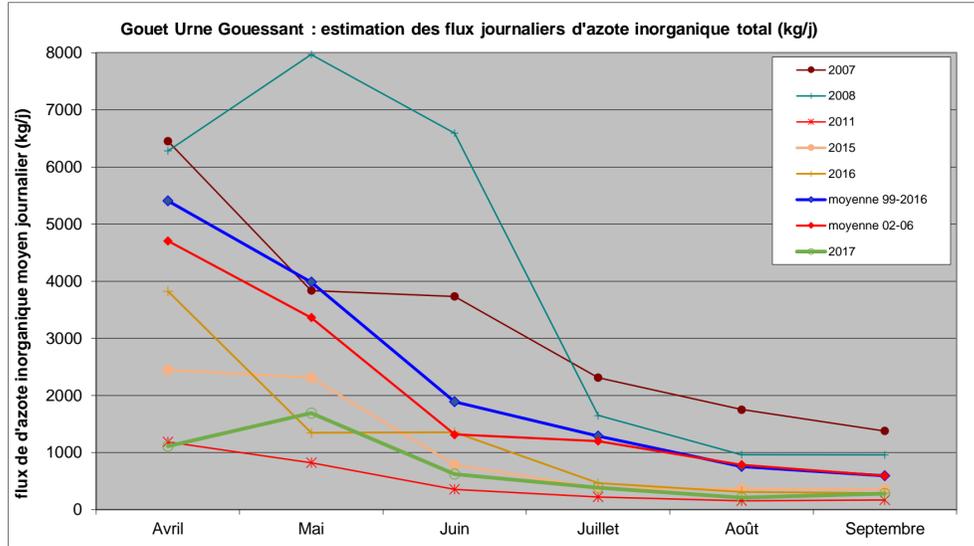
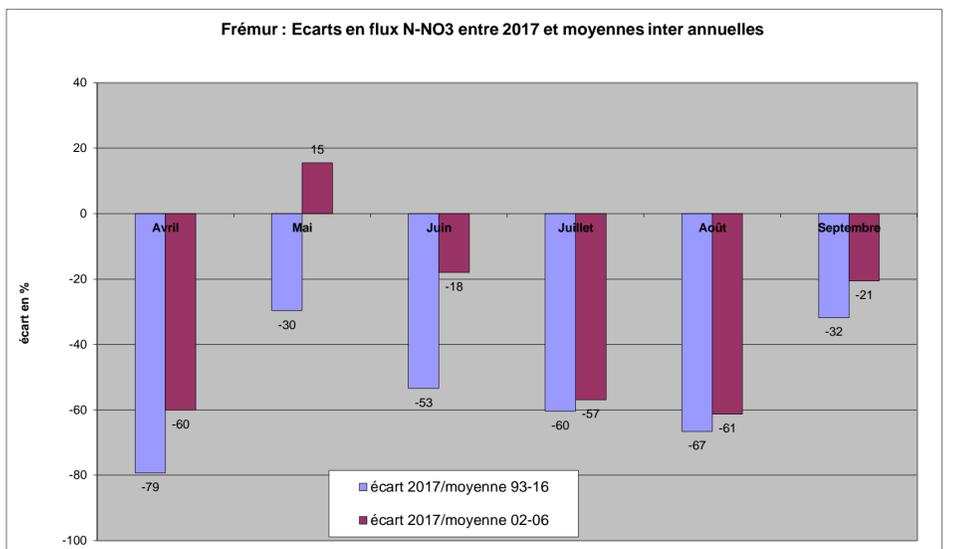
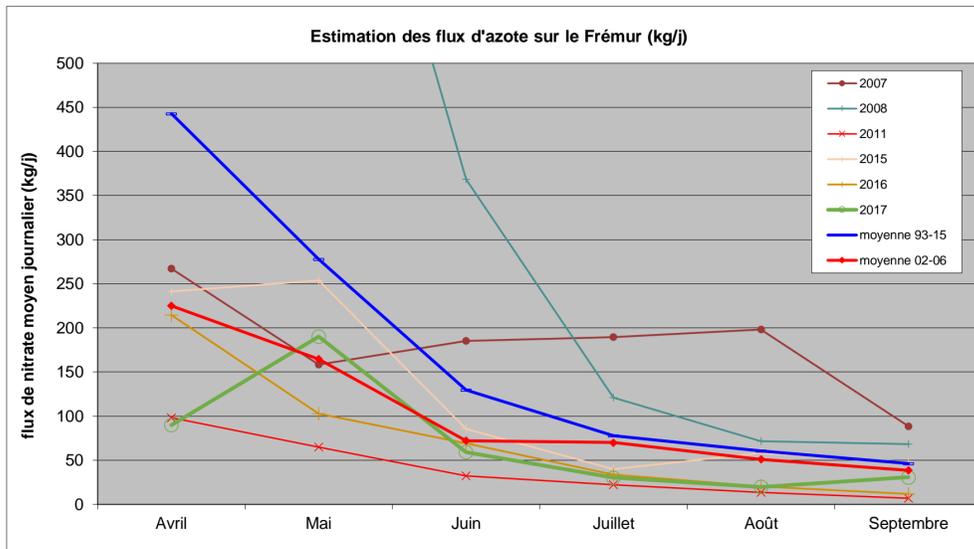
Information sur les Marées vertes et le les moyens de lutte

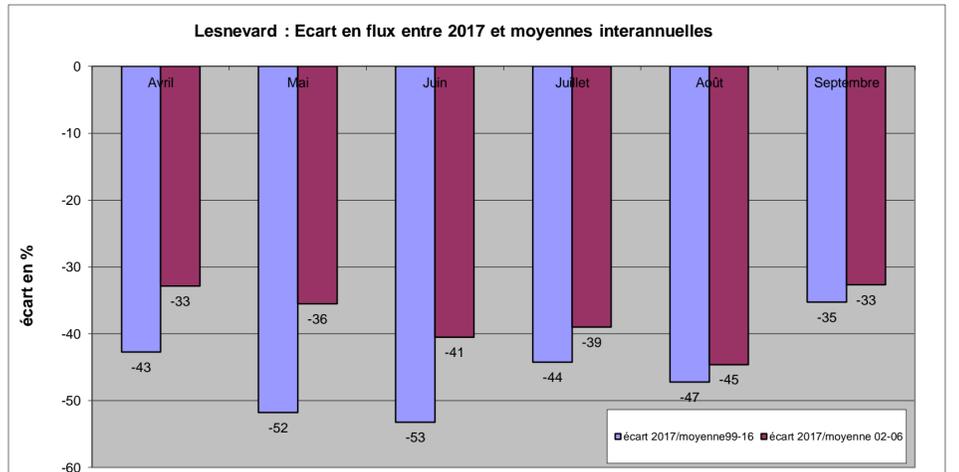
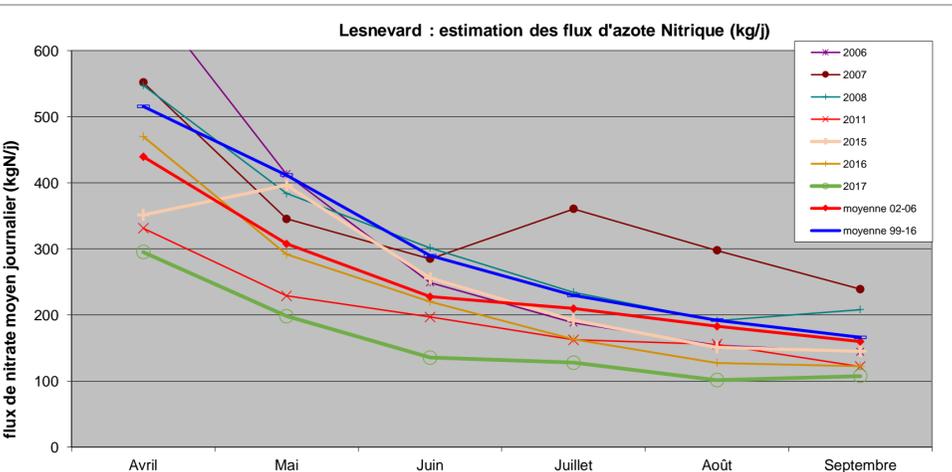
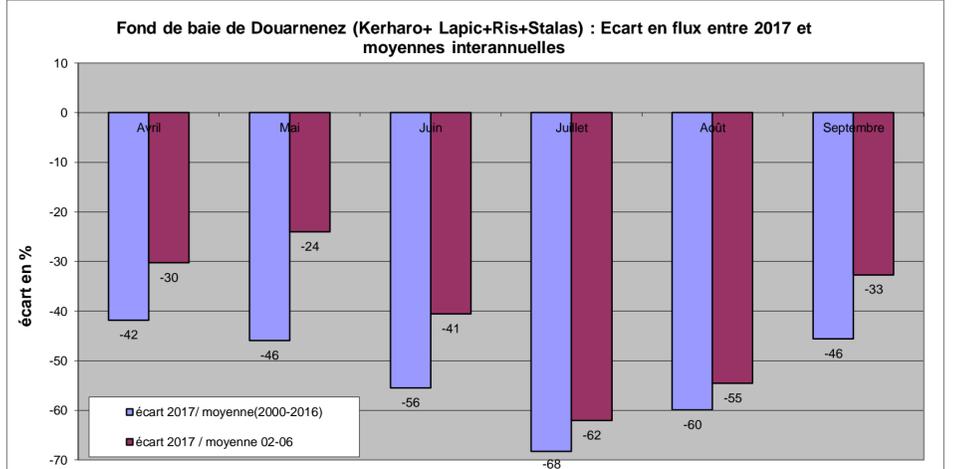
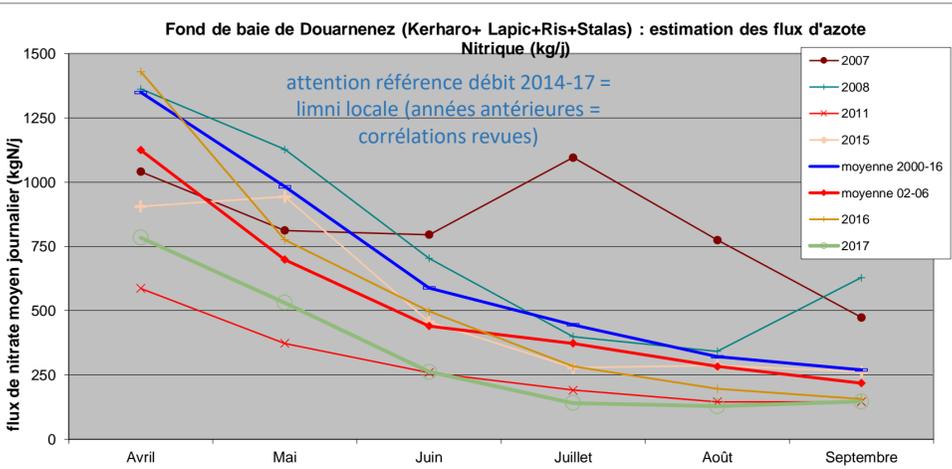
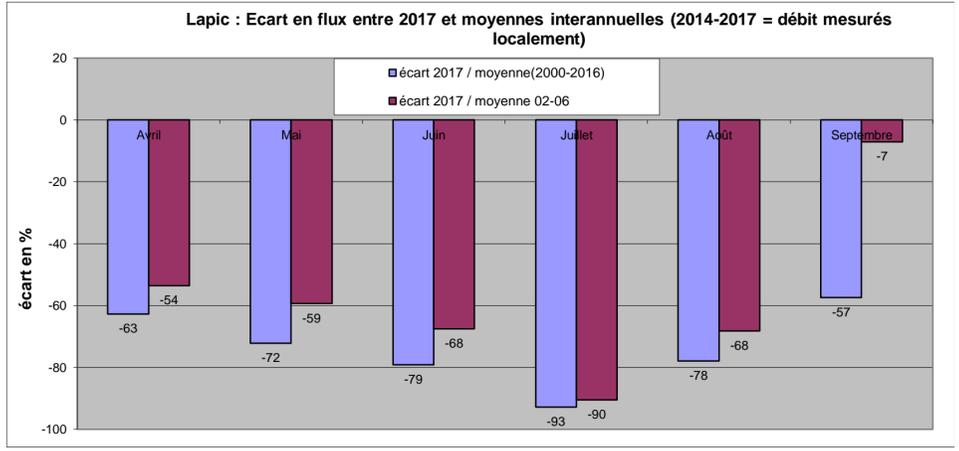
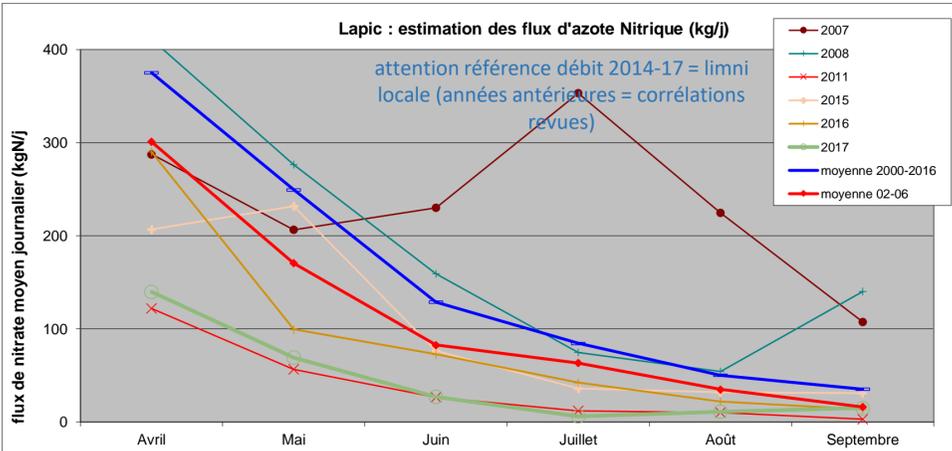
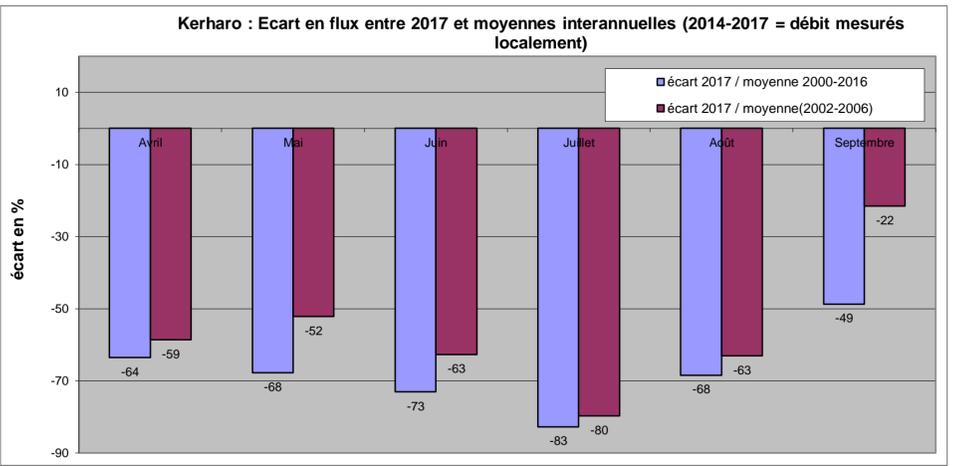
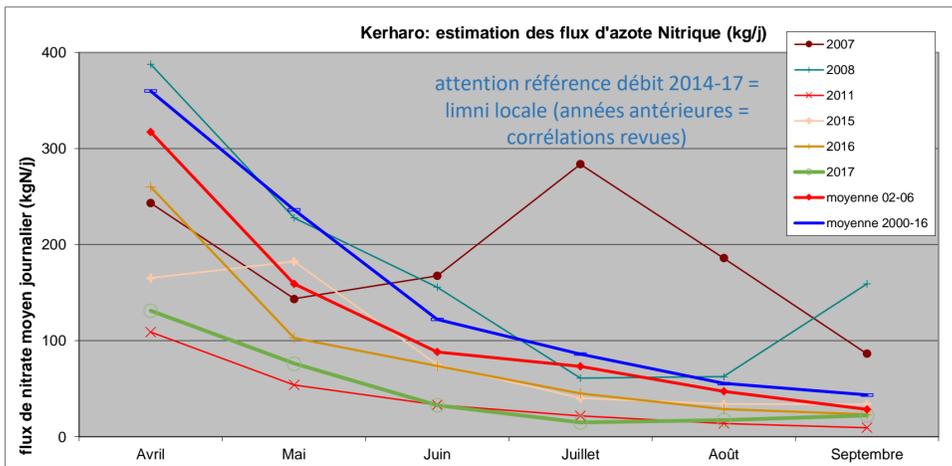
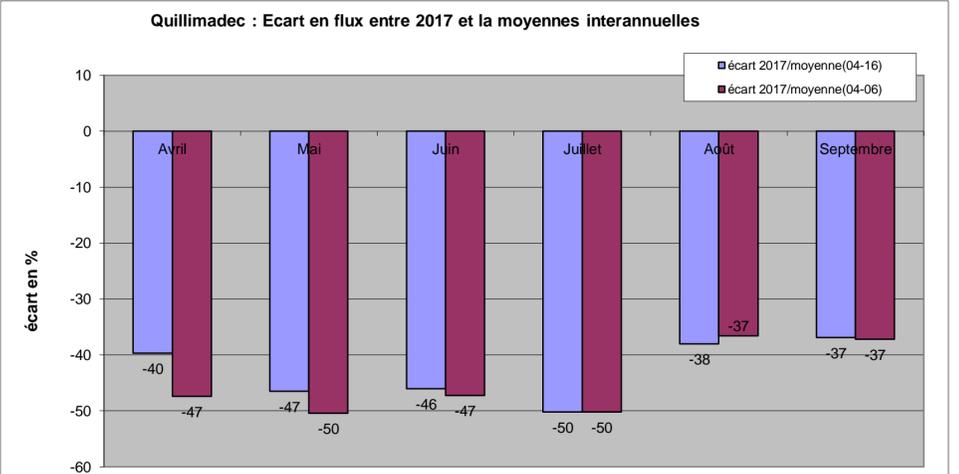
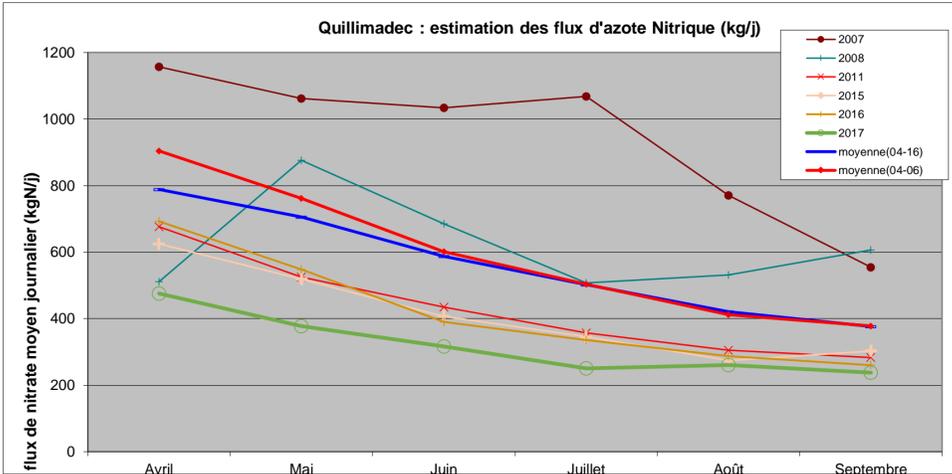
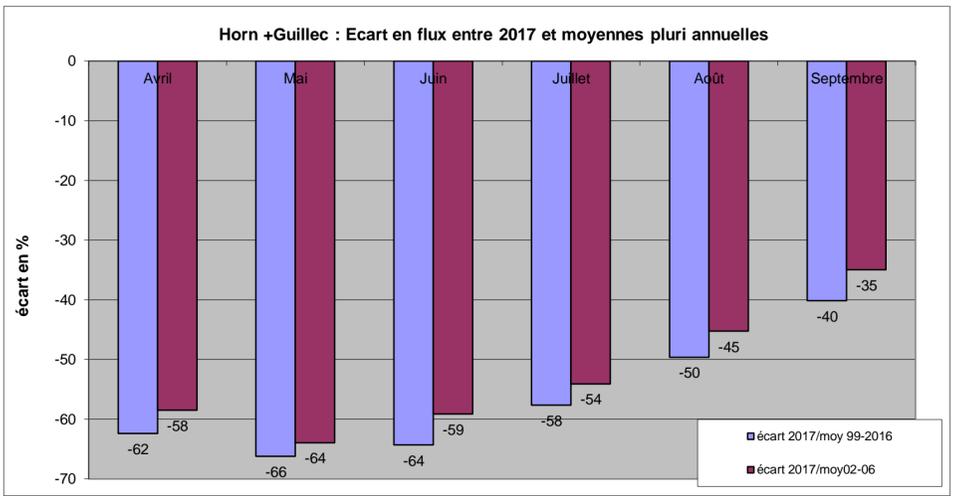
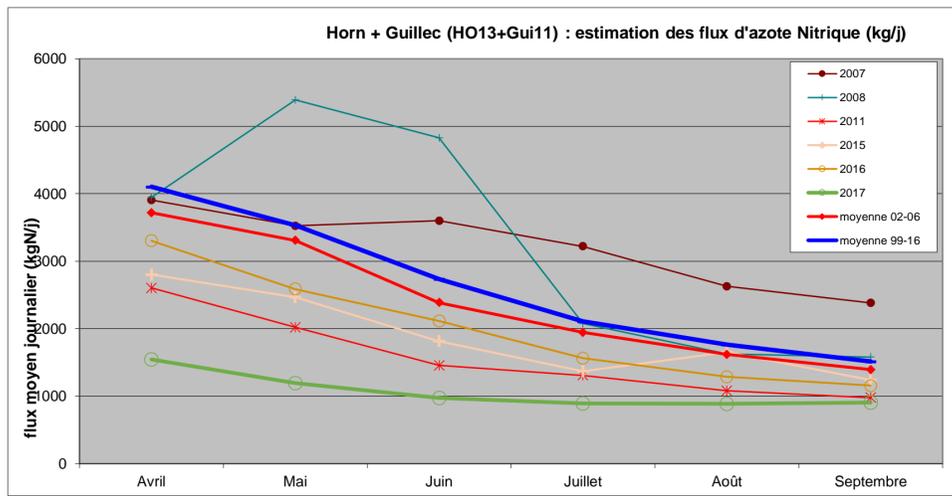
- 24 03 2017 : interview journal « l'imprévu » : prolifération d'algues vertes, évolution, causes, moyens de lutte, aspects sanitaires....
- 25 04 2017 : article Le Monde : éléments explicatifs de la grande précocité 2017 des proliférations sur les principaux sites bretons.
- 26 04 2017 : Interview Le Parisien sur évolution des proliférations et interprétation de la précocité 2017
- 27 04 2017 : interview magazine « Capital » au sujet des marées vertes, explication de la précocité 2017, flux observés et amélioration des concentrations nitrates depuis 15 ans...
- 27 04 2017 : demande interview F Info sur précocité 2017, apports éléments analyse
- 28 04 2017 : interview pour Le Marin et pour Sciences et Avenir : évolutions, précocité, compréhension phénomène.
- 02 05 2017 : interview journal F3 national : prolifération 2017, explication précocité, améliorations pluriannuelles....
- 03 05 2017 : Tébéo : interview prolifération AV, point sur l'évolution, moyens de lutte.
- 04 05 2017 : BTS productions animales du Rheu : les marées vertes, problématiques, impacts, enjeux et moyens de lutte.
- 18 05 2017 : étudiant AgroCampus Ouest : projet de territoire "Le Léon, quelle durabilité, quelles orientations stratégiques mises en place pour l'avenir ?" : cas des problématiques des algues verte sur ce territoire.
- 22 05 2017 : AFP : interview sur les marées vertes, évolution et cas précocité 2017
- 23 05 2017 : interview France Inter, les marées vertes, évolution, cause, précocité
- 09 06 2017 : interview France 3 région sur précocité 2017 en particulier sur la baie de Saint Michel en Grève.
- 14 06 2017 : interview journal infirmières pour l'établissement d'un dossier sur les algues vertes et aspects sanitaires.
- 29 06 2017 : Interview Les Echos, évolution AV, explications.
- 03 07 2017 : interview Tébéo, point évolution prolifération, sur le Bretagne et en particulier sur la baie de Saint Michel
- 04 07 2017 : suite réunion lancement PLAV2 organisée sur la Lieue de Grève, interview Hit West, France Bleu et France 3 (sur la baie)
- 05 06 2017 : article « prolifération AV » et carte pour la DREAL bilan eau 2016.
- 07 07 2017 : Interview « La Croix » : situation MV 2017 et évolutions pluriannuelles, moyens de luttés, actions en place.
- 12 07 2017 : Le Télégramme : info point situation prolifération AV
- 12 07 2017 : interview « L'Humanité » : situation AV et évolution, moyens de lutte.
- 13 07 2017 : interview France 2, données évolution AV, dangerosité, cas particulier de la baie de Saint Briec en 2017.
- 13 07 2017 : interview « Le Pellerin » : AV causes, évolutions...
- 26 07 2017 : interview « mon quotidien » : pourquoi MV, évolution, etc, pour public jeunes.
- 27 07 2017 : interview télé suisse alémanique : AV en Bretagne, cause, toxicité, moyen de lutte, actions engagées, évolutions mesurées.
- 23 08 2017 : interview Ouest France : point de situation MV 2017 et explication démarrage, perspectives d'évolution dans l'été, comparatif visuel sur photos ...
- 24 08 2017 : ouest France : cas de la baie de Douarnenez
- 30 08 2017 : données AV pour le bilan AV 2016 du PRSE (ARS Bretagne)
- 04 09 2017 : interview « Paysan breton » : marées vertes en Bretagne, cause, moyen de lutte, évolution des taux de nitrates agricoles et des proliférations, rôle du report pluriannuel.
- 17 11 2017 : Etudiants en première année à AgroParisTech : projet sur l'élevage porcin et ses impacts économiques, sociétaux et environnementaux dans le nord des Cotes d'Armor dont phénomène des marées vertes et sa gestion.
- 20 12 2017 : élèves du Lycée Félix le Dantec de Lannion : TPE sur les algues vertes en Bretagne.
- 17 01 2018 : interview Tébéo : retour sur la prolifération 2017, bilan « final » après le démarrage précoce.
- 24 01 2018 : fourniture données actualisées de la situation des proliférations et évolutions des nitrates dans les cours d'eau des baies AV au CGEDD pour l'évaluation du PLAV1

- 30 01 2018 : Plérin : groupe étudiant 3^{ème} année AgroParisTech sur les cause des marées vertes, évolution, moyen de lutte et historique des programmes et relations entre acteurs de la lutte contre les MV.
- 31 01 2018 : contributions à l'article d'AgroCampusOuest sur les impacts des proliférations d'algues vertes dans les ET (Alexis Paumier)
- 02 02 2018 : interview Juliette Dusquesnes / livre avec Pierre Rabhi sur l'eau dont marées vertes en Bretagne
- 06 02 2018 : Coordination rurale : prolifération des marées vertes et lien avec les nitrates (charge N « interne » potentielle d'après C. Buzon)
- 07 02 2018 : Plérin CA 22 : réunion de restitution des travaux menés par AgroParisTech sur les plan de lutte contre les marées vertes, et changements en agriculture.
- 12 02 2018 : pour association Halte aux marées vertes : données disponible pour valider la relation entre prolifération et nitrates dans les eaux.
- 28 02 2018 : étudiant de VetAgroSup (Clermont Ferrand) : thème d'étude de la promotion 3eme année marées vertes et valorisation des algues.
- 02 03 2018 : fourniture données pour étudiant Erasmus Suède dont étude porte sur les proliférations de marées vertes (Aymeric Le Lay)
- 09 03 2018 : pour l'Observatoire de l'Environnement en Bretagne, mise à jour de la publication papier sur les algues vertes, réflexion sur les données les plus pertinentes à intégrer au Tableau de Bord Interactif puis création d'une carte pluriannuelle actualisée (2007-2017) du phénomène à l'échelle Bretagne. Pour le site internet, fourniture des données annuelles.

ANNEXE 2

DONNEES DE FLUX par bassin versant en 2017 et comparaison avec les années antérieures





ANNEXE 3

Liste Bibliographique

- Adrien A, Bonnet A, Dufour D, Baudouin S, Maugard T, Bridiau N (2017) Pilot production of ulvans from *Ulva* sp and their effects on hyaluronan and collagen production in cultured dermal fibroblasts. *Carbohydrate Polymers* 157:1306–14
- Amaral-Zettler et al. (2016) Comparative mitochondrial and chloroplast genomics of a genetically distinct form of *Sargassum* contributing to recent “Golden Tides” in the Western Atlantic <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ece3.2630/full>
- Andrefouet S, Payri C, van Wynsberge S, Lauret O, Alefaio S, Preston G, Yamano H, Baudel S (2017) The timing and the scale of the proliferation of *Sargassum polycystum* in Funafuti Atoll, Tuvalu. *Journal of Applied Phycology* 29:3097–108
- Anonyme (2018a) Algues vertes: pollution organique ou minérale confirmée - nouvelle calédonie 1ère. France TV info 1ere - Nouvelle Calédonie, 2018 <https://la1ere.francetvinfo.fr/nouvelledcaledonie/province-sud/bourail/algues-vertes-pollution-organique-minerale-confirmee-552011.html>. (accessed 23 Jan 2018)
- Anonyme (2018b) La Mission sargasses sur les plages de la Riviera du Levant. France-Antilles, 2018b <http://guadeloupe.niooz.fr/la-mission-sargasses-sur-les-plages-de-la-riviera-du-levant-23494360.shtml>
- Anonyme (2018c) Sargasses elles sont de retour. Radio RCI Guadeloupe, 2018c 08/02/2018
- Anonyme (2018d) Les sargasses et le sable emprisonnent les pêcheurs du Vauclin | RCI. Radio RCI Guadeloupe, 2018d <https://www.rci.fm/infos/risques-naturels/les-sargasses-et-le-sable-emprisonnent-les-pecheurs-du-vauclin>. (accessed 1 Mar 2018)
- Anonyme (2017a) Sargasse en vue le phénomène est désormais sous surveillance. France TV info 1ere - Gaudeloupe, 2017a
- Anonyme (2017b) Une barrière anti-sargasses pour Marie-Galante. Outre-mer 1ère, 2017b <https://la1ere.francetvinfo.fr/guadeloupe/barriere-anti-sargasses-marie-galante-504673.html>
- Anonyme (2018b) La Mission sargasses sur les plages de la Riviera du Levant | Niooz.fr <http://guadeloupe.niooz.fr/la-mission-sargasses-sur-les-plages-de-la-riviera-du-levant-23494360.shtml>. (accessed 12 Mar 2018)
- Cole AJ, Roberts DA, Garside AL, Nys R de, Paul NA (2016) Seaweed compost for agricultural crop production. *Journal of Applied Phycology* 28:629–42
- Fang J, Liu W, Yang S, Brown S, Nicholls RJ, Hinkel J, Shi X, Shi P (2017) Spatial-temporal changes of coastal and marine disasters risks and impacts in Mainland China. *Ocean & Coastal Management* 139:125–40
- Gao G, Clare AS, Rose C, Caldwell GS (2017a) Eutrophication and warming-driven green tides (*Ulva rigida*) are predicted to increase under future climate change scenarios. *Marine Pollution Bulletin* 114:439–47
- Gao G, Clare AS, Rose C, Caldwell GS (2017b) Intrinsic and extrinsic control of reproduction in the green tide-forming alga, *Ulva rigida*. *Environmental and Experimental Botany* 139:14–22
- Gao G, Liu Y, Li X, Feng Z, Xu Z, Wu H, Xu J (2017c) Expected CO₂-induced ocean acidification modulates copper toxicity in the green tide alga *Ulva prolifera*. *Environmental and Experimental Botany* 135:63–72
- Gao Z, Xu F, Song D, Zheng X, Chen M (2017d) Multi-resource data-based research on remote sensing monitoring over the green tide in the Yellow Sea. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability Xiv* 10405

- Ge C, Yu X, Kan M, Qu C (2017) Adaption of *Ulva pertusa* to multiple-contamination of heavy metals and nutrients: Biological mechanism of outbreak of *Ulva* sp. green tide. *Marine Pollution Bulletin* 125:250–53
- Golubkov SM, Berezina NA, Gubelit YI, Demchuk AS, Golubkov MS, Tiunov AV (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). *Marine Pollution Bulletin* 126:43–50
- Hu L, Hu C, He M-X (2017) Remote estimation of biomass of *Ulva prolifera* macroalgae in the Yellow Sea. *Remote Sensing of Environment* 192:217–27
- Jing L, Lei S, ZhiMing Y, XiuXian S (2017) Investigation on the efficiency of a silicone antifouling coating in controlling the adhesion and germination of *Ulva prolifera* micro-propagules on rafts. *Science China-Earth Sciences* 60:391–96
- Kwon HK, Kang H, Oh YH, Park SR, Kim G (2017) Green tide development associated with submarine groundwater discharge in a coastal harbor, Jeju, Korea. *Scientific Reports* 7
- Lamprianidou F, Telfer T, Ross LG (2015) A model for optimization of the productivity and bioremediation efficiency of marine integrated multitrophic aquaculture. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 164:253–64
- Lanari M, Copertino M (2017) Drift macroalgae in the Patos Lagoon Estuary (southern Brazil): Effects of climate, hydrology and wind action on the onset and magnitude of blooms. *Marine Biology Research* 13:36–47
- Le Luherne E, Le Pape O, Murillo L, Randon M, Lebot C, Reveillac E (2017) Influence of Green Tides in Coastal Nursery Grounds on the Habitat Selection and Individual Performance of Juvenile Fish. *Plos One* 12
- Lee H-S, Jeong G-W, Choi C, Nah J-W (2017) Flocculation and Algicidal Effect of Harmful Green-Tide according to Molecular-weight of Chitosan. *Polymer-Korea* 41:561–68
- Leehyunsu, Jeong G-W, Woon NJ, 최창용, 안긴내 (2017) Flocculation and Algicidal Effect of Mixture of Red-soil or Clay and Chitosan against Harmful Green-Tide. *Journal of Chitin and Chitosan* 22:47–53
- Lewis NS, DeWitt TH (2017) Effect of green macroalgal blooms on the behavior, growth, and survival of cockles *Clinocardium nuttallii* in Pacific NW estuaries. *Marine Ecology Progress Series* 582:105–20
- Li H, Zhang Y, Tang H, Shi X, Rivkin RB, Legendre L (2017a) Spatiotemporal variations of inorganic nutrients along the Jiangsu coast, China, and the occurrence of macroalgal blooms (green tides) in the southern Yellow Sea. *Harmful Algae* 63:164–72
- Li J, Song X, Zhang Y, Pan J, Yu Z (2017b) An investigation of the space distribution of *Ulva* microscopic propagules and ship-based experiment of mitigation using modified clay. *Marine Pollution Bulletin* 117:247–54
- Li S, Yu K, Huo Y, Zhang J, Wu H, Cai C, Liu Y, Shi D, He P (2016) Effects of nitrogen and phosphorus enrichment on growth and photosynthetic assimilation of carbon in a green tide-forming species (*Ulva prolifera*) in the Yellow Sea. *Hydrobiologia* 776:161–71
- Lin G, Sun F, Wang C, Zhang L, Zhang X (2017) Assessment of the effect of *Enteromorpha prolifera* on bacterial community structures in aquaculture environment. *Plos One* 12
- Liu J, Su N, Wang X, Du J (2017) Submarine groundwater discharge and associated nutrient fluxes into the Southern Yellow Sea: A case study for semi-enclosed and oligotrophic seas-implication for green tide bloom. *Journal of Geophysical Research-Oceans* 122:139–52

- Miao X, Xiao J, Pang M, Zhang X, Wang Z, Miao J, Li Y (2018) Effect of the large-scale green tide on the species succession of green macroalgal micro-propagules in the coastal waters of Qingdao, China. *Marine Pollution Bulletin* 126:549–56
- Na YJ, DaVine J, Rok LJ, Choi HG, Nam KW, 박서경, 김영식 (2017) Effects of Environmental Factors on Zoospore Release and Early Growth of the Green Tide Alga *Cladophora albida*. *Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 50:175–82
- Orlando-Bonaca M, Mavric B, Trkov D, Lipej L (2017) Unusual bloom of tetrasporophytes of the non-indigenous red alga *Asparagopsis armata* in the northern Adriatic Sea. *Acta Adriatica* 58:53–62
- Pinon-Gimate A, Espinosa-Andrade N, Sanchez A, Casas-Valdez M (2017) Nitrogen isotopic characterisation of macroalgae blooms from different sites within a subtropical bay in the Gulf of California. *Marine Pollution Bulletin* 116:130–36
- Pinteus S, Silva J, Alves C, Horta A, Fino N, Rodrigues AI, Mendes S, Pedrosa R (2017) Cytoprotective effect of seaweeds with high antioxidant activity from the Peniche coast (Portugal). *FOOD CHEMISTRY* 218:591–99
- Qi L, Hu C, Wang M, Shang S, Wilson C (2017) Floating Algae Blooms in the East China Sea. *Geophysical Research Letters* 44:11501–09
- SEOG KJ, 곽화숙, 김보관 (2017) Effects of Various Physical and Chemical Factors on the Death of Trouble Seaweed *Ulva australis*. *Weed & Turfgrass Science* 6:222–34
- Song D, Gao Z, Xu F, Zheng X, Ai J, Chen M (2017) Remote sensing of the Yellow Sea green tide in 2014 based on GOCI. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability Xiv* 10405
- Sun Y, Pham AN, Waite TD (2018) Effect of release of dopamine on iron transformations and reactive oxygen species (ROS) generation under conditions typical of coastal waters. *Environmental Science-Processes & Impacts* 20:232–44
- Thornber CS, Guidone M, Deacutis C, Green L, Ramsay CN, Palmisciano M (2017) Spatial and temporal variability in macroalgal blooms in a eutrophied coastal estuary. *Harmful Algae* 68:82–96
- van Tussenbroek BI, Arana HAH, Rodriguez-Martinez RE, Espinoza-Avalos J, Canizales-Flores HM, Gonzalez-Godoy CE, Guadalupe Barba-Santos M, Vega-Zepeda A, Collado-Vides L (2017) Severe impacts of brown tides caused by *Sargassum* spp. on near-shore Caribbean seagrass communities. *Marine Pollution Bulletin* 122:272–81
- Vazquez YR, van Alstyne KL, Bingham BL (2017) Exudates of the green alga *Ulvaria obscura* (Kützting) affect larval development of the sand dollar *Dendraster excentricus* (Eschscholtz) and the Pacific oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg). *Marine Biology* 164
- Wan AHL, Wilkes RJ, Heesch S, Bermejo R, Johnson MP, Morrison L (2017) Assessment and Characterisation of Ireland's Green Tides (*Ulva* Species). *Plos One* 12
- Wang C, Chu J, Tan M, Shao F, Sui Y, Li S (2017) An automatic detection of green tide using multi-windows with their adaptive threshold from Landsat TM/ETM plus image. *Acta Oceanologica Sinica* 36:106–14
- Wang M, Hu C (2017) Predicting *Sargassum* blooms in the Caribbean Sea from MODIS observations. *Geophysical Research Letters* 44:3265–73

- Wu H, Zhang J, Yarish C, He P, Kim JK (2018) Bioremediation and nutrient migration during blooms of *Ulva* in the Yellow Sea, China. *Phycologia* 57:223–31
- Xiangqing L, Zongling W, Shiliang F, Xuelei Z, Ruixiang L, Yan L (2017) The distribution of green algal micro-propagules and macroalgae at the early stage of green tide in the coastal area of South Jiangsu Province in 2014. *Journal of Ocean University of China* 16:81–86
- Xiao Y, Zhang J, Cui T (2017) High-precision extraction of nearshore green tides using satellite remote sensing data of the Yellow Sea, China. *International Journal of Remote Sensing* 38:1626–41
- Xing Q, Guo R, Wu L, An D, Cong M, Qin S, Li X (2017) High-Resolution Satellite Observations of a New Hazard of Golden Tides Caused by Floating Sargassum in Winter in the Yellow Sea. *Ieee Geoscience and Remote Sensing Letters* 14:1815–19
- Xu F, Gao Z, Jiang X, Ning J, Zheng X, Song D, Ai J, Chen M (2017a) Mapping of green tide using true color aerial photographs taken from a unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing and Modeling of Ecosystems for Sustainability Xiv* 10405
- Xu F, Gao Z, Shang W, Jiang X, Zheng X, Ning J, Song D (2017b) Validation of MODIS-based monitoring for a green tide in the Yellow Sea with the aid of unmanned aerial vehicle. *Journal of Applied Remote Sensing* 11
- Zhang C, Lu J, Wu J, Luo Y (2017a) Removal of phenanthrene from coastal waters by green tide algae *Ulva prolifera*. *Science of The Total Environment* 609:1322–28
- Zhang J, Huo Y, Gao S, Yang L, Zhao S, Li J, He P (2017b) Seasonal variation of dominant free-floating *Ulva* species in the Rudong coastal area, China: Differences of ecological adaptability to temperature and irradiance. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences* 46:1758–64
- Zhang J, Zhao P, Huo Y, Yu K, He P (2017c) The fast expansion of *Pyropia* aquaculture in "Sansha" regions should be mainly responsible for the *Ulva* blooms in Yellow Sea. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 189:58–65