

CENTRE D'ÉTUDE
& DE VALORISATION
DES ALGUES



ALGAE TECHNOLOGY
& INNOVATION
CENTRE

RCS ET RCO SEINE-NORMANDIE ANNEE 2020

Programme de contrôle de surveillance et de contrôle
opérationnel des blooms de macroalgues opportunistes
dans les eaux littorales du bassin Seine-Normandie

Rapport final Annuel

Octobre 2021

Anthony LE BRIS : Ingénieur de projet
Clément DANIEL : Technicien environnement
Loïc CELLIER : Technicien environnement
Sylvain BALLU : Chef de projet
Sophie RICHIER : Responsable pôle « Ecologie & Environnement »

CEVA

SOMMAIRE

1.	CONTEXTE & OBJECTIFS	1
2.	MATERIELS & METHODES.....	2
2.1.	Actions communes RCS – RCO (Suivi des marées vertes)	3
2.1.1.	Organisation des campagnes aériennes.....	3
2.1.2.	Organisation des contrôles terrain.....	3
2.1.3.	Définition et classement des sites.....	3
2.1.4.	Géoréférencement des photos	7
2.1.5.	Digitalisation et détermination du taux de couverture.....	7
2.2.	Actions spécifiques programme RCS.....	8
2.2.1.	Littoral étudié RCS	8
2.2.2.	Indicateur « Blooms de macroalgues opportunistes ».....	9
2.2.3.	Enquêtes sur le ramassage	12
2.2.4.	Fiches web	13
2.3.	Actions spécifiques programme RCO	13
2.3.1.	Littoral étudié RCO	13
2.3.2.	Indices d'eutrophisation.....	14
3.	RESULTATS RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance)	19
3.1.	Campagnes aériennes et de terrain	19
3.2.	Classement des sites	20
3.2.1.	Dénombrement des sites concernés.....	20
3.2.2.	Evolution visuelle des échouages	24
3.2.3.	Echouages d'autres algues	31
3.2.4.	Sargasses	32
3.2.5.	Echouages « à risque »	33
3.3.	Estimation quantitative surfacique	35
3.3.1.	Evolution saisonnière des échouages d'ulves pour le suivi RCS 2020.....	35
3.3.2.	Evolution interannuelle des échouages d'ulves de 2008 à 2020	43

3.4.	Enquêtes sur les échouages et ramassages auprès des communes littorales	47
3.5.	Fiches web	47
3.6.	Classement DCE des différentes masses d'eau normandes	48
4.	RESULTATS RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel).....	54
4.1.	Campagnes aériennes et de terrain	54
4.2.	Classement des sites	54
4.1.	Estimation quantitative surfacique	55
4.1.1.	Evolution saisonnière des échouages d'ulves	55
4.1.2.	Evolution interannuelles des échouages d'ulves sur la saison 2020.....	60
4.2.	Indices d'eutrophisation.....	62
4.2.1.	Eléments d'interprétation des profils saisonniers	62
4.2.2.	Profils saisonniers des quotas	64
5.	Conclusions.....	71
5.1.	Partie RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance).....	71
5.2.	Partie RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel)	72
6.	Annexes	74

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure 1. Récapitulatif des actions menées dans le cadre des programmes de Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) et Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO).....	2
Figure 2. Photographie du 3 septembre 2020 sur le site de Gold Beach caractérisé par un dépôt d'algues important mais dominé par les algues rouges.....	5
Figure 3. Exemple d'un résultat de traitement de mosaïquage automatique de plusieurs photos aériennes sur les sites de Ver-Graye-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer. Cette mosaïque est caractérisée par des paramètres de contraste et luminosité homogènes et une résolution spatiale d'environ 30 cm.....	7
Figure 4. Carte des masses d'eau du bassin Seine-Normandie, suivies dans le cadre du programme RCS de l'indicateur « blooms de macroalgues opportunistes ». Les sites en violet correspondent au redécoupage, au sein des masses d'eau, des secteurs pouvant représenter un risque de développement d'algues vertes.	9
Figure 5. Cartographie des survols aériens effectués le long du littoral Seine-Normandie avec le parcours RCO (trajet bleu) et les 9 sites suivis et le parcours RCS (trajet bleu + orange).....	14
Figure 6. (A) Nombre de sites classés au moins une fois entre 2008 et 2020 sur le littoral Seine-Normandie. (B) Nombre total de classements par année, entre 2008 et 2020. (C) Détail du nombre de classement par inventaire et par année de suivi entre 2008 et 2020. Les lignes en pointillés rouges représentent la moyenne entre 2008 et 2020.	22
Figure 7. Répartition des sites classés et leurs occurrences sur les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS 2020.	23
Figure 8. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site du Becquet (port) pour l'année 2020.....	25
Figure 9. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Cap Lévi pour l'année 2020.	26
Figure 10. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de la pointe de Barfleur (port) pour l'année 2020.	27
Figure 11. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer pour l'année 2020.....	28
Figure 12. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer pour l'année 2020.	29
Figure 13. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Luc-Lion-sur-Mer pour l'année 2020.....	30
Figure 14. Photographies aériennes et de terrain des sites de Portbail (en mai), Pirou (en juillet) et Bretteville (en septembre) qui n'ont pas été classés.	31
Figure 15. Photographies aériennes et de terrain des sites de Barfleur (en mai), Gold Beach (en septembre) et Cap Lévi (en septembre) qui n'ont pas été classés.	32

Figure 16. Photographies aériennes et de terrain des sites de Saint-Vaast-la-Hougue (en mai), Grandcamp-Maisy (en mai et juillet) et Saint-Jouin-Bruneval (en juillet) impactés par des échouages de Sargasses.	33
Figure 17. Photographies aériennes et de terrain des sites de la pointe de Barfleur (en juillet), du port du becquet (en mai) et de Saint-Aubin-sur-Mer (en septembre), impactés par des échouages en état de putréfaction.	34
Figure 18. (A) Photographie aérienne du site de Ouistreham présentant un dépôt composé d'environ 70% d'algues vertes. (B) Comparaison interannuelle des surfaces cumulées pour les 3 inventaires de mai, juillet et septembre pour le site de Ouistreham.	36
Figure 19. Répartition des sites concernés par des échouages d'ulves par classe de surface (en ha équivalent 100%) de couverture pour le cumul annuel des trois inventaires de 2020 avec le rappel des données de 2019, 2018 et 2017.	38
Figure 20. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2020.	39
Figure 21. Répartition géographique des sites concernés : surfaces maximales observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2020.	40
Figure 22. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2020.	42
Figure 23. (A) Surfaces d'échouages par mois d'inventaire observées sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2019. (B) Surfaces cumulées totales annuelles des échouages observés sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2020. Les lignes en pointillés rouges représentent les moyennes interannuelles.	43
Figure 24. Surfaces interannuelles cumulées des 3 inventaires pour les 4 sites Gefosse-Fontenay, Grandcamp-Maisy, Gold Beach et Ver-Graye-sur-Mer dont les surfaces sont minimales en 2020.	44
Figure 25. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2020.	45
Figure 26. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2020.	46
Figure 27. Cartographie de l'état écologique des masses d'eau du littoral Seine-Normandie pour l'indicateur « Blooms de macroalgues opportunistes ».....	50
Figure 28. Evolution des surfaces d'ulves sur les 5 inventaires au cours de la saison 2020.	57
Figure 29. Surfaces cumulées des échouages d'ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l'année 2020. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.	58
Figure 30. Variations mensuelles des échouages d'ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l'année 2020. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.	59
Figure 31. Evolution interannuelle de la surface cumulée en ulves sur les 9 sites suivis entre 2014 et 2020. Le cumul correspond à la somme des 5 inventaires de mai à septembre.	60
Figure 32. Evolution interannuelle des surfaces mensuelles en ulves sur les 9 sites suivis. Les surfaces correspondent à la somme des 5 inventaires de mai à septembre.	61

Figure 33. Evolution interannuelle de la contribution relative des 9 sites suivis (en %) par rapport à la surface mensuelle totale en ulves pour les 5 inventaires de mai à septembre.....	61
Figure 34. Evolutions des surfaces d'ulves sur les 9 sites RCO superposées aux courbes des quotas azotés internes pour chaque site.	66
Figure 35. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2020 pour les sites de Jullouville-Saint-Pair, Barfleur, Gefosse-Fontenay. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).	67
Figure 36. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2020 pour les sites de Grandcamp-Maisy, Gold Beach et Ver-sur-Mer. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).	68
Figure 37. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2020 pour les sites de Courseulles-sur-Mer, Saint-Aubin-sur-Mer et Luc-sur-Mer. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).	69
Figure 38. Evolutions des surfaces d'ulves sur les 9 sites RCO superposées aux courbes des quotas phosphorés internes pour chaque site.....	70

Tables

Tableau 1. Récapitulatif des sites à marées vertes au sein des masses d’eau du littoral Seine-Normandie et leur typologie. Les masses d’eau ne comportant pas de sites à marées vertes sont notées nd. Les sites à marées vertes en gras représentent les 9 sites suivis dans le cadre du RCO.....	6
Tableau 2. Détails des seuils affectés aux différentes métriques permettant d’évaluer la qualité écologique des masses d’eau touchées par les marées vertes de type 1.....	10
Tableau 3. Détails des seuils affectés aux différentes métriques permettant d’évaluer la qualité écologique des masses d’eau touchées par les marées vertes de type 2.....	11
Tableau 4. Influence du type de marée verte sur le calcul de l’EQR DCE pour les masses d’eau bretonnes et normandes de type 2.	12
Tableau 5. Dates des acquisitions aériennes et des observations terrain pour les inventaires RCS de l’année 2020.....	19
Tableau 6. Récapitulatif des sites classés en 2020 pour les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS Seine-Normandie.....	21
Tableau 7. Surfaces estimées en ulves lors des 3 inventaires de l’année 2020 pour tous les sites classés comme concernés par des échouages d’ulves. Les surfaces sont exprimées en hectares équivalent 100 %.....	37
Tableau 8. Surfaces de couverture par les ulves par masse d’eau lors des trois inventaires RCS de l’année 2020. Les surfaces sont exprimées en hectare équivalent 100%).....	41
Tableau 9. Informations recueillies par l’enquête réalisée auprès des communes du littoral normand sur le ramassage des algues.....	47
Tableau 10. Classement DCE des masses d’eau à échouages d’algues vertes de type 1 du bassin Seine-Normandie sur la base de l’EQR macroalgues opportunistes (2015-2020). Les flèches rouges ou vertes indiquent l’évolution négative ou positive de l’EQR par rapport à la moyenne précédente calculée entre 2014 et 2019. Les signes = représentent les masses d’eau qui n’ont pas évolué.	49
Tableau 11. Classement DCE des masses d’eau à échouages d’algues vertes de type 2 du bassin Seine-Normandie sur la base de l’EQR macroalgues opportunistes (2015-2020). Les flèches rouges ou vertes indiquent l’évolution négative ou positive de l’EQR par rapport à la moyenne précédente calculée entre 2014 et 2019. Les signes = représentent les masses d’eau qui n’ont pas évolué.	49
Tableau 12. Dates des acquisitions aériennes et des observations terrain pour les inventaires RCO de l’année 2020.....	54
Tableau 13. Récapitulatif des sites classés en 2020 pour les 2 inventaires de juin et août du RCO Seine-Normandie.....	55
Tableau 14. Surfaces estimées en ulves lors des 2 inventaires RCO de l’année 2020 pour les 9 sites concernés par des échouages d’ulves. Les surfaces sont exprimées en hectares équivalent 100 %. Le cumul RCS+RCO représente la somme de toutes les surfaces d’ulves digitalisées sur les 5 inventaires (de mai à septembre).	55
Tableau 15. Liste des prélèvements qui n’ont pas pu être réalisés en 2020 en raison de l’absence de dépôt sur le terrain.....	64

Tableau 16. Récapitulatif des occurrences dont le quota interne en azote des ulves est passé sous le seuil critique Q_1N . La valeur en gras correspond au quota interne sous le seuil Q_0N 65

Annexes

Annexe 1. Etapes de traitements pour l'estimation des surfaces couvertes par les ulves sur un site classé.	76
Annexe 2. Questionnaire envoyé aux communes littorales pour évaluer les ramassages d'algues échouées.	78

1. CONTEXTE & OBJECTIFS

Programmes de contrôles pour l'élément de qualité « Blooms de macroalgues opportunistes »

Depuis 2008, le phénomène de proliférations d'algues opportunistes fait l'objet d'un suivi régulier sur les côtes normandes dans le cadre du Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS). La présence importante de ces algues et notamment des macroalgues vertes de type Ulves, reflète une eutrophisation du milieu. Ces suivis ont été confiés au CEVA ; qui était déjà en charge des suivis effectués sur le littoral du bassin Loire-Bretagne, afin de répondre aux exigences de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE) et ainsi permettre l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau.

Les résultats obtenus permettent d'une part, d'identifier les masses d'eau ne respectant pas le bon état écologique et d'autre part, de cibler les zones de ces masses d'eau les plus fortement touchées par ce phénomène de proliférations et nécessitant un suivi plus soutenu à travers la mise en place d'un Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO).

Les enjeux environnementaux et réglementaires de ces réseaux nécessitent donc d'assurer au cours du temps une reproductibilité à la fois d'un point de vue méthodologique et d'un point de vue de l'analyse et de l'interprétation des résultats. Les méthodologies déployées par le CEVA pour la mise en œuvre du RCS et du RCO sur le littoral du bassin Seine-Normandie a permis d'assurer une continuité avec les données précédemment acquises et de suivre les évolutions spatio-temporelles des échouages d'algues vertes.

Historique des suivis en Normandie

Sur les côtes bretonnes, le suivi des marées vertes a débuté à travers le programme régional Prolittoral entre 2002 et 2006 puis avec les programmes RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance) et RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel) à partir de 2007. Ces suivis ont permis de définir des stratégies et des outils spécifiques pour évaluer le phénomène des blooms d'algues vertes opportunistes et leurs évolutions spatiales et temporelles.

A la demande de la DIREN Basse-Normandie, un premier repérage aérien des secteurs touchés par ce phénomène a été effectué en juillet 2005 sur les côtes normandes. En 2006, deux autres survols ont été réalisés (en juillet et août) accompagnés de campagnes d'observations et de contrôles sur le terrain. Ces premières années de repérage ont permis de mettre en évidence la présence d'échouages d'algues relativement importants localisés sur certains sites (Granville, Gefosse-Fontenay, côte de Nacre), qui nécessitaient la mise en place d'un suivi régulier.

Les méthodologies définies pour le suivi des côtes bretonnes ont donc été adaptées et appliquées au littoral du bassin Seine-Normandie à travers le RCS à partir de 2008 (commandé par l'IFREMER) et du RCO à partir de 2014 (co-financement IFREMER/Agence de l'Eau Seine-Normandie). En 2016, les suivis RCS et RCO ont fait l'objet d'un marché commandité par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie qui a été attribué au CEVA jusqu'en 2018. Ces suivis ont ensuite été renouvelés pour les années 2019 et 2020.

Objectifs

L'objectif de cette étude est donc de poursuivre les suivis RCS et RCO dans le cadre de la DCE pour l'élément de qualité biologique « blooms de macroalgues opportunistes », sur le littoral du bassin Seine-Normandie. Les actions menées permettront d'évaluer et de suivre la qualité écologique des masses d'eau côtières pour les années 2019 et 2020.

2. MATERIELS & METHODES

Dans le cadre de la DCE, le suivi du paramètre biologique « blooms de macroalgues opportunistes » prévoit l'évaluation de la qualité écologique des masses d'eau côtières du littoral normand à travers le RCS. Une étude plus approfondie à travers le RCO a également été menée afin de déterminer l'évolution des indices d'eutrophisation sur 9 sites identifiés comme potentiellement à risque de non atteinte des objectifs environnementaux. Les programmes RCS et RCO comportent donc des actions spécifiques et complémentaires (Figure 1).

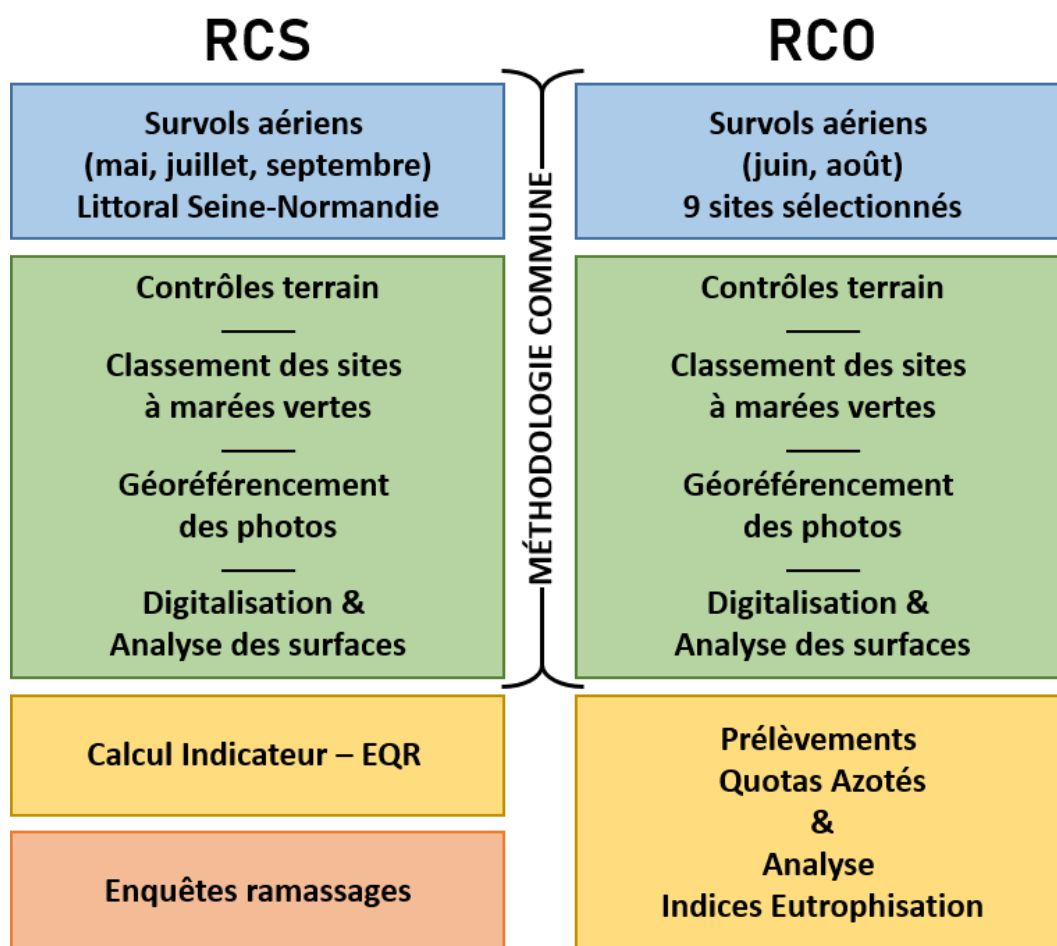


Figure 1. Récapitulatif des actions menées dans le cadre des programmes de Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) et Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO).

2.1. Actions communes RCS – RCO (Suivi des marées vertes)

Les méthodes et outils utilisés ont été mis au point par le CEVA dans le cadre du programme Prolittoral (2002-2006) de suivi des marées vertes sur les côtes bretonnes et appliqués sur les côtes normandes depuis 2008.

2.1.1. Organisation des campagnes aériennes

Les survols sont effectués au moyen d'un avion de type CESSNA ou d'un ULM de type virus, lors des marées basses de vives eaux, avec un coefficient supérieur à 75, et dans les meilleures conditions météorologiques (*i.e.* bonne visibilité, plafond nuageux suffisamment haut). Le plan de vol a été défini afin de parcourir tout le littoral du bassin Seine-Normandie à marée basse avec une pause d'environ 1h à l'aéroport de Cherbourg pour tenir compte du décalage de l'onde de marée en Manche. Les masses d'eau FRHC05 (Cap de la Hague Nord) et FRHC61 (Intérieur de la rade de Cherbourg) ne sont pas suivies en raison de l'interdiction de survoler cette zone. De même, la masse d'eau FRHC60 (Rade de Cherbourg) n'est que partiellement survolée pour les mêmes raisons.

Les acquisitions des photographies aériennes sont réalisées à une altitude entre 1500 et 3000 pieds avec des appareils photos munis de GPS pour géoréférencer les clichés. Des plans larges des sites ainsi que des plans zoomés sur les dépôts sont réalisés afin de reconstituer des mosaïques du littoral avec une résolution pouvant atteindre 30 cm. De retour à terre, les photos sont immédiatement transférées et dépouillées afin de sélectionner les sites et les dépôts qui feront l'objet de contrôles de terrain.

2.1.2. Organisation des contrôles terrain

Après le dépouillement des photos aériennes, les équipes de terrain sont rapidement (24 à 72h) mobilisées sur les sites et les dépôts sélectionnés pour contrôler la présence des échouages, leur importance et la présence d'ulves. Les appareils photos sont équipés de GPS afin de géolocaliser les clichés sur les différents sites, ou lorsque plusieurs points d'échantillonnage sont effectués sur un même site. Les opérateurs terrain relèvent également le type de dépôt (andains de haut de plage, tapis, rideau), les proportions des différentes algues en présence (algues vertes : AV, algues rouges : AR, algues brunes : AB), les proportions d'algues vertes (ulves) de types filamenteuses (anciennement « entéromorphe ») ou foliacées, le pourcentage de recouvrement des ulves dans l'échouage et le mode de croissance (forme « libre » ou « d'arrachage »). Des prélèvements peuvent être effectués afin de mieux caractériser les espèces algales composant les dépôts. L'ensemble des sites contrôlés font l'objet de fiches récapitulatives et sont archivées dans la base de données CEVA puis intégrées dans une base de données dédiée aux « Marées Vertes ».

2.1.3. Définition et classement des sites

Pour le suivi des échouages d'algues vertes le long du littoral, le CEVA a délimité, au sein des masses d'eau littorales, des « sites à marées vertes » définis selon la typologie de marée verte observée (types d'algues rencontrés, morphologie et continuité des dépôts, figure 4). Pour certaines masses d'eau,

aucun site à marées vertes n'a été défini car elles ne présentent pas de risque avéré pour les échouages d'algues vertes. La définition des sites, sur les côtes normandes, est basé sur les critères appliqués en Bretagne en tenant compte de 1/ la présence d'un échouage repéré par avion, 2/ des observations *in situ* confirmant la présence d'ulves et 3/ une discontinuité géographique, morphologique ou de composition avec un dépôt voisin (*e.g.* des dépôts séparés par une pointe rocheuse ou alimentés par des cours d'eau différents). Suite aux premiers survols des côtes normandes en 2005 et 2006 et aux observations terrain associées, le CEVA a pu définir des sites concernés par les marées vertes selon les types d'algues rencontrées, la morphologie des dépôts et leur continuité. Cependant, la morphologie du littoral et les types de dépôts observés sur le bassin Seine-Normandie sont différents de ce qui est observé sur le littoral Loire-Bretagne (*i.e.* le littoral normand présente généralement de longues et grandes plages ouvertes avec des dépôts plus ou moins continus et réguliers plutôt que des baies semi fermées comme c'est plus souvent le cas en Bretagne). La notion de « site concerné » doit donc être considérée avec attention en considérant des sites à marées vertes comprenant des grandes surfaces d'estran sableux, ainsi que des sites regroupant 7 ou 8 criques distinctes qui peuvent être considérées comme des sous-sites (*e.g.* comme c'est le cas pour le site « Pointe de Barfleur » sur la côte du Cotentin). Le dénombrement est une première approche qui permet d'alerter sur l'apparition de secteurs nouveaux, différents de sites préexistants, et de rendre un premier compte de l'extension des secteurs concernés d'une année (*e.g.* 4 sites concernés par des marées vertes ont récemment été ajoutés en 2019 sur le littoral Seine-Normandie : Le Becquet, Villers-sur-Mer, Saint-Pierre-en-Port et Yport). Sur le littoral du bassin Seine-Normandie, ce sont donc 33 sites à marées vertes qui ont été définis et répartis sur les 18 masses d'eau suivies (Tableau 1).

Ces sites à marées vertes sont suivis lors de chaque inventaire aérien et sont ensuite classés comme « **site touché** » par un échouage d'ulves selon 2 critères principaux :

- Une quantité anormale d'algues vertes détectable par avion.
- Un contrôle de terrain confirmant la présence d'ulves échouées et dont la proportion représente plus d'un tiers du dépôt (on considère que la prépondérance des algues vertes est un indicateur d'un dysfonctionnement potentiel de l'écosystème en lien avec un phénomène d'eutrophisation).

Il n'y a donc pas, à proprement parler, de superficie minimale pour qu'un site soit classé, si ce n'est le fait que l'échouage d'algues vertes doit être détectable par avion et visible sur les photos. Cela permet de considérer les sites émergents (« alerte précoce ») de petites tailles comme les sites plus importants. Le critère de proportion d'ulves au sein d'un dépôt est particulièrement sensible pour le classement des sites sur le littoral normand, car les échouages présentent régulièrement des proportions mixtes (mélange homogène d'algues brunes, rouges et vertes) voire dominés par des algues brunes ou rouges (Figure 2). Ces échouages, malgré leur importance, ne sont donc pas systématiquement comptabilisés pour le classement d'un site face aux marées vertes.

Tableau 1. Récapitulatif des sites à marées vertes au sein des masses d'eau du littoral Seine-Normandie et leur typologie. Les masses d'eau ne comportant pas de sites à marées vertes sont notées nd. Les sites à marées vertes en gras représentent les 9 sites suivis dans le cadre du RCO.

NOM MASSE D'EAU	CODE MASSE D'EAU	NOM SITE MAREE VERTE	TYPE MAREE VERTE
Archipel Chausey	FRHC01	nd.	nd.
Baie Du Mont-Saint-Michel - Centre Baie	FRHC02	St-Jean-Le-Thomas	1
		Jullouville-Saint-Pair	1
		Sud Granville	1
Ouest Cotentin	FRHC03	Nord Granville	1
		Brehal - Annoville	1
		Agon - Blainville	1
		Pirou	1
		Saint Germain - Bretteville	1
		Portbail - Carteret	1
Cap De Carteret - Cap De La Hague	FRHC04	Rozel	1
		Flamanville	1
		Siouville-Dielette	1
Rade de Cherbourg	FRHC60	Le Becquet	2
		Cap Levi	2
Cap Levy - Gatteville	FRHC07	Cap Levi	2
Barfleur	FRHC08	Pointe De Barfleur	2
Anse De Saint-Vaast La Hougue	FRHC09	Saint Vaast - Quineville	1
Baie Des Veys	FRHC10	Grandcamp-Maisy	2
		Utah Beach	2
Côte Du Bessin	FRHC11	Omaha Beach	2
		Port-En-Bessin	2
Côte De Nacre Ouest	FRHC12	Gold Beach	1
		Arromanches - Asnelles	1
		Ver-Graye-Sur-Mer	1
Côte De Nacre Est	FRHC13	Courseulles-Bernieres-Sur-Mer	1
		Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer	1
		Luc-Lion-Sur-Mer	1
Baie De Caen	FRHC14	Ouistreham	1
Côte Fleurie	FRHC15	Houlgate	1
		Villers-sur-Mer	1
Le Havre - Antifer	FRHC16	nd.	nd.
Pays De Caux Sud	FRHC17	Yport	2
		Saint-Pierre-en-Port	2
Estuaire De Seine	FRHT01-02	nd.	nd.
Estuaire De Seine - Aval	FRHT03	Villerville	1
Estuaire De l'Orne	FRHT04	nd.	nd.
Baie du Mont-Saint-Michel – Fond de baie	FRHT05	nd.	nd.
Baie Des Veys – Fond de baie	FRHT06	Gefosse-Fontenay	1
La Risle	FRHT07	nd.	nd.

2.1.4. Géoréférencement des photos

Les sites qui ont été classés comme « **site concerné** » par les échouages d'algues vertes font ensuite l'objet d'une estimation surfacique des dépôts et nécessitent donc le géoréférencement et le calage des photographies acquises lors des survols. Le nombre de photos pour reconstituer une mosaïque d'un site est variable et dépend de l'étendue de chaque secteur. Une fois importées sous SIG, les meilleures photos sont calées à partir d'au moins 10 points de référence (« amers »), disponibles dans une base de données constituée par le CEVA, et à l'aide des ortholittorales V2. Les mosaïques de photos créées pour chaque site concerné permettent d'obtenir une information spatiale fine et rectifiée des déformations liées aux acquisitions aériennes (*e.g.* photos acquises en vue oblique avec des échelles différentes entre le 1^{er} plan et l'arrière-plan) sur toute la partie de l'estran. Dans certains cas, lorsque les conditions d'acquisition et météorologiques ont été favorables, une méthode de calage semi-automatique basée sur des logiciels d'orthorectification d'images drone a été testée au CEVA. Cela a permis, pour certains inventaires, de constituer une mosaïque du littoral avec parfois plusieurs dizaines de photos (au niveau de la Côte de Nacre par exemple qui comprend plusieurs sites à marées vertes contiguës), avec une résolution de près de 30 cm et des paramètres de contraste et de luminosité homogènes (Figure 3). Ces premiers tests s'avèrent très concluants et confirme l'intérêt de faire évoluer la méthodologie et ainsi optimiser le temps de traitement.

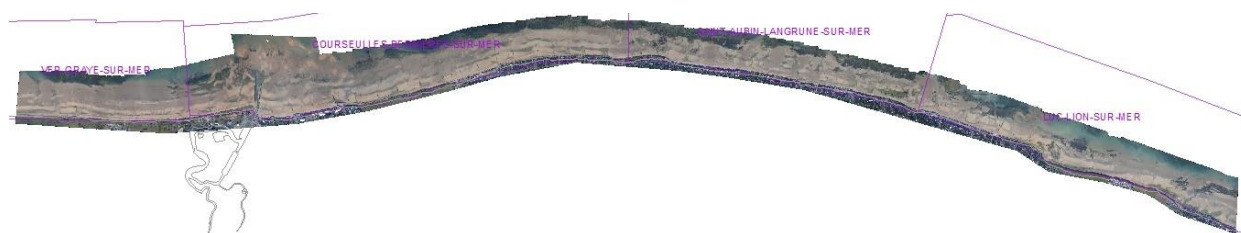


Figure 3. Exemple d'un résultat de traitement de mosaïquage automatique de plusieurs photos aériennes sur les sites de Ver-Graye-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer. Cette mosaïque est caractérisée par des paramètres de contraste et luminosité homogènes et une résolution spatiale d'environ 30 cm.

2.1.5. Digitalisation et détermination du taux de couverture

A partir des mosaïques de chaque site, tous les dépôts d'algues vertes, visibles sur les photos aériennes et contenant une proportion d'ulves supérieure à 30 % sont digitalisés par photo-interprétation à une échelle entre 1/2500^{ème} et 1/5000^{ème}. Les digitalisations distinguent les échouages d'algues formant des andains en haut de plage, les tapis sur l'estran et également les algues dans le rideau (algues flottant en bordure de mer). Pour chaque dépôt digitalisé, un taux de recouvrement des algues vertes a été attribué par photo-interprétation. Afin de garantir une homogénéité avec les données historiques, un catalogue illustrant les taux de recouvrement applicables en fonction des photos aériennes et de dépôts types (étalonnés par traitements d'images), a été constitué et sert de référence au CEVA.

Pour chaque polygone tracé (délimitant un dépôt d'algue homogène), la surface en « ha équivalent 100 % » a été calculée (taux de recouvrement x surface du dépôt) afin d'estimer la surface réellement couverte par les algues vertes et de réaliser des comparaisons intra/inter- annuelles et intra/inter- sites.

Toutes les données surfaciques sont ensuite compilées dans la base de données « Algues Vertes » afin de disposer pour chaque site et chaque inventaire :

- de la somme des surfaces constituées par le rideau
- de la somme des surfaces concernées par les dépôts d'ulves
- de la surface totale réellement couverte par les ulves (ha équivalent 100 %)

Le traitement des données issues de cette procédure permet l'analyse statistique et la cartographie des résultats pour chaque inventaire sur l'ensemble de la saison. **L'ensemble des étapes de traitements pour évaluer les surfaces d'ulves échouées pour un site classé est récapitulé dans l'annexe 1.**

Indicateur DCE (rappel)

Pour le calcul des indicateurs écologiques et l'évaluation de la qualité des masses d'eau, seules les surfaces d'ulves numérisées dans le cadre du RCS (aux mois de mai, juillet et septembre) sont comptabilisées. En effet, le suivi des surfaces des dépôts pour les inventaires de juin et août, dans le cadre du RCO, n'est pas exhaustif et ne concerne que les 9 sites prédéfinis. Les métriques et grilles d'évaluation ont été établies à l'échelle des masses d'eau qui se composent de plusieurs sites à marées vertes.

2.2. Actions spécifiques programme RCS

2.2.1. Littoral étudié RCS

La réalisation des survols aériens du RCS a pour objectif d'acquérir des photos aériennes exploitables pour quantifier les surfaces d'ulves échouées présentes en **mai, juillet et septembre** sur le littoral du bassin Seine-Normandie. Les acquisitions débutent au niveau de la baie du Mont-Saint-Michel et se termine au niveau de la baie de Somme (Figure 4). Les côtes de Haute-Normandie, FRHC16 (Le Havre – Antifer), FRHC17 (Pays de Caux Sud), et FRHC18 (Pays de Caux Nord), ne sont pas survolées pour l'inventaire de septembre à cause du manque de lumière au moment de la marée basse tardive à cette période de l'année. L'archipel des îles Chausey (FRHC01), ainsi que les masses d'eau de transition de l'estuaire amont de la Seine (FRHT01 et 02), de l'estuaire de l'Orne (FRHT04) et de La Risle (FRHT07) ne sont pas suivies car elles ne présentent pas de risque face aux marées vertes. Pour le suivi des échouages d'algues vertes, la méthodologie appliquée est celle décrite dans la partie 2.1.

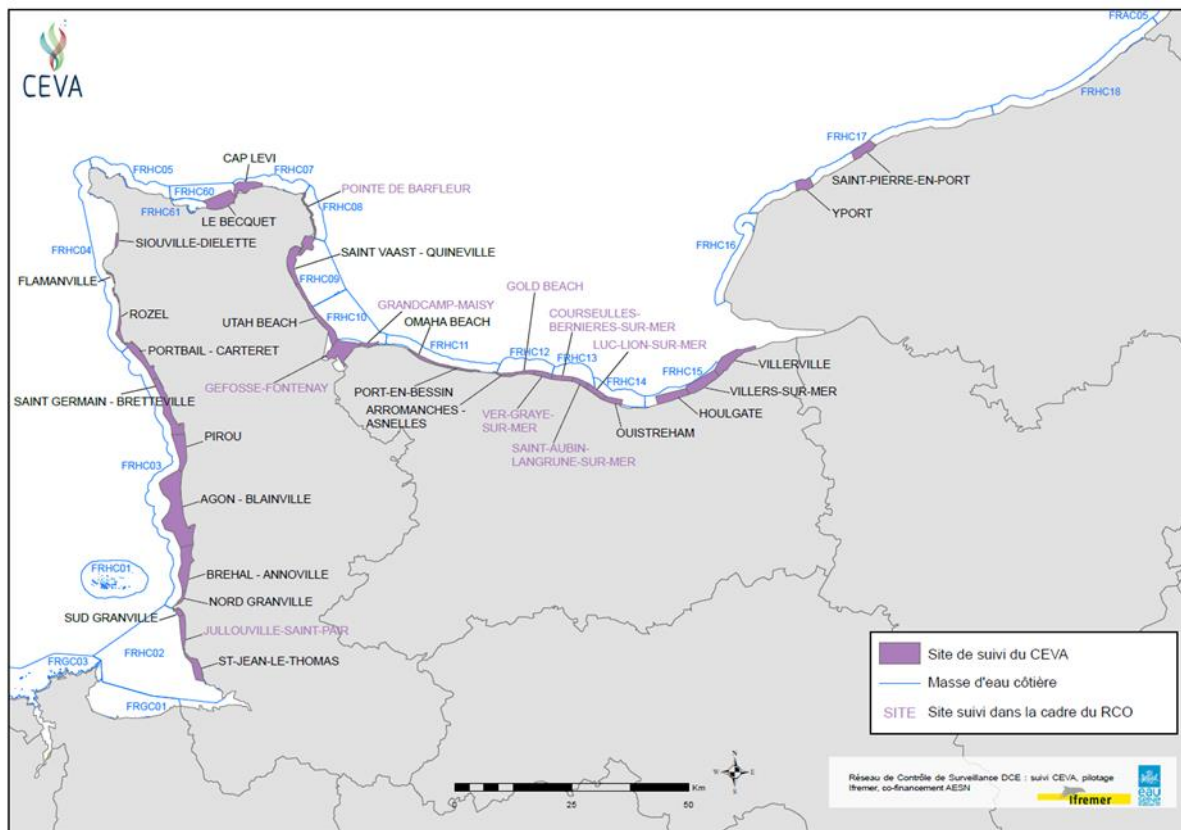


Figure 4. Carte des masses d'eau du bassin Seine-Normandie, suivies dans le cadre du programme RCS de l'indicateur « blooms de macroalgues opportunistes ». Les sites en violet correspondent au redécoupage, au sein des masses d'eau, des secteurs pouvant représenter un risque de développement d'algues vertes.

2.2.2. Indicateur « Blooms de macroalgues opportunistes »

L'indicateur pour l'élément de qualité « blooms de macroalgues opportunistes » a été développé par le CEVA, initialement pour les côtes bretonnes, puis adapté pour les différentes configurations de marées vertes rencontrées le long du littoral Manche/Atlantique. Une typologie des marées vertes a donc été décrite, en fonction notamment des types de côtes et de la morphologie des algues vertes. Pour les 3 types de marées vertes qui ont été définis, le calcul des métriques se base sur les surfaces de roches (substrat dur), les surfaces AIH (substrats meubles potentiellement colonisables correspondant aux surfaces de sable et de vase), et sur les surfaces des dépôts d'algues vertes (en unité « ha équivalent 100 % » de recouvrement). Pour la Normandie, seules des marées vertes de type 1 et de type 2 ont été observées sur le littoral dont les métriques sont détaillées ci-dessous (le type 3 correspond aux marées vertes sur les vasières, appliqué notamment pour les masses d'eau de transition).

2.2.2.1. Marées vertes de type 1

Les marées vertes de type 1 correspondent à un développement massif d'ulves dérivantes dont la reproduction végétative se fait de manière libre dans la colonne d'eau. Ces cas de marées vertes se produisent dans les grandes baies sableuses et les dépôts d'algues se retrouvent à la fois flottants,

formant un « rideau » au bord de l'eau, et échoués sur la plage. Pour les marées vertes de type 1, trois métriques ont été définies pour caractériser l'importance et la durée du bloom :

- **Métrique 1** : Pourcentage maximum de l'AIH (aire potentiellement colonisable) recouverte par les ulves.

Pour le calcul de cette métrique, la moyenne des maximums annuels de couverture algale (ha équi 100) est effectuée sur 6 ans. Lorsque les données ne sont pas disponibles sur 6 ans, la moyenne est calculée sur les années pour lesquelles des données existaient. La moyenne est ensuite divisée par l'AIH et multipliée par 100 pour avoir un résultat exprimé en pourcentage.

- **Métrique 2** : Pourcentage moyen de l'AIH recouverte par les ulves.

Pour le calcul de cette métrique, la moyenne des moyennes annuelles (moyennes des surfaces mesurées aux mois de mai, juillet et septembre) de couverture algale (ha équi 100) est effectuée sur 6 ans. La moyenne est ensuite divisée par l'AIH et multipliée par 100 pour avoir un résultat exprimé en pourcentage.

- **Métrique 3** : Fréquence des dépôts d'ulves dont la surface excède 1,5 % de l'AIH.

Le calcul de cette métrique s'effectue en divisant le nombre de fois où la surface des dépôts d'algues vertes (ha équi 100) est représentative d'un état écologique moyen (surface > 1,5 % de l'AIH) par le nombre total d'inventaires effectués. Le résultat est ensuite multiplié par 100 pour obtenir un pourcentage.

Les seuils de chacune des métriques ont été définis à dire d'expert et selon l'historique des données, en considérant que le très bon état écologique est associé à la quasi absence d'ulves. Suite au processus européen d'intercalibration, les seuils entre le Bon Etat et le Très Bon Etat ont été revus en 2017 et sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Détails des seuils affectés aux différentes métriques permettant d'évaluer la qualité écologique des masses d'eau touchées par les marées vertes de type 1.

Métrique 1 (%)	Métrique 2 (%)	Métrique 3 (%)	EQR	Etat écologique
[0-0.5[	[0-0.25[	[0-10[	[1-0.825[	Très bon
[0.5-1.5[	[0.25-0.75[	[10-30[	[0.825-0.617[	Bon
[1.5-4[	[0.75-2[	[30-60[	[0.617-0.4[	Moyen
[4-10[	[2-5[	[60-90[	[0.4-0.2[	Médiocre
[10-100]	[5-100]	[90-100]	[0.2-0]	Mauvais

La liste des sites concernés par des marées vertes de type 1, pour le bassin Seine-Normandie, est récapitulée dans le tableau 1.

2.2.2.2. Marées vertes de type 2

Les marées vertes de type 2 se produisent également majoritairement dans les grandes baies sableuses. Cependant, à la différence des marées vertes de type 1, les ulves ont eu une première phase de

croissance fixée sur un platier rocheux puis elles ont été décrochées du substrat lors d'épisodes de tempêtes. Les algues ainsi arrachées se retrouvent échouées sur les plages, généralement à proximité des platiers rocheux. Trois métriques ont été décrites pour caractériser les marées vertes de type 2 :

- **Métrique 1** : Pourcentage des dépôts printaniers d'ulves (mai) par rapport à la surface de substrat rocheux.

Le mois de mai a été choisi car les échouages à cette période sont représentatifs du développement algal printanier sur les platiers rocheux. Cette métrique se calcule par la moyenne des surfaces algales de mai (ha équi 100) sur 6 ans. La moyenne est divisée par l'aire du substrat rocheux.

- **Métrique 2** : Pourcentage moyen des dépôts estivaux d'ulves (juillet-septembre) par rapport à la surface de substrat rocheux.

Cette métrique est dépendante du développement algal moyen ayant lieu sur les platiers rocheux au cours de la saison estivale et d'un apport excessif d'éléments nutritifs dans le milieu. Elle se calcule par la moyenne des moyennes des surfaces d'algues de juillet à septembre (en ha équi 100) sur 6 ans. La moyenne est divisée par l'aire du substrat rocheux.

- **Métrique 3** : Pourcentage maximum de substrat meuble touché par des échouages d'ulves.

Cette métrique permet de qualifier l'importance des échouages au niveau du substrat sableux au maximum annuel. Elle se calcule par la moyenne des maximums des surfaces algales en juillet et septembre (ha équi 100) sur 6 ans. La moyenne est ensuite divisée par l'aire du substrat sableux compris dans l'estran.

Les seuils de chacune des métriques ont été définis à dire d'expert et selon l'historique des données, en considérant que les algues vertes ne doivent représenter qu'une très faible proportion des algues qui se développent sur le substrat rocheux. Les critères de chaque métrique sont présentés dans le tableau 3.

Tableau 3. Détails des seuils affectés aux différentes métriques permettant d'évaluer la qualité écologique des masses d'eau touchées par les marées vertes de type 2.

Métrique 1 (%)	Métrique 2 (%)	Métrique 3 (%)	EQR	Etat écologique
[0-1[	[0-0.5[	[0-0.5[	[1-0.8]	Très bon
[1-2[	[0.5-1[	[0.5-1.5[	[0.8-0.6]	Bon
[2-10[	[1-5[	[1.5-4[	[0.6-0.4]	Moyen
[10-20[	[5-10[	[4-10[	[0.4-0.2]	Médiocre
[20-100]	[10-100]	[10-100]	[0.2-0]	Mauvais

La liste des sites concernés par des marées vertes de type 2, pour le bassin Seine-Normandie, est récapitulée dans le tableau 1.

Influence des types de marées vertes sur le calcul des indicateurs DCE

Un travail a été mené au CEVA en 2012 (Rossi, 2012)¹ afin d’appliquer la typologie de marées vertes définie aux masses d’eau bretonnes et normandes suivies dans le cadre de la DCE. Cette étude a comparé l’influence des métriques et des calculs selon les types 1 et 2 de marées vertes sur le résultat final de l’indice écologique (EQR) et le classement des masses d’eau (Tableau 4). Dans la majorité des cas, le calcul des marées vertes de type 2 est plus favorable pour la qualité de la masse d’eau car la surface du substrat rocheux est prise en compte et permet donc d’être plus représentatif du site concerné.

Tableau 4. Influence du type de marée verte sur le calcul de l’EQR DCE pour les masses d’eau bretonnes et normandes de type 2.

Code ME	Données utilisées	EQR Final Type 1	EQR Final Type 2
FRGC13	2006-2011	0.79	0.86
FRGC28	2006-2011	0.83	0.88
FRGC32	2006-2011	0.63	0.66
FRGC38	2006-2011	0.95	0.96
FRGC42	2006-2011	0.99	0.99
FRGC44	2006-2011	0.81	0.76
FRGC45	2006-2011	0.87	0.84
FRGC46	2006-2011	0.87	0.93
FRGC47	2008-2011	0.53	0.65
FRGC50	2008-2011	0.98	0.97
FRGC51	2008-2011	0.91	0.93
FRHC07	2008-2011	0.69	0.79
FRHC08	2008-2011	0.25	0.53
FRHC10	2008-2011	0.78	0.78
FRHC11	2008-2011	0.89	0.88

2.2.3. Enquêtes sur le ramassage

Un formulaire d’enquête a été envoyé à toutes les communes littorales de la Normandie en début d’année 2021. Il aborde les constatations d’échouages sur le littoral communal et les ramassages éventuellement entrepris : volume, type d’algue, coûts engendrés, moyens de ramassage et destination des algues. Notons les limites de ces enquêtes dont les résultats restent toutefois nécessaires à prendre en compte (éventuellement pour le suivi du SDAGE, mais aussi car ils peuvent, au moins sur certains sites, influencer les indicateurs surfaciques relevés par ailleurs). La qualité des données récoltées est en

¹ Rossi, 2012. Domaine d’application et validation des grilles d’évaluation de la qualité des masses d’eau côtières et de transition élaborées dans le cadre de la DCE. Élément de qualité biologique « macroalgues opportunistes ».

effet très variable : les volumes peuvent provenir d'estimations de masse ou de volume, ou ne sont pas disponibles lorsqu'une remise à la mer est effectuée, la proportion en algues vertes est difficilement quantifiée, et les méthodes d'évaluation des coûts peuvent parfois être hétérogènes selon les communes. Malgré cette variabilité, les informations relevées permettent d'appréhender dans les grandes lignes les volumes collectés et leur évolution au fil des ans. Le questionnaire envoyé aux communes est disponible en annexe 2. Depuis 2020, le CEVA a mis en place un questionnaire électronique en ligne accessible sur le site internet du CEVA (<https://www.ceva-algues.com/document/questionnaire-algues-vertes/>) afin de remplacer le questionnaire papier et faciliter les réponses et leur traitement.

2.2.4. Fiches web

Depuis fin 2020 et en concertation avec l'Agence de l'Eau Seine Normandie, une carte interactive du littoral normand a été mise en ligne par le CEVA (<https://www.ceva-algues.com/document/algues-vertes-en-normandie/>) mettant à disposition des fiches récapitulatives relatives à chaque site suivi sur le littoral Seine-Normandie. Ces fiches ont pour but d'améliorer la dissémination des informations acquises dans le cadre des missions de suivis des échouages d'algues et d'obtenir les informations essentielles pour chaque site (*i.e.* photos aériennes et terrain, proportions moyennes des algues vertes, rouges, brunes, historiques des échouages, fréquence des échouages, localisation des dépôts, surfaces annuelles d'algues vertes, indice écologique des échouages de macroalgues). Ces données sont désormais également disponibles sur le site de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie (http://www.eau-seine-normandie.fr/qualite-de-l-eau/qualite-des-eaux-littorales/surveillance_echouage_algues).

2.3. Actions spécifiques programme RCO

2.3.1. Littoral étudié RCO

Les campagnes aéroportées du programme RCO sont réalisées en **juin** et **août** afin de renforcer les suivis sur des sites classés (et considérés comme étant à risque de non atteinte des objectifs environnementaux), et de disposer d'informations mensuelles durant la période principale d'échouage (*e.g.* évolution interannuelle, durée et dynamique de la prolifération). Le suivi RCO concerne 9 sites répartis sur les côtes de la Manche et du Calvados (Tableau 1 et figure 5) qui ont été sélectionnés en raison des surfaces et des occurrences d'échouages d'algues vertes relevées les années antérieures. Pour le suivi des échouages d'algues vertes, la méthodologie appliquée est celle décrite dans la partie 2.1.

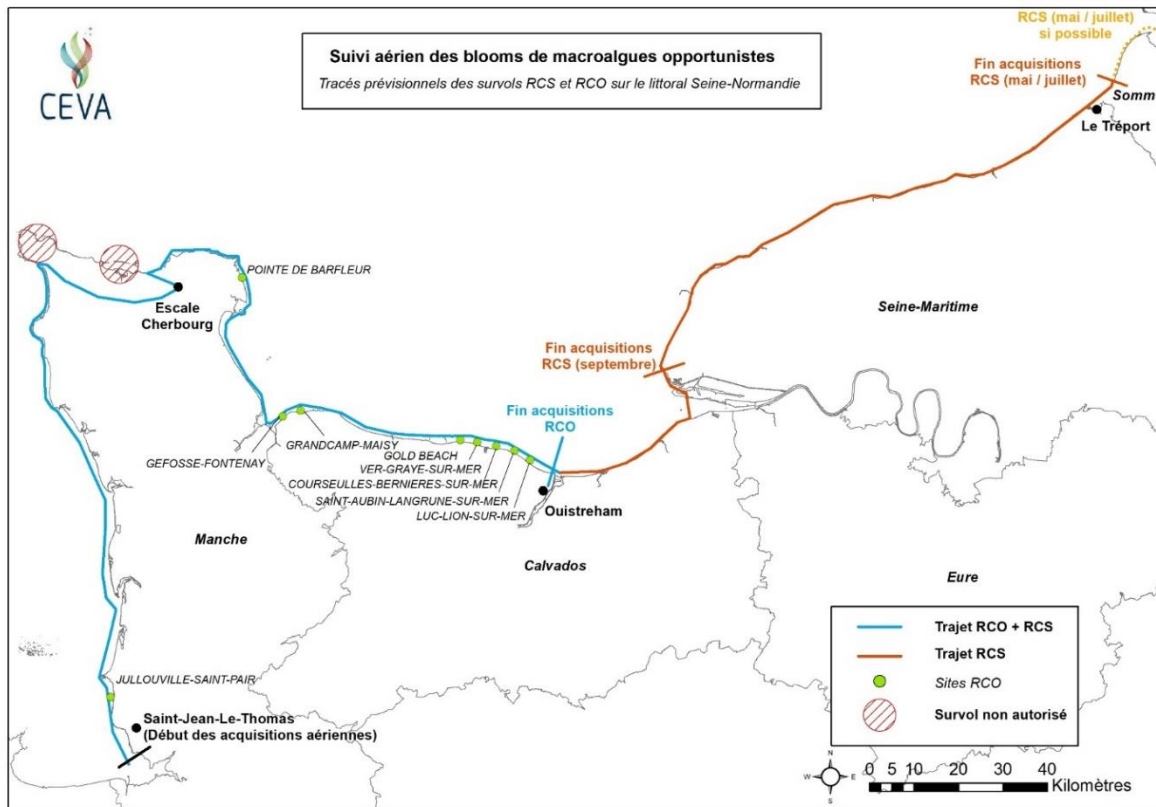


Figure 5. Cartographie des survols aériens effectués le long du littoral Seine-Normandie avec le parcours RCO (trajet bleu) et les 9 sites suivis et le parcours RCS (trajet bleu + orange).

2.3.2. Indices d'eutrophisation

Principe

La mesure du niveau d'eutrophisation des différents sites de prolifération d'ulves est possible par une analyse saisonnière des teneurs internes des ulves en azote et phosphore. Le principe d'utilisation de cet indicateur biochimique repose sur l'existence d'une relation entre ces quotas azotés et phosphorés et la croissance de l'algue, relation lui conférant un caractère d'indicateur nutritionnel de croissance. Il permet de manière générale d'analyser l'action limitante des flux d'azote (N) et de phosphore (P) sur la croissance des ulves en période estivale, en relation avec certains facteurs climatiques.

L'analyse saisonnière des quotas internes des algues permet plus particulièrement :

- d'établir un état de référence nutritionnel pour le degré d'eutrophisation atteint dans le site, en mesurant le niveau de saturation de la croissance des algues par les sels nutritifs. Ce niveau traduit aussi la sensibilité du site à des apports supplémentaires en sels nutritifs, comme sa résilience potentielle à des mesures préventives (en cas de sursaturation de la croissance) ;
- de mettre en place un indicateur de suivi pour contrôler en continu l'effet de mesures préventives sur le bassin versant. Cet effet peut s'observer sur la composition chimique des algues avant même de pouvoir être mesuré sur la croissance ou la biomasse d'algues produites ;

- de mettre en évidence, dans certains sites, une aggravation pluriannuelle de la situation alors que la « marée verte apparente » mesurable par les stocks en place semble ne plus évoluer.

Techniquement, cette méthode consiste à analyser l'évolution des teneurs en azote ou en phosphore des ulves, par rapport :

1. à des quotas critiques (notés Q_1N pour l'azote et Q_1P pour le phosphore), en dessous desquels la croissance des algues est limitée par N ou P,
2. à des quotas de subsistance (notés Q_0N pour l'azote et Q_0P pour le phosphore) à partir desquels la croissance devient nulle (Dion et al., 1996).

Ces valeurs de quotas ont été consolidées à partir d'expérimentations réalisées au CEVA sur *Ulva armoricana* (CEVA 2009, 2010, 2011) et sont en accord avec les données de la littérature issues d'expérimentations sur différentes espèces d'ulves (Villares et Caballeira, 2004 ; Daalsgard et Krause-Jensen, 2006). La méthode de référence pour le dosage de l'azote est la méthode Kjeldahl. La méthode utilisée pour le phosphore est un dosage par spectrométrie couplée à un plasma inductif (ICP).

Pour l'azote, il est considéré que 80 à 100 % de la croissance maximale est maintenue au-dessus d'un quota critique (Q_1N) de 2 % de la matière sèche (M.S), et que la croissance s'annule en-dessous d'un quota de subsistance (Q_0N) de 1 % de la M.S.

Pour le phosphore, il est considéré que la croissance commence à être limitée en dessous de 0,12 % de la MS (Q_1P) et qu'elle s'annule en dessous de 0,05 % de la MS (Q_0P).

Il est également convenu que les différentes espèces d'ulves, présentes sur les différents sites, possèdent les mêmes caractéristiques de quotas limitants qu'*Ulva armoricana*, espèce la plus répandue dans les proliférations d'ulves et qui est la seule à avoir fait l'objet d'investigations précises pour la détermination de ses quotas internes critiques et de subsistance.

Prélèvement, traitement et analyse des échantillons

Les algues ont été prélevées deux fois par mois entre début-mai et début-septembre, représentant donc un total de 9 campagnes de prélèvements pour chacun des 9 sites du suivi RCO. Ces points de prélèvements sont fixes et ont été déterminés d'après les suivis des années antérieures : zones présentant des échouages réguliers et des algues en bon état physiologique, avec un estran accessible pour les opérateurs.

À chaque date et lieu de prélèvement, les algues ont été échantillonnées à marée basse, au niveau de la masse d'algues flottantes de bas de plage (rideau). Sept à dix échantillons de 20 à 50 g (poids frais) ont été récoltés, à chaque fois que les quantités d'algues présentes le permettaient, à une dizaine de mètres les uns des autres, puis rassemblés en un seul lot dans un sac de prélèvement.

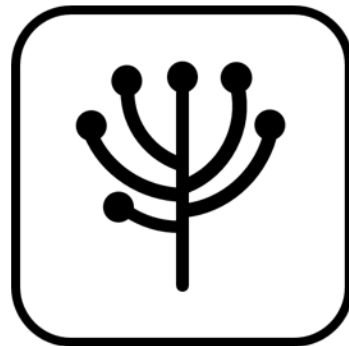
De retour au laboratoire, les lots ont été conditionnés : nettoyage dans un ou plusieurs bains d'eau de mer, rinçage rapide à l'eau distillée pour éliminer le sel, congélation des échantillons à -20 °C et lyophilisation. Avant chaque analyse, les lots ont été homogénéisés au broyeur. Chaque lot a fait l'objet d'une analyse sur matière sèche de l'azote Kjeldahl et du phosphore total. L'ensemble des dosages est réalisé par Upscience, laboratoire agréé COFRAC, sous-traitant du CEVA.

Enquêtes
ramassage
**Algues
Vertes**

Indicateur
Macroalgues
Opportunistes
MAO

Evaluation
Surfacique
**Algues
Vertes**

RCS



Réseau de Contrôle de Surveillance

3. RESULTATS RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance)

3.1. Campagnes aériennes et de terrain

Pour l'année 2020, les 3 vols prévus dans le cadre du RCS ont été réalisés avec succès (Tableau 5) selon les critères recommandés (coefficient de marée >75, horaire +/- 45 min par rapport à l'heure de la basse mer, etc.). L'ensemble des sites suivis ont été photographiés en intégralité avec des clichés exploitables pour les traitements sous SIG lorsque cela est nécessaire (e.g. calage, détermination des surfaces des échouages).

Les observations et échantillonnages sur le terrain ont été réalisés rapidement à la suite des vols tels que préconisés dans la méthodologie de surveillance. Cette réactivité entre les équipes en vol et les équipes de terrain est primordiale, notamment sur les côtes normandes où l'hydrodynamisme peut entraîner des déplacements importants et rapides des sédiments et des dépôts d'algues, parfois à l'échelle de temps d'une marée. Les observations terrain ont permis d'élaborer 59, 55 et 33 fiches de synthèse pour les mois de mai, juillet et septembre respectivement. Ces fiches renseignent sur tous les dépôts qui nécessitaient une vérification *in situ* et peuvent donc correspondre à plusieurs dépôts différents pour un même site. Pour une même fiche, il peut y avoir plusieurs dépôts différents qui ont été visités puisqu'au total, 179 dépôts ont été vérifiés.

Tableau 5. Dates des acquisitions aériennes et des observations terrain pour les inventaires RCS de l'année 2020.

Inventaire RCS	Date du vol	Coefficient de marée	Littoral survolé	Date des observations <i>in situ</i>	Nombre de fiches réalisées
MAI	06/05/2020	97	Saint-Jean-le-Thomas > Le Tréport	7-8/05/2020	59
JUILLET	06/07/2020	85	Saint-Jean-le-Thomas > Baie de Somme	7-8/07/2020	55
SEPTEMBRE	01/09/2020	78	Saint-Jean-le-Thomas > Le Havre	2-3/09/2020	33

3.2. Classement des sites

3.2.1. Dénombrement des sites concernés

Le classement des sites, qui est notamment basé sur une proportion d'ulves jugée « anormale » (supérieure à 30%) dans un échouage identifié par avion, est particulièrement sensible sur le littoral Seine-Normandie qui présente des échouages souvent mixtes (mélanges d'algues vertes, rouges, brunes). En 2020, plusieurs sites touchés par des échouages importants d'algues rouges n'ont pas été classés car la proportion en algues vertes était inférieure à 30 % malgré l'importance des échouages.

Pour l'ensemble des 3 inventaires du RCS 2020, sur les 33 sites du littoral Seine-Normandie, 23 sites ont été classés au moins 1 fois comme concernés par des échouages d'ulves (Tableau 6), c'est le maximum depuis le début des suivis. Parmi eux, 6 sites ont été classés à 3 reprises, 4 lors de 2 inventaires et 13 pour seulement 1 inventaire. Entre 2008 et 2020, en moyenne ce sont environ 18 sites qui sont classés par année de suivi avec 16 sites au minimum et 23 sites au maximum (année 2020). L'année 2020 fait donc partie des 5 années avec plus de 20 sites classés (en 2010, 2011, 2013 et 2017) au moins une fois (Figure 6A). En comparant le nombre total de classement, l'année 2020 compte 38 sites contre une moyenne de 39 sites entre 2008 et 2019 (Figure 6B). L'année 2020 est donc légèrement en-dessous de la moyenne entre les années avec le moins de sites classés (29 sites en 2008, 31 sites en 2013) et le nombre record de classement de 49 sites en 2017.

Un des indicateurs pour estimer la précocité et la durée des évènements de marées vertes est un nombre de classements supérieur aux classements moyens de mai et septembre. Sur les 13 dernières années de suivi, 11 sites ont été classés en moyenne en mai et environ 14 en juillet et septembre (Figure 6C). Les années 2016, 2017 et 2019 ont à la fois débuté tôt dans la saison, dès le mois de mai et se sont terminées tard, jusqu'en septembre. L'année 2020 semble donc démarrée tôt avec de nombreux sites classés en mai, mais ne se prolonge pas dans le temps car moins de sites ont été classés en fin de saison.

Les sites classés pour l'année 2020 se répartissent surtout sur le nord du Cotentin (avec notamment le Becquet, Cap Lévi et la Pointe de Barfleur) et sur les côtes de Nacre, fleuries et de Grâce (depuis Gefosse-Fontenay et jusqu'à Ouistreham) (Figure 7). Comme pour les années précédentes, l'ouest du Cotentin est très peu touché par des échouages d'ulves. Par rapport aux années précédentes, les sites les plus représentés se retrouvent touchés, notamment pour 6 d'entre eux (Le Becquet, Cap Lévi, la pointe de Barfleur, Courseulles-Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer) mais certains sites représentatifs n'ont été classés qu'à une seule reprise (Arromanches – Asnelles, Gold Beach, Ver-Graye-sur-Mer). Cela peut en partie s'expliquer par la forte proportion des algues rouges dans les dépôts qui n'ont pas permis de classer ces sites.

Tableau 6. Récapitulatif des sites classés en 2020 pour les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS Seine-Normandie.

Sites	Inventaire MAI	Inventaire JUILLET	Inventaire SEPTEMBRE	Occurrence 2020	Rappels		
					2019	2018	2017
Saint-Jean-le-Thomas				1			1
Jullouville-Saint-Pair				2	2	2	3
Sud Granville				1	2	3	2
Nord Granville				1			1
Brehal - Annoville							
Agon - Blainville							
Pirou							
Saint Germain - Bretteville							
Portbail - Carteret							
Rozel							
Flamanville							
Siouville-Dielette				1		1	2
Le Becquet				3	2		
Cap Levi				3	1	3	2
Pointe De Barfleur				3	3	3	3
Saint Vaast - Quineville				1	1	3	2
Utah Beach				1	1	0	1
Gefosse-Fontenay				2	3	3	3
Grandcamp-Maisy				1	3	3	2
Omaha Beach							
Port-En-Bessin					3	2	3
Arromanches - Asnelles				1	2	2	2
Gold Beach				1	3	2	3
Ver-Graye-Sur-Mer				2	2	2	3
Courseulles-Bernieres-Sur-Mer				3	3	3	3
Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer				3	3	3	3
Luc-Lion-Sur-Mer				3	3	3	3
Ouistreham				1	2	1	3
Houlgate				1			1
Villers-sur-Mer							
Villerville				1	2		2
Yport				1			
Saint-Pierre-en-Port				2	1		

A. Le Bris, C. Daniel, Loïc Cellier, Sylvain Ballu & S. Richier (2020)

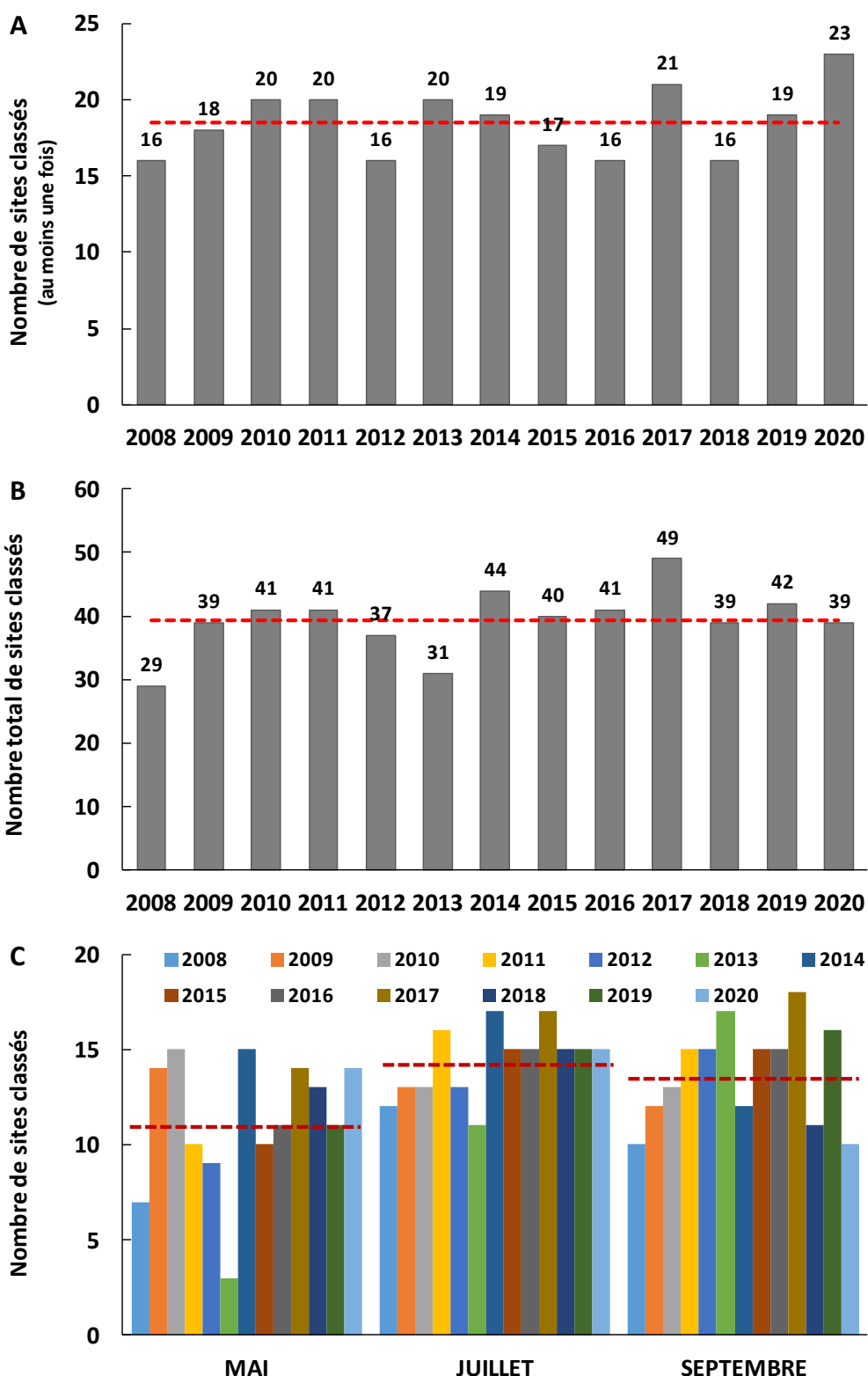


Figure 6. (A) Nombre de sites classés au moins une fois entre 2008 et 2020 sur le littoral Seine-Normandie. (B) Nombre total de classements par année, entre 2008 et 2020. (C) Détail du nombre de classement par inventaire et par année de suivi entre 2008 et 2020. Les lignes en pointillés rouges représentent la moyenne entre 2008 et 2020.

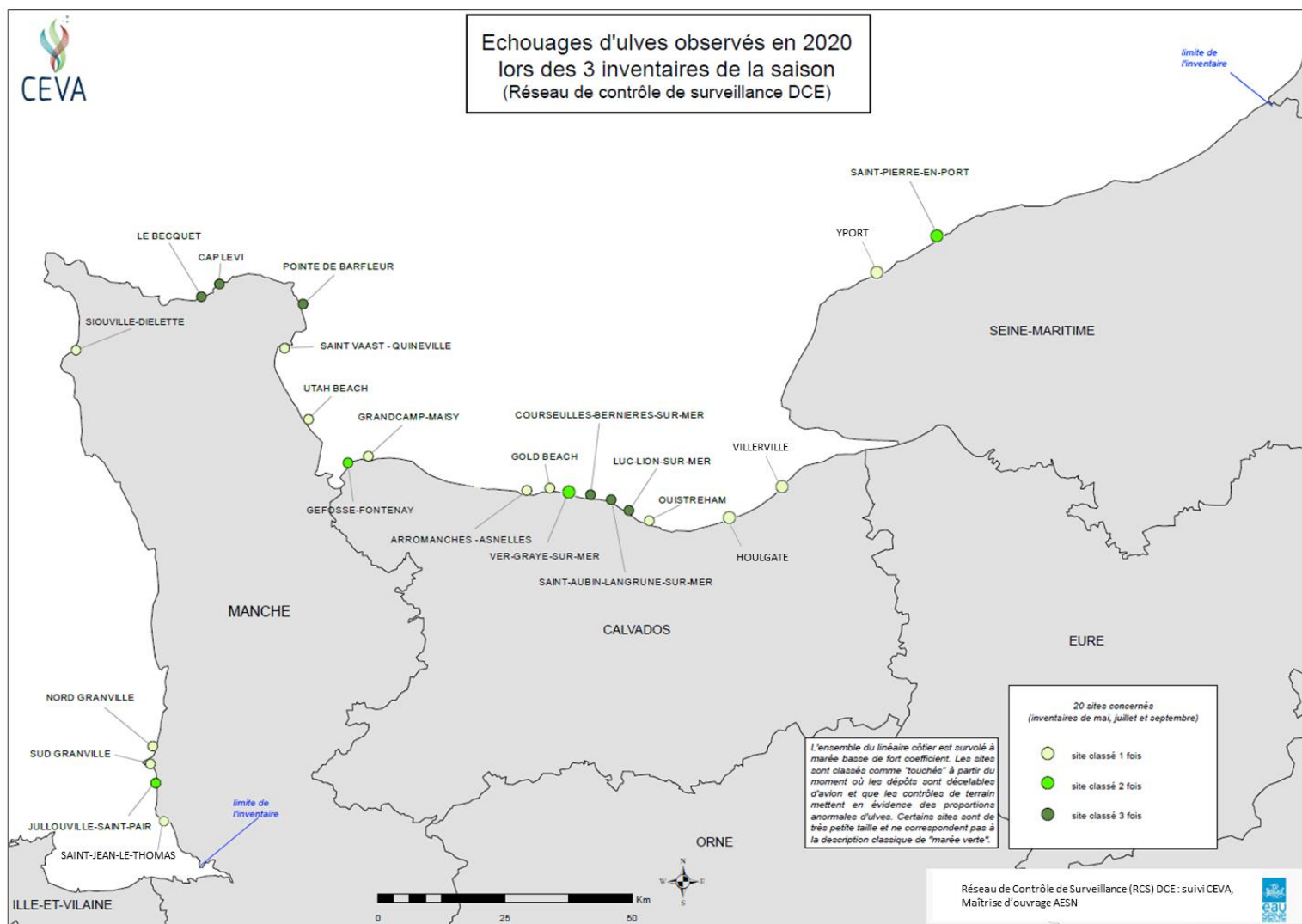


Figure 7. Répartition des sites classés et leurs occurrences sur les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS 2020.

3.2.2. Evolution visuelle des échouages

Au cours de la saison 2020, 6 sites ont régulièrement été touchés par des échouages d'ulves impliquant un classement en « site concerné » pour les 3 inventaires de mai à septembre et pour lesquels un aperçu visuel et temporel est donné dans les figures 8 à 13 ci-dessous. Les pourcentages de recouvrement correspondent aux observations du dépôt faites sur le terrain pour chaque type d'algues (brunes, rouges, vertes) sans considérer les espèces, tandis que la surface globale (en hectares équivalent 100%) comprend uniquement les ulves pour tous les dépôts digitalisés sur l'ensemble du site en question. Les proportions des algues peuvent être variables entre les sites ainsi que pour un même site selon le mois d'inventaire. La localisation des dépôts est également variable au sein d'un site et pour le même inventaire. Pour tous les autres sites qui n'ont été classés qu'une à deux fois ou non classés, la proportion en algues vertes dans les dépôts était insuffisante ou la biomasse était négligeable.

Le Becquet

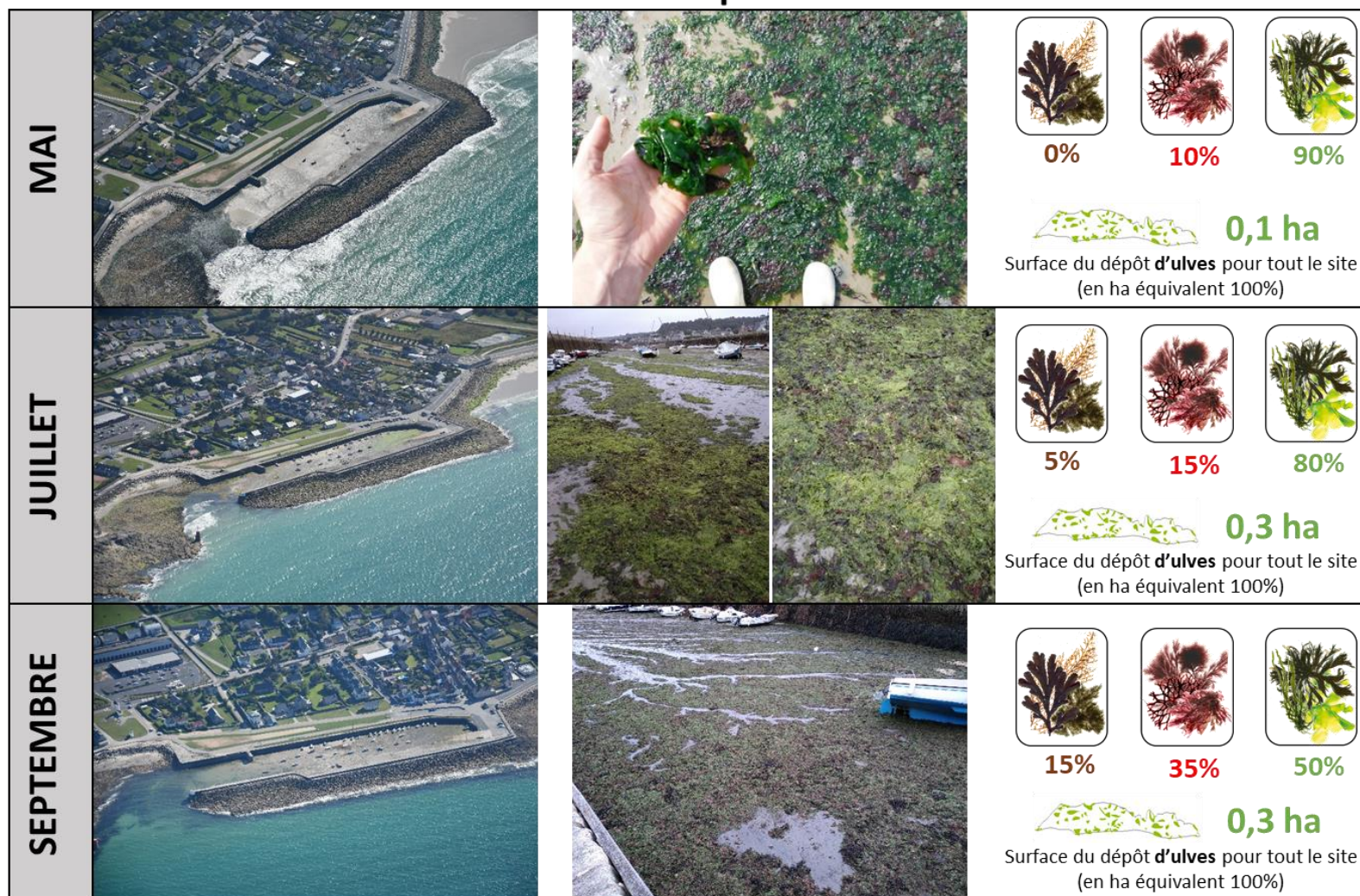


Figure 8. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site du Becquet (port) pour l'année 2020.

Cap Lévi



Figure 9. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Cap Lévi pour l'année 2020.

Pointe de Barfleur (Port)

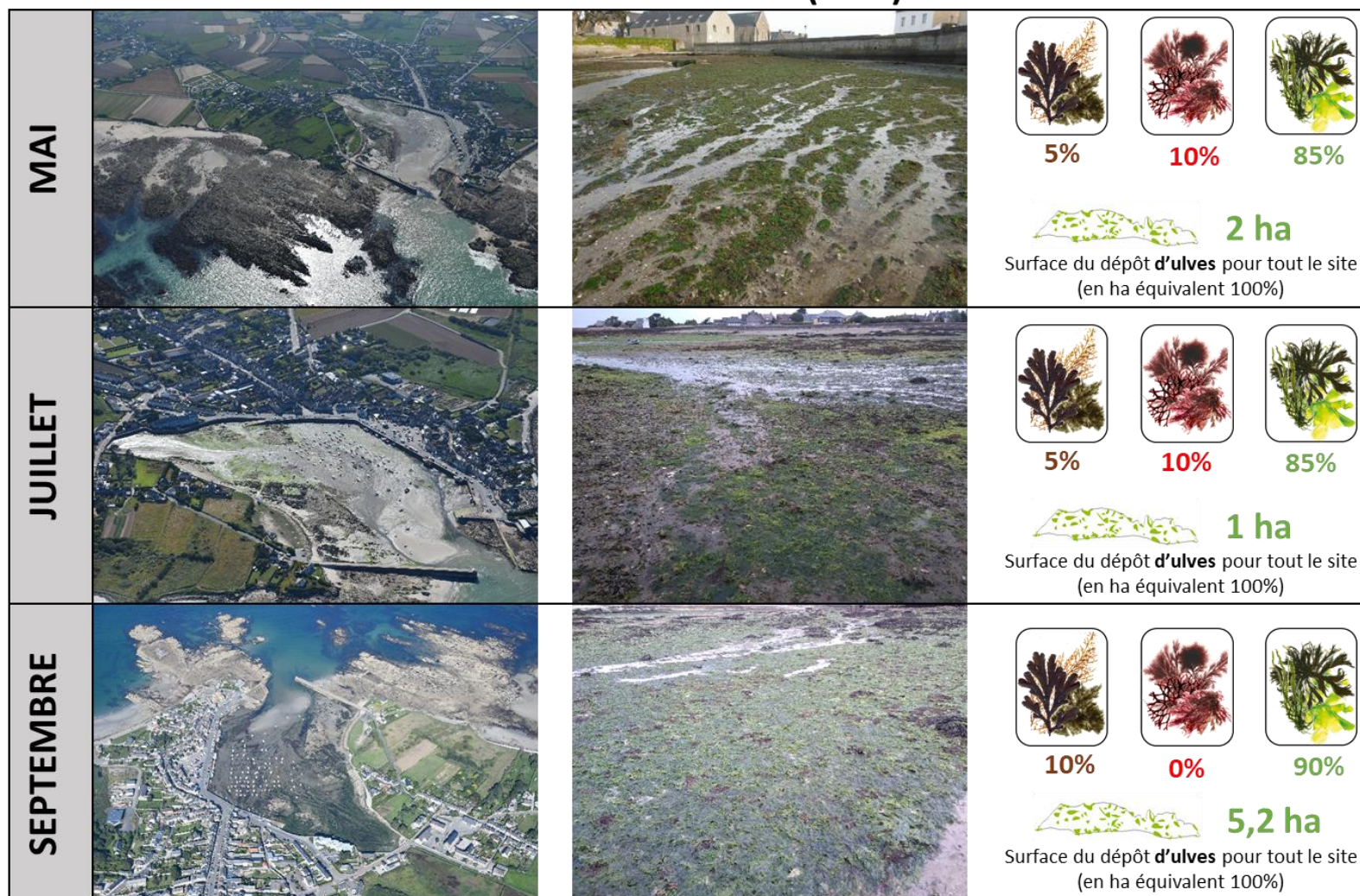


Figure 10. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de la pointe de Barfleur (port) pour l'année 2020.

Courseulles-Bernières-sur-Mer



Figure 11. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer pour l'année 2020.

Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer

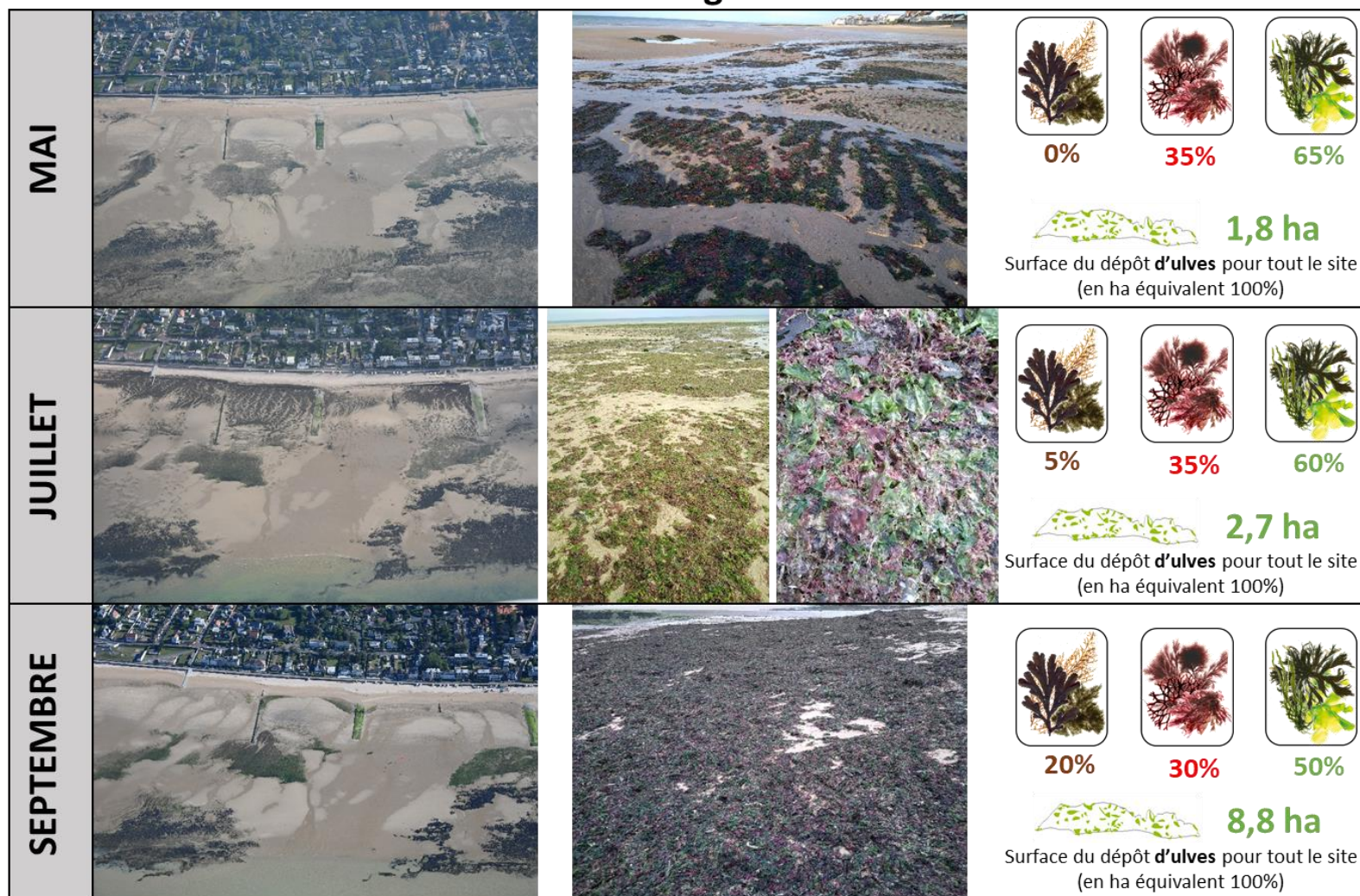


Figure 12. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer pour l'année 2020.

Luc-Lion-sur-Mer

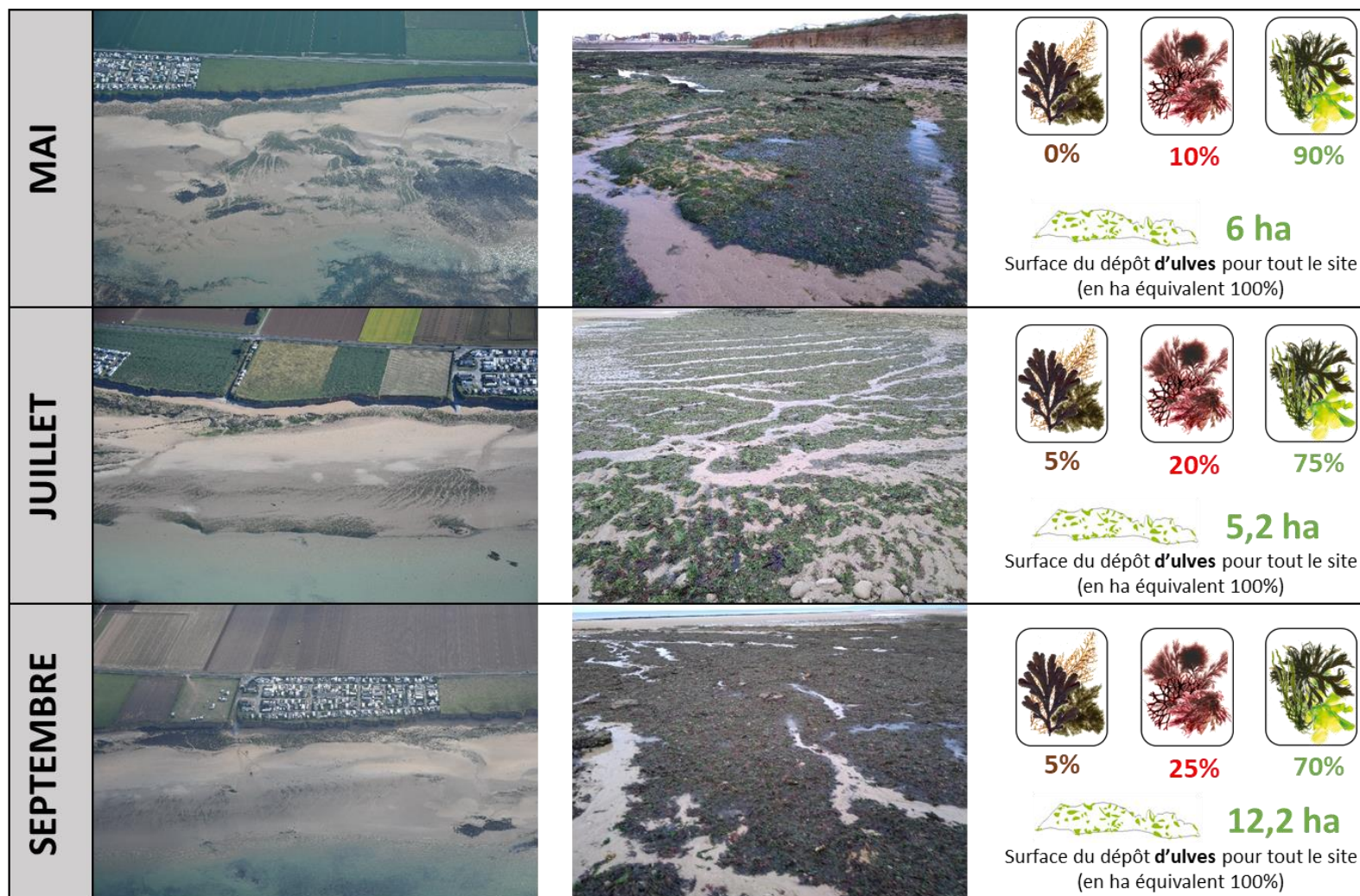


Figure 13. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Luc-Lion-sur-Mer pour l'année 2020.

3.2.3. Echouages d'autres algues

3.2.3.1. Algues brunes / rouges

Les dépôts d'algues localisés sur les côtes normandes sont régulièrement caractérisés par un mélange plus ou moins homogène d'algues brunes, rouges, vertes. Sans dominance des ulves, le site n'est pas classé et donc non considéré dans le cadre du suivi marées vertes. Sur la partie ouest du Cotentin, les dépôts sont souvent caractérisés par des algues brunes et cela a à nouveau été le cas en 2020 (Figure 14). Les dépôts ont généralement été diffus avec la présence de quelques andains épais de haut de plage composés de laisse de mer.



Figure 14. Photographies aériennes et de terrain des sites de Portbail (en mai), Pirou (en juillet) et Bretteville (en septembre) qui n'ont pas été classés.

L'année 2020 a également été marquée par de nombreux échouages composés majoritairement d'algues rouges sur tout le long du littoral, qui a limité le nombre de classement des sites. En effet, malgré l'importance de ces échouages, avec des épaisseurs de plusieurs dizaines de centimètres, qui peuvent causer des nuisances locales, ils ne sont pas pris en compte dans les inventaires marées vertes. Cela a notamment été le cas pour plusieurs plages des sites de la pointe de Barfleur, Gold Beach, Cap Lévi (Figure 15) ou d'autres sites tels que Arromanches-Asnelles, Ver-Graye-sur-Mer et Grandcamp-Maisy selon les inventaires.

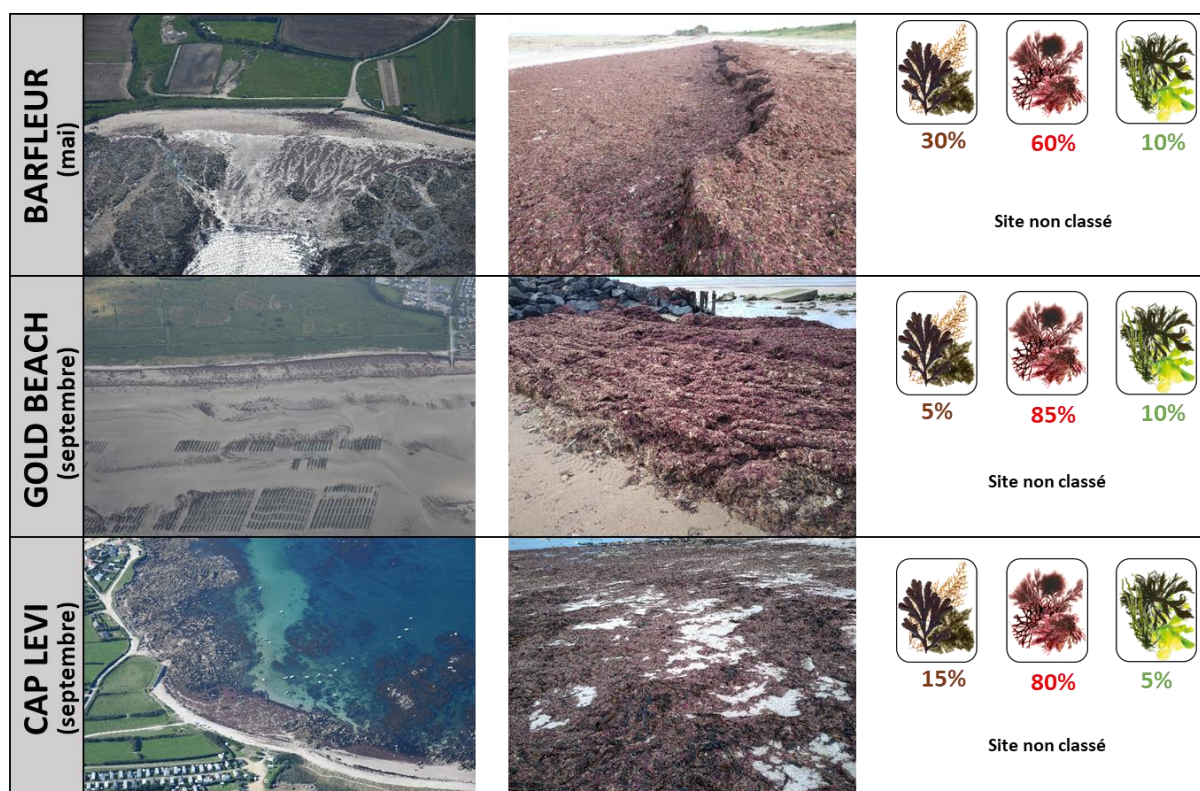


Figure 15. Photographies aériennes et de terrain des sites de Barfleur (en mai), Gold Beach (en septembre) et Cap Lévi (en septembre) qui n'ont pas été classés.

3.2.4. Sargasses

Des échouages de Sargasses (*Sargassum muticum*) ont à nouveau été observés au cours de l'année 2020. Ces algues se développent particulièrement bien sur certaines parties des côtes normandes en raison des platiers rocheux relativement plats et vastes. Elles se développent principalement dans les crevasses des roches qui restent immergées à marée basse, laissant affleurer ces algues en surface qui peuvent atteindre plusieurs mètres de long. Lorsque ces Sargasses sont arrachées des platiers, les dépôts peuvent parfois former d'épais andains en haut de plage. Sur le site de Grandcamp-Maisy des échouages éparses dès le mois de mai ont été repérés puis d'autres plus importants lors des inventaires de juillet et août. Le site de Saint-Vaast-la-Hougue a aussi présenté des dépôts de Sargasses ainsi qu'une plage au niveau de Saint-Jouin-Bruneval en Seine-Maritime (Figure 16).



Figure 16. Photographies aériennes et de terrain des sites de Saint-Vaast-la-Hougue (en mai), Grandcamp-Maisy (en mai et juillet) et Saint-Jouin-Bruneval (en juillet) impactés par des échouages de Sargasses.

3.2.5. Echouages « à risque »

Les échouages, qu'ils soient majoritairement composés d'ulves ou d'autres types d'algues, peuvent, lorsqu'ils s'accumulent pendant plusieurs jours, engendrer des nuisances visuelles, olfactives et finir par se décomposer en entraînant des émanations de gaz H_2S qui peuvent être toxiques. En 2020, la présence d'émanation d' H_2S a été relevée à seulement 3 reprises au nord du Cotentin et sur la côte de Nacre (Figure 17). Les concentrations ont cependant été importantes, de 10 ppm dans le port du Becquet, 24 à 86 ppm pour la plage de Roubary et 77,1 ppm entre les épis en haut de la plage de Saint-Aubin-sur-Mer. Les mesures ont été effectuées à la surface du sédiment ou du dépôt d'algues en présence et de telles concentrations peuvent causer des troubles de la santé (toux, irritation des yeux, perte de l'odorat) après quelques minutes d'exposition. Sur d'autres sites, des odeurs de décomposition, caractéristiques de la présence d' H_2S , ont été ressenties mais le détecteur n'a pas révélé la présence de ce gaz.



Figure 17. Photographies aériennes et de terrain des sites de la pointe de Barfleur (en juillet), du port du becquet (en mai) et de Saint-Aubin-sur-Mer (en septembre), impactés par des échouages en état de putréfaction.

3.3. Estimation quantitative surfacique

3.3.1. Evolution saisonnière des échouages d'ulves pour le suivi RCS 2020

AVANT-PROPOS

En termes de surface d'échouage d'ulves, l'année 2020 est une année **exceptionnellement faible**. Ceci s'explique par :

- des plages touchées par des échouages mixtes dont la proportion en algues vertes de type ulve est inférieure à 30 %. Ces sites sont donc non classés pour le suivi marées vertes et les dépôts ne sont pas digitalisés (malgré des biomasses importantes).

- des dépôts globalement moins denses que les années précédentes avec plus de sites dont les surfaces de dépôts sont inférieures à 5 ha et aucun site avec des dépôts supérieurs à 40 ha.

- l'inventaire de juillet qui contribue habituellement à, en moyenne, plus de 33% des surfaces totales des 3 inventaires, ne contribue en 2020 qu'à hauteur de 15%. Les observations aériennes ont montrées qu'au moins de juillet, les plages, même sur les sites habituellement très chargés, étaient relativement propres.

- les sites habituellement contributeurs ont été globalement moins touchés. C'est le cas pour Gefosse-Fontenay, Grandcamp-Maisy, Gold Beach et Courseulles-Bernières-sur-Mer.

Le suivi annuel de la prolifération d'ulves comprend le recensement du nombre de sites concernés par des échouages massifs d'ulves ainsi que l'estimation des surfaces d'estran recouvertes par ces algues. Cet indice surfacique permet d'établir des comparaisons intra- et inter-annuelles pour chaque inventaire et chaque site. L'unité choisie pour les comparaisons des surfaces est l'hectare en équivalent 100% de recouvrement en ulves. Les surfaces des inventaires de mai, juillet et septembre pour l'année 2020, ainsi que le cumul et le maximum annuel est présenté dans le tableau 7 pour chacun des sites qui ont été classés. Le cumul annuel est très variable selon les sites avec des surfaces minimales de 0,1 ha pour les sites de Siouville-Dielette et du Becquet (à l'intérieur des ports) et jusqu'à **33,3 ha** pour le site de **Ouistreham**. La plage de Ouistreham a été classée une seule fois cette année pour un dépôt très important observé au mois de septembre et qui constitue **un record de surface** pour l'année 2020 en comparaison des autres sites. C'est également un record pour le site de Ouistreham sur la période 2008 à 2020 (Figure 18).



B

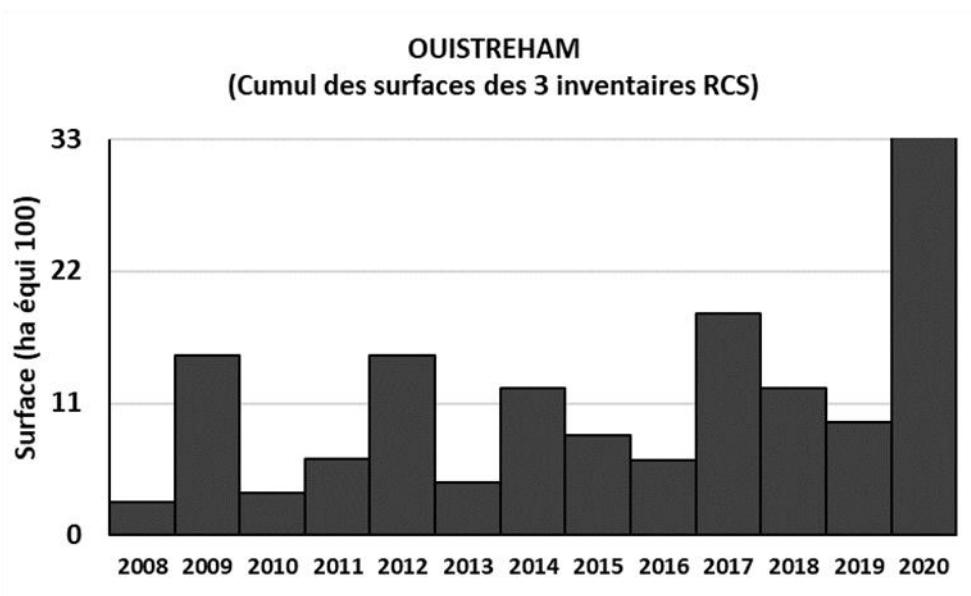


Figure 18. (A) Photographie aérienne du site de Ouistreham présentant un dépôt composé d'environ 70% d'algues vertes. (B) Comparaison interannuelle des surfaces cumulées pour les 3 inventaires de mai, juillet et septembre pour le site de Ouistreham.

Tableau 7. Surfaces estimées en ulves lors des 3 inventaires de l'année 2020 pour tous les sites classés comme concernés par des échouages d'ulves. Les surfaces sont exprimées en hectares équivalent 100 %.

Sites	Mai (ha)	Juillet (ha)	Septembre (ha)	Cumul annuel (ha)	Maximum annuel (ha)
Saint-Jean-le-Thomas			0,8	0,8	0,8
Jullouville-Saint-Pair		3,4	3,4	6,8	3,4
Sud Granville		0,5		0,5	0,5
Nord Granville		0,5		0,5	0,5
Brehal - Annoville					
Agon - Blainville					
Pirou					
Saint Germain - Bretteville					
Portbail - Carteret					
Rozel					
Flamanville					
Siouville-Dielette	0,1			0,1	0,1
Le Becquet	0,1	0,3	0,3	0,7	0,3
Cap Levi	1,2	0,4	0,2	1,8	1,2
Pointe De Barfleur	2,0	1,0	5,2	8,3	5,2
Saint Vaast - Quineville		0,1		0,1	0,1
Utah Beach		0,4		0,4	0,4
Gefosse-Fontenay		2,6	4,9	7,5	4,9
Grandcamp-Maisy		1,5		1,5	1,5
Omaha Beach					
Port-En-Bessin					
Arromanches - Asnelles	4,7			4,7	4,7
Gold Beach	2,2			2,2	2,2
Ver-Graye-Sur-Mer	0,4	2,0		2,4	2,0
Courseulles-Bernieres-Sur-Mer	12,3	3,7	20,6	36,7	20,6
Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer	1,8	2,7	8,8	13,2	8,8
Luc-Lion-Sur-Mer	6,0	5,2	12,2	23,4	12,2
Ouistreham			33,3	33,3	33,3
Houlgate	0,1			0,1	0,1
Villers-sur-Mer					
Villerville	0,7			0,7	0,7
Yport	0,1			0,1	0,1
Saint-Pierre-en-Port	0,1	0,2		0,3	0,2
TOTAL	31,8	24,5	89,8	146,1	

Les surfaces cumulées pour les 3 inventaires sont relativement faibles, notamment en juillet avec une surface d'échouage de seulement 24,5 ha qui est le niveau le plus bas jamais enregistré depuis le début des suivis. Pour l'année 2020 et sur les 23 classements, la plupart des sites sont caractérisés par des surfaces d'ulves faibles inférieures à 5 ha (16 sites) ou à 5-10 ha (3 sites) en comparaison des années précédentes (Figure 19). Les sites de 10-20 ha (1 site) et jusqu'à 40 ha (3 sites) sont peu représentés par rapport à 2017, 2018 et 2019 et aucun site dont les surfaces d'échouage sont supérieures à 40 ha n'a été rencontré cette année. En 2019, les sites de Gefosse-Fontenay, Gold Beach, Courseulles-Bernières-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer comptaient respectivement 40,3 ha, 49,9 ha, 90,2 ha et 49,7 ha. Le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer habituellement le plus touché avec, sur les 3 dernières années, plus de 60 ha d'échouages d'algues vertes, présente seulement 38,5 ha en 2020.

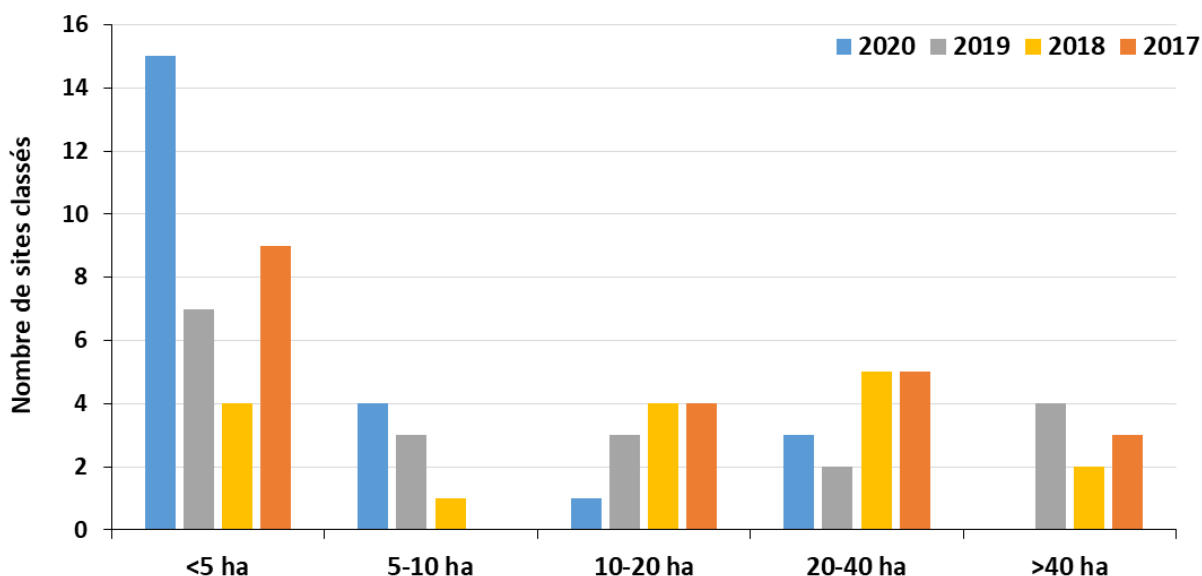


Figure 19. Répartition des sites concernés par des échouages d’ulves par classe de surface (en ha équivalent 100%) de couverture pour le cumul annuel des trois inventaires de 2020 avec le rappel des données de 2019, 2018 et 2017.

Les informations surfaciques sont récapitulées et synthétisées sur les cartographies ci-dessous représentant les surfaces cumulées (Figure 20) et maximales (Figure 21) observées sur l’ensemble des 3 inventaires.

Les échouages principaux se concentrent sur la côte de Nacre à partir de Courseulles-Bernières-sur-Mer et jusqu’à Ouistreham. Les sites situés plus à l’ouest (de Gefosse-Fontenay à Ver-Graye-sur-Mer) ont été moins touchés que les années précédentes. Les sites de Barfleur et Cap Lévi ont également été légèrement touchés mais principalement au niveau des zones d’activités et de mouillages. Les plages et criques aux alentours de ces sites présentaient généralement des dépôts d’algues rouges qui n’ont pas été comptabilisés. Le port du Becquet, malgré des surfaces faibles, est un site désormais récurrent où l’on observe des dépôts d’algues vertes qui s’accumulent et se décomposent au fond du port. Les petits sites de Yport et Saint-Pierre-en-Port sont également parfois visités car des dépôts présentant des mélanges d’algues « hachées/fragmentées » sont régulièrement observés (Figure 21).

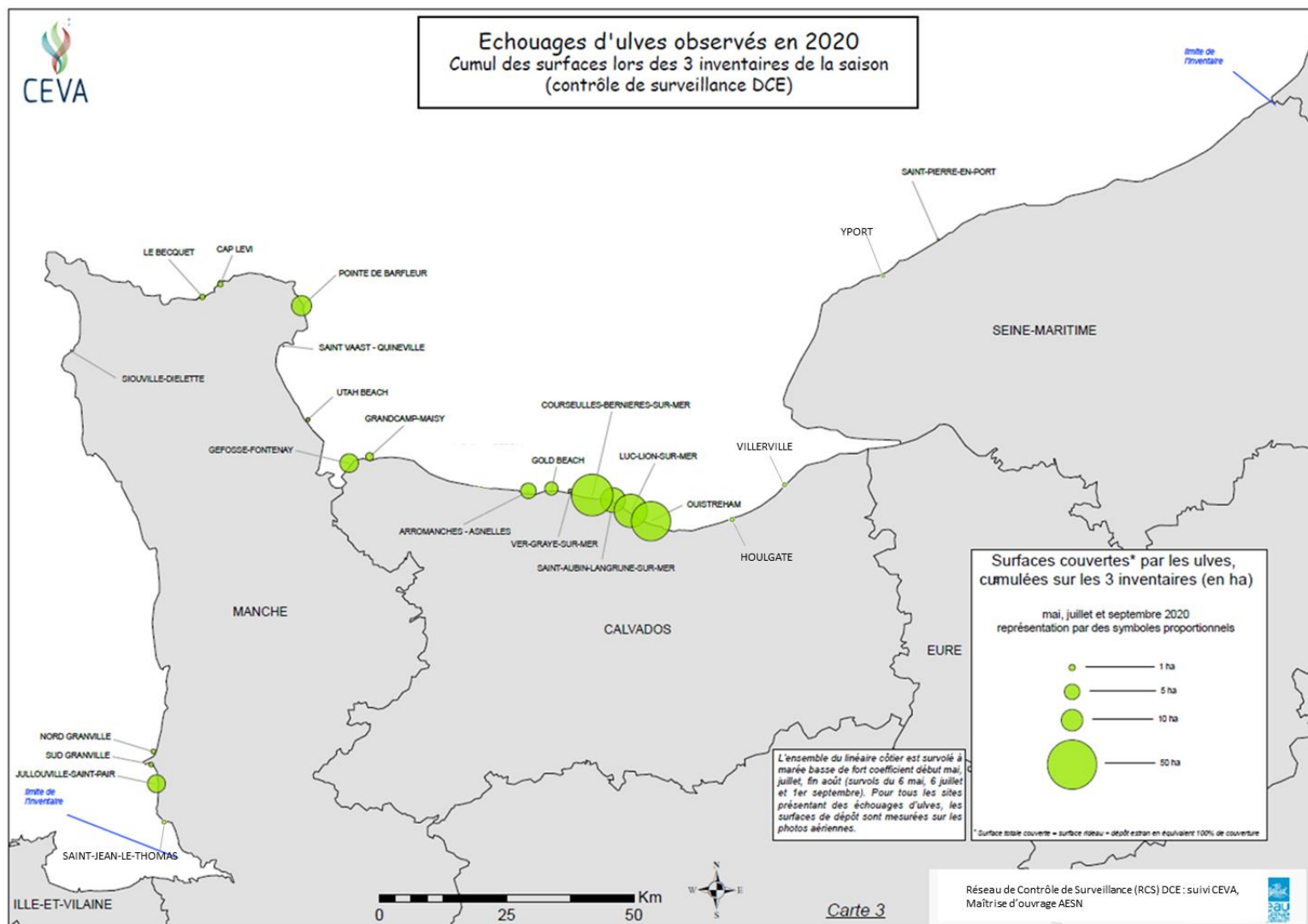


Figure 20. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2020.

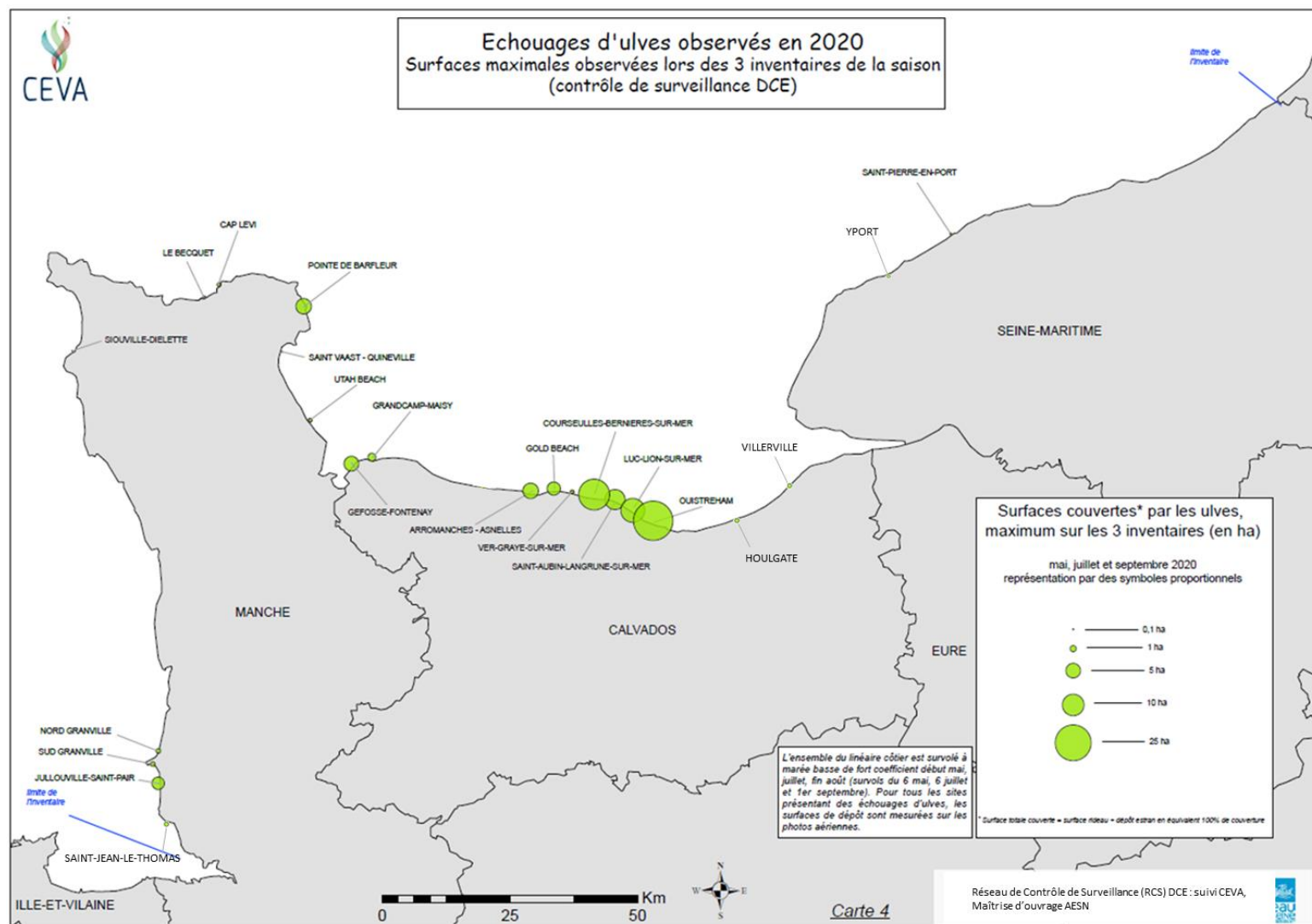


Figure 21. Répartition géographique des sites concernés : surfaces maximales observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2020.

Les surfaces délimitées au sein des sites à marées vertes (définies par le CEVA) ont été ré-analysées selon le découpage des masses d'eau du littoral Seine-Normandie afin de suivre l'état écologique de ces masses d'eau selon le paramètre biologique « bloom de macroalgues opportunistes » (de type ulves) tel que prévu dans le cadre de la DCE (Tableau 8 et Figure 4). Les masses d'eau les plus sévèrement touchées par les échouages sont la côte de Nacre est et ouest (FRHC 13 et 14) avec respectivement un total de 62,1 et 46,2 hectares d'ulves (Figure 22). Ces masses d'eau regroupent les sites de Courseulles-Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer, Luc-Lion-sur-Mer et Ouistreham. Cette année, les autres masses d'eau ont été très peu touchées par des marées vertes car les secteurs de Barfleur (FRHC08), Gold Beach et Ver-Graye-sur-Mer (FRHC12) et Gefosse-Fontenay (FRHT06) enregistraient moins de 10 ha d'algues vertes. Toutefois, des échouages d'autres algues, notamment d'algues rouges, avec des surfaces et biomasses importantes ont été observés sur ces sites.

Tableau 8. Surfaces de couverture par les ulves par masse d'eau lors des trois inventaires RCS de l'année 2020. Les surfaces sont exprimées en hectare équivalent 100%.

Masses d'Eau	Nom	Mai (ha)	Juillet (ha)	Septembre (ha)	Cumul annuel (ha)
FRHC02	Baie Du Mont-Saint-Michel - Centre Baie		3,9	4,2	8,1
FRHC03	Ouest Cotentin		0,5		0,5
FRHC04	Cap de Carteret - Cap de la Hague	0,1			0,1
FRHC60	Rade de Cherbourg	0,3	0,7	0,5	1,5
FRHC07	Cap Levy - Gatteville	1,3	0,5	0,7	2,6
FRHC08	Barfleur	1,7	0,5	4,5	6,7
FRHC09	Anse De Saint-Vaast La Hougue		0,2		0,2
FRHC10	Baie Des Veys		0,7		0,7
FRHC11	Côte Du Bessin	0,2			0,2
FRHC12	Côte De Nacre Ouest	7,2	2,0		9,2
FRHC13	Côte De Nacre Est	18,9	9,0	32,3	60,2
FRHC14	Baie De Caen	1,2	2,5	42,6	46,3
FRHC15	Côte Fleurie	0,8			0,8
FRHC17	Pays De Caux Sud	0,2	0,2		0,4
FRHT06	Baie Des Veys – Fond de baie		3,6	4,9	8,5
TOTAL		31,8	24,5	89,8	146,1

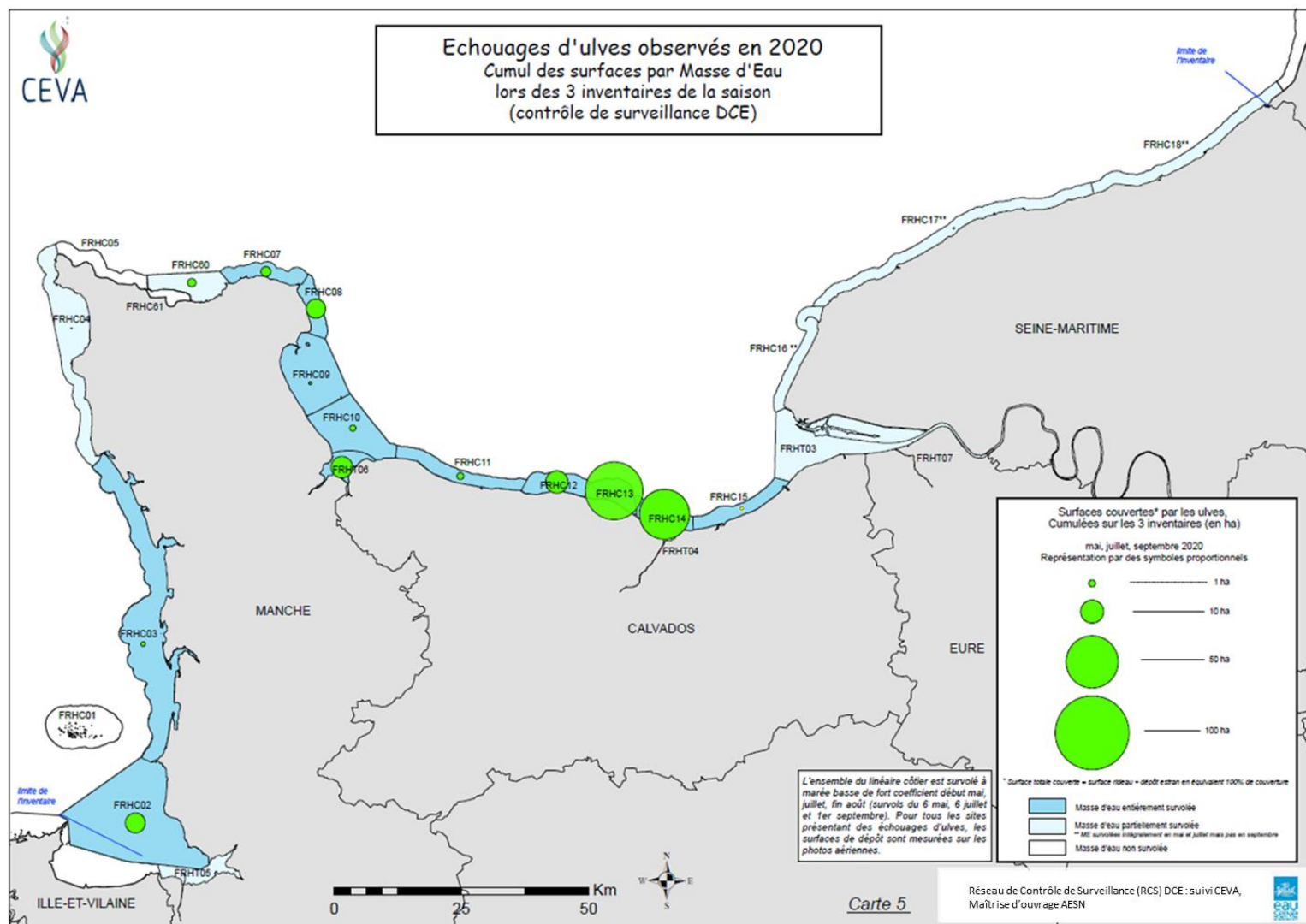


Figure 22. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2020.

3.3.2. Evolution interannuelle des échouages d’ulves de 2008 à 2020

L’analyse comparative des surfaces d’échouages d’ulves entre l’année 2020 et les années antérieures, depuis 2008, indique que cette année se trouve **nettement en-dessous des « moyennes saisonnières »**. Les moyennes de mai, juillet et septembre, sont respectivement de 60,5 ha, 91,7 ha et 119,8 ha et sont au-dessus des surfaces de 2020 avec respectivement 31,8 ha, 24,5 ha et 89,8 ha (Figure 23A). Sur l’ensemble des 3 inventaires, la surface moyenne des échouages d’ulves entre 2008 et 2020 est de 271,9 ha (Figure 23B). Les années 2017 et 2019 atteignent des records avec respectivement 363,4 et 359,9 ha d’ulves sur tout le littoral normand.

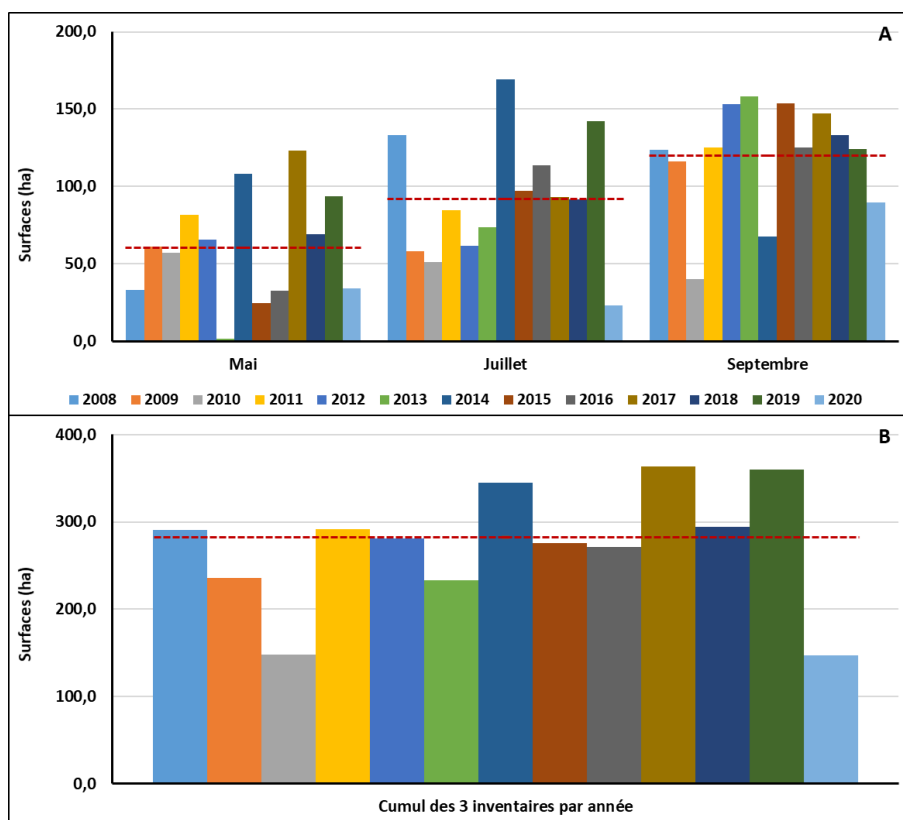


Figure 23. (A) Surfaces d’échouages par mois d’inventaire observées sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2019. (B) Surfaces cumulées totales annuelles des échouages observés sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2020. Les lignes en pointillés rouges représentent les moyennes interannuelles.

En comparaison avec les années précédentes, la côte ouest du Cotentin est restée particulièrement « saine » en 2020 (Figure 25). Seuls quelques dépôts d’ulves au niveau de Jullouville-Saint-Pair avec 7 ha entre juillet et septembre et plus marginalement le site de Granville (nord et sud) avec 1 ha d’algues vertes. Des échouages sont également parfois visibles au port de Siouville—Dielette et sur une plage à proximité mais les surfaces d’ulves sont généralement faibles. Parmi les sites les plus régulièrement touchés, l’année 2020 affiche des records de faibles surfaces en considérant les 3 inventaires, avec notamment les sites de Gefosse-Fontenay, Grandcamp-Maisy, Gold Beach et Ver-Graye-sur-Mer (Figure 24).

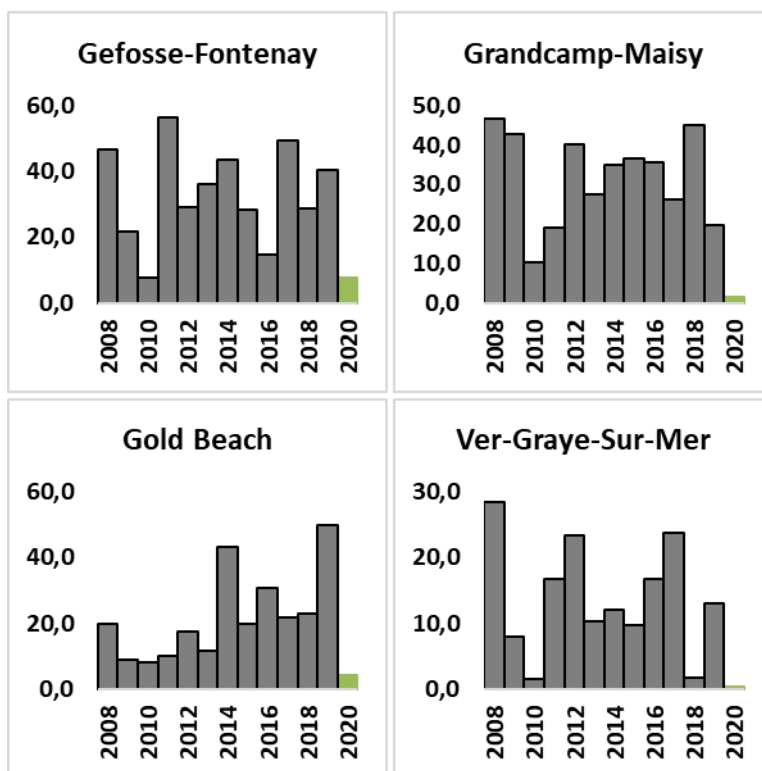


Figure 24. Surfaces interannuelles cumulées des 3 inventaires pour les 4 sites Gefosse-Fontenay, Grandcamp-Maisy, Gold Beach et Ver-Graye-sur-Mer dont les surfaces sont minimales en 2020.

Concernant les autres principaux sites contributeurs (Courseulles-Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer et la pointe de Barfleur), l’année 2020 fait partie des 5 années les moins touchées par des marées vertes. De la même manière que précédemment, l’analyse cartographique des surfaces d’ulves selon le découpage des masses d’eau est présentée en figure 26 pour le suivi interannuel de 2008 à 2020. A l’échelle des sites et des masses d’eau, de plus ou moins fortes variations interannuelles des échouages d’algues peuvent être constatées.

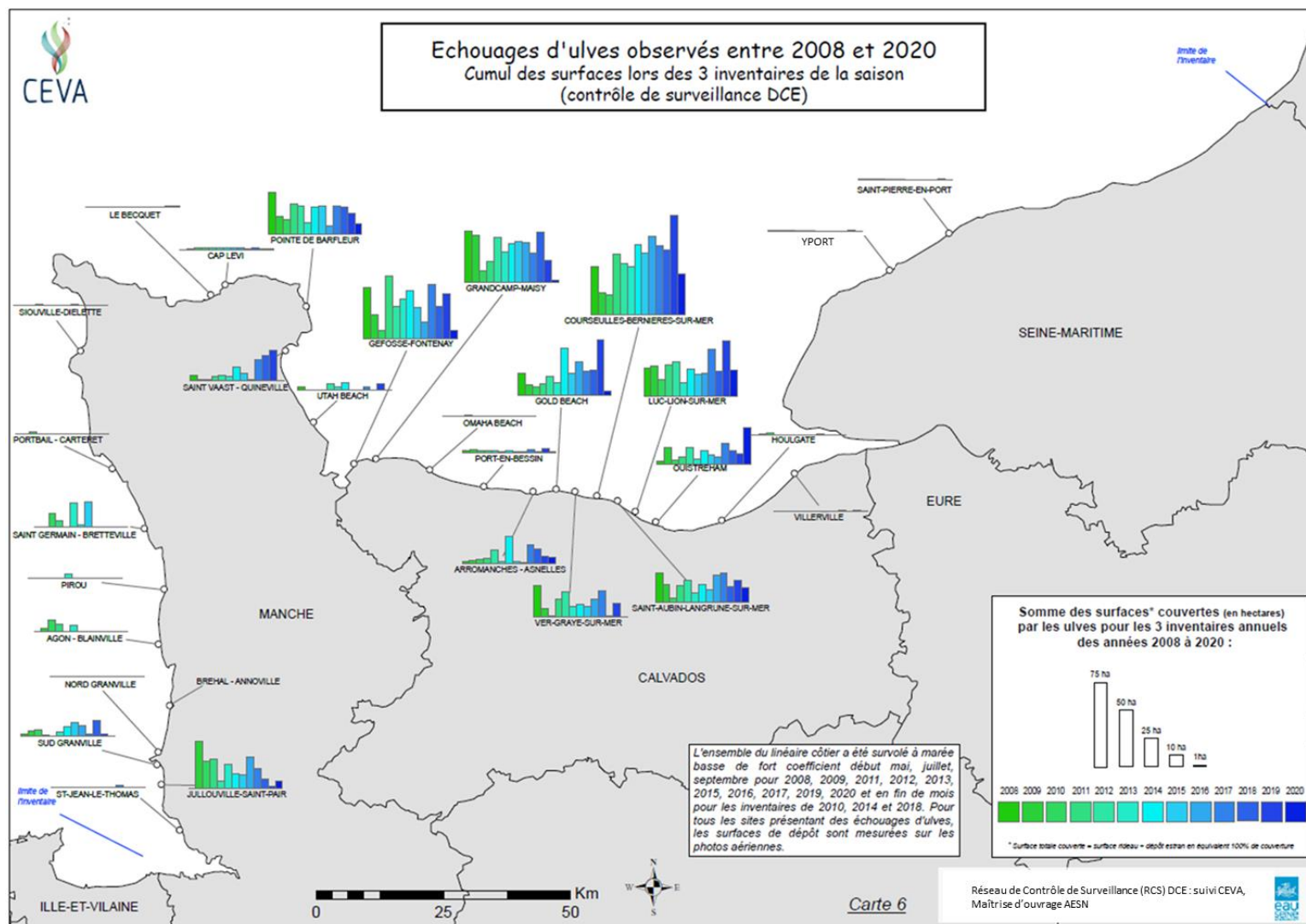


Figure 25. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2020.

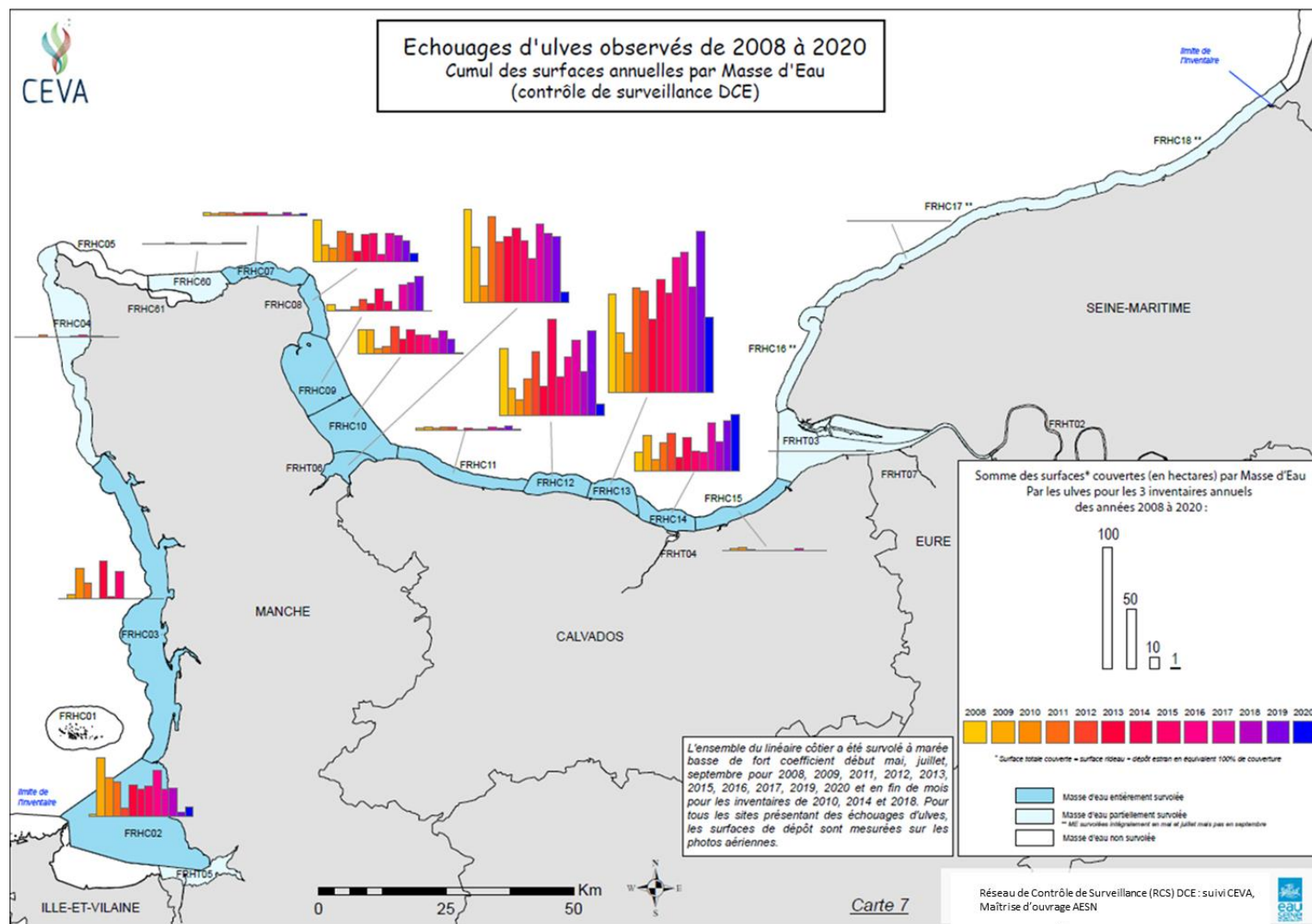


Figure 26. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2020.

3.4. Enquêtes sur les échouages et ramassages auprès des communes littorales

Sur l'ensemble des communes interrogées pour les ramassages d'algues sur le littoral normand (département 50, 14, 76), 61 réponses ont été recueillies. Cependant, seules 3 communes ont déclaré avoir ramassé des algues pour un total de 13 m³ d'algues vertes (Tableau 9). Aucune commune n'a déclaré un coût relatif au traitement de ces échouages (ramassages, remise à la mer ...)

Tableau 9. Informations recueillies par l'enquête réalisée auprès des communes du littoral normand sur le ramassage des algues.

Communes	Algues vertes	Autres algues / Mélange	Moyens techniques
Villers-sur-Mer	1 m ³	8 m ³	Tractopelle et camion benne
Bernières-sur-Mer	12 m ³	60 m ³	Collecteuse AD HOC
Grandcamp-Maisy	0	1260 tonnes	

La commune d'Agon-Coutainville a déclaré le ramassage de mélanges d'algues à partir d'outils à dents mais sans préciser les quantités sur les plages de la Cale de Coutainville, de l'école de voile et du Passous.

La commune de Bricqueville-sur-Mer a déclaré l'absence d'algues vertes sur le littoral avec la présence d'échouages d'algues brunes ne nécessitant aucun ramassage.

Les communes de Courseulles-sur-Mer, Ver-sur-Mer, Graye-sur-Mer et Lion-sur-Mer ont déclaré l'absence de prolifération d'algues vertes ou seulement d'un léger dépôt en faible quantité ne nécessitant aucun ramassage, tandis que sur la commune de Saint-Aubin-sur-Mer, les algues ont été repoussées vers la mer.

3.5. Fiches web

La carte interactive et les fiches associées mises en ligne fin 2020 sur le site internet du CEVA, ont pour but d'une part de partager les données recueillies sur les suivis à un plus large public et d'autres parts d'inciter les communes et communautés de communes ciblées par le questionnaire des ramassages d'algues et à y répondre.

A titre indicatif, la page internet du site CEVA dédiée aux suivis des échouages d'algues sur le littoral normand a été consultée par 941 Visiteurs sur les 3 derniers mois qui ont suivis la mise en ligne de la carte interactive. Le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer représente à lui seul 543 visites. Tous les sites ont été visités par au moins 2 utilisateurs différents sauf Pirou et Agon-Blainville qui n'ont jamais été consultés.

3.6. Classement DCE des différentes masses d'eau normandes

Les masses d'eau du littoral normand sont susceptibles d'être concernées par des marées vertes de type 1 et de type 2. L'attribution d'un type de marées vertes à une masse d'eau est basée sur la proportion de substrat majoritairement présent dans la masse d'eau (substrat meuble ou rocheux) ainsi que sur l'observation du type de morphologie des ulves récoltées sur le terrain (forme libre ou d'arrachage : présence de crampon, forme du thalle allongée ou non). Le calcul du Ratio de Qualité Ecologique (EQR : Ecological Quality Ratio) est basé sur la moyenne des données des six dernières années consécutives (cf section 2.2.2). Ainsi l'EQR 2020 se calcule à partir des données obtenues sur les six dernières années de suivi soit sur la période 2015-2020. Les états écologiques pour chaque masse d'eau sont présentés dans les tableaux 10 et 11 et cartographiés dans la figure 7. Depuis 2015, les trois mêmes masses d'eau sont en dehors du bon état écologique, il s'agit de la FRHC08 (Barfleur : état moyen) la FRHC12 (Côte De Nacre Ouest : état moyen) et la FRHC13 (Côte De Nacre Est : Etat mauvais).

Compte tenu des surfaces des dépôts d'algues vertes moindres en 2020, l'état global des masses d'eau de type 1 s'est stabilisé ou s'est sensiblement amélioré (Tableau 10). Seule la qualité de la masse d'eau FRHC14 (Baie De Caen) a diminué cette année en raison de l'échouage conséquent sur la plage de Quistreham au mois de septembre.

De la même manière, pour les masses d'eau de type 2 (Tableau 11), la qualité pour la plupart des masses d'eau s'est améliorée cette année mais la masse d'eau FRHC08 reste en état moyen et la FRHC10 (Baie Des Veys) en état bon. La masse d'eau FRHC17 (Pays De Caux Sud), en très bon état écologique a très légèrement diminué en raison des échouages peu étendus mais relativement fréquents au niveau des sites de Yport et Saint-Pierre-en-Port. La masse d'eau FRHC60 (Rade de Cherbourg) a également perdu quelques points de qualité en raison des dépôts d'ulves dans les ports du Becquet et Cap Lévi. Malgré la taille négligeable de ces sites par rapport à l'échelle du linéaire côtier ou de la masse d'eau. A l'échelle locale, ces échouages peuvent représenter un risque pour la population comme cela a été le cas à plusieurs reprises avec la détection de concentrations élevées d'H₂S.

Tableau 10. Classement DCE des masses d'eau à échouages d'algues vertes de type 1 du bassin Seine-Normandie sur la base de l'EQR macroalgues opportunistes (2015-2020). Les flèches rouges ou vertes indiquent l'évolution négative ou positive de l'EQR par rapport à la moyenne précédente calculée entre 2014 et 2019. Les signes = représentent les masses d'eau qui n'ont pas évolué.

CODE ME	Données utilisées	Métrique 1 (% couv max /APC)	Métrique 2 (% couv moy /APC)	Métrique 3 (f> 1.5 %APC)	EQR Métrique 1	EQR Métrique 2	EQR Métrique 3	EQR FINAL 2015-2020	Evolution
FRHC02	2015-2020 Type 1	0,13	0,06	0	0,95	0,95	1	0,97	↕
FRHC03		0,03	0,01	0	0,99	0,99	1	0,99	=
FRHC04		0,04	0,01	0	0,99	0,99	1	0,99	=
FRHC09		0,55	0,21	0	0,79	0,83	1	0,87	↕
FRHC12		2,77	1,75	61,11	0,50	0,44	0,39	0,44	↕
FRHC13		7,86	5,37	94,44	0,27	0,20	0,11	0,19	=
FRHC14		1,82	0,93	16,67	0,57	0,57	0,73	0,63	↘
FRHC15		0,03	0,01	0	0,99	0,99	1	0,99	=
FRHT06		1,01	0,70	5,56	0,70	0,62	0,89	0,74	↕
FRHT03		0,00	0,00	0	1,00	1,00	1	1,00	=

Tableau 11. Classement DCE des masses d'eau à échouages d'algues vertes de type 2 du bassin Seine-Normandie sur la base de l'EQR macroalgues opportunistes (2015-2020). Les flèches rouges ou vertes indiquent l'évolution négative ou positive de l'EQR par rapport à la moyenne précédente calculée entre 2014 et 2019. Les signes = représentent les masses d'eau qui n'ont pas évolué.

CODE ME	Données utilisées	Métrique 1 (% mai/roches)	Métrique 2 (% moy juillet&sept /Roches)	Métrique 3 (% max/substrat meuble)	EQR Métrique 1	EQR Métrique 2	EQR Métrique 3	EQR FINAL 2015-2020	Evolution
FRHC07	2015-2020 Type 2	0,31	0,33	0,97	0,94	0,87	0,71	0,84	=
FRHC08		2,50	1,90	5,85	0,59	0,56	0,34	0,54	↕
FRHC10		0,70	1,08	1,68	0,86	0,60	0,59	0,78	↕
FRHC11		0,17	0,25	0,61	0,97	0,90	0,78	0,92	↕
FRHC17		0,00	0,08	0,02	1,00	0,97	0,99	0,99	=
FRHC60		0,06	0,41	1,08	0,99	0,84	0,68	0,82	↘

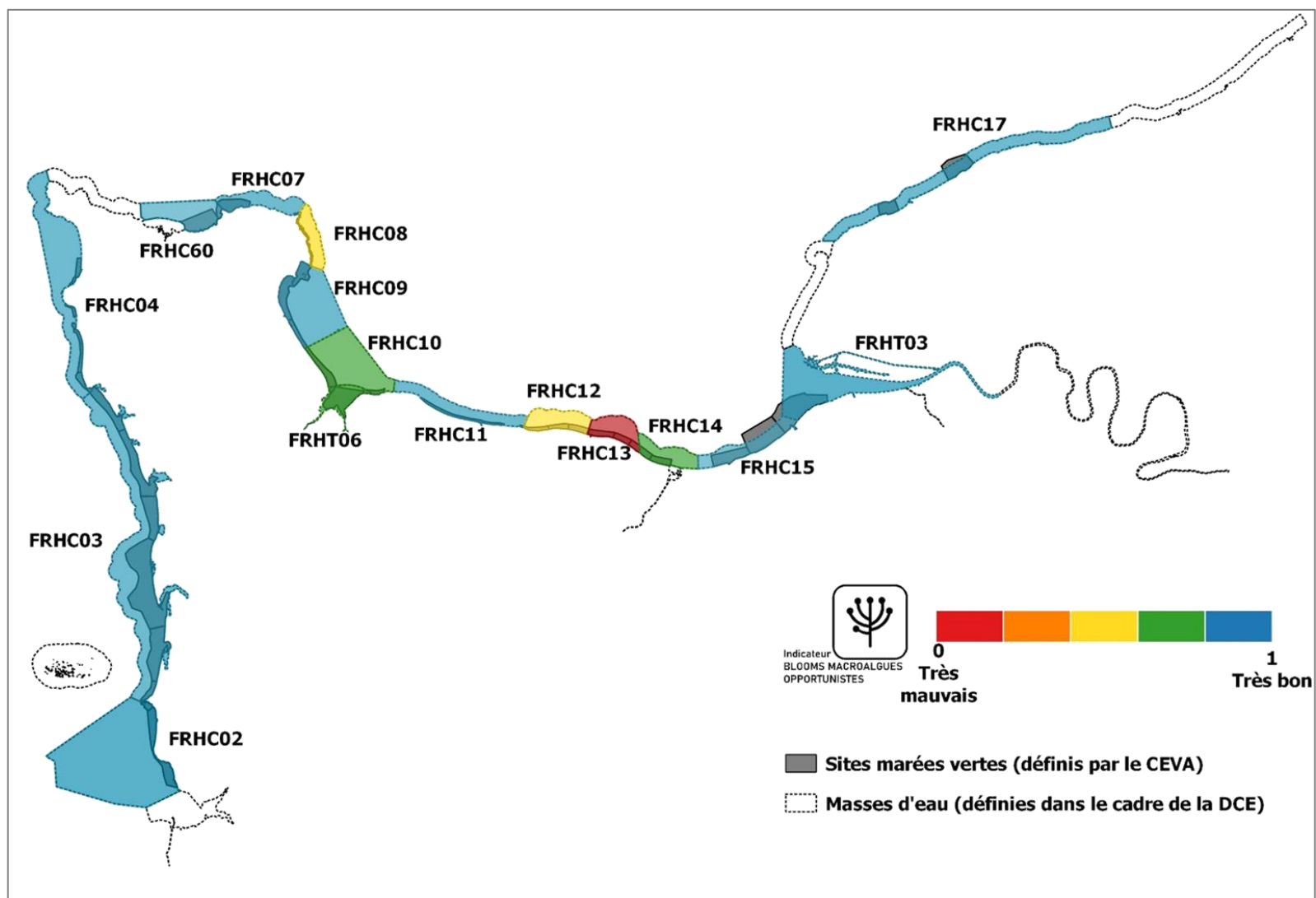


Figure 27. Cartographie de l'état écologique des masses d'eau du littoral Seine-Normandie pour l'indicateur « Blooms de macroalgues opportunistes ».

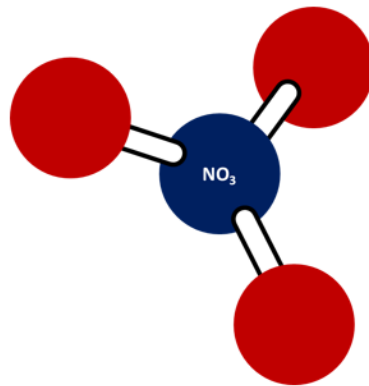
**Quotas
Azotés**

Indices

Eutrophisation

**Evaluation
Surfacique
Algues
Vertes**

RCO



4. RESULTATS RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel)

4.1. Campagnes aériennes et de terrain

Les 2 vols prévus en 2020 dans le cadre du RCO ont été réalisés avec succès, aux dates indiquées dans le Tableau 12 ci-dessous. L'ensemble des sites suivis a été photographiés avec des clichés exploitables pour les traitements sous SIG (e.g. calage, détermination des surfaces des échouages). Pour les 9 sites suivis, les observations et les prélèvements sur le terrain ont été réalisés rapidement à la suite des vols tels que préconisés dans la méthodologie de surveillance. Ces observations de terrain ont permis d'élaborer 33 et 28 fiches de synthèse pour les mois de juin et août respectivement.

Tableau 12. Dates des acquisitions aériennes et des observations terrain pour les inventaires RCO de l'année 2020.

Inventaire RCO	Date du vol	Coefficient de marée	Littoral survolé	Date des observations <i>in situ</i>	Nombre de fiches réalisées
JUIN	03/06/2020	91	Saint-Jean-le-Thomas > Lion-sur-Mer	5-6/06/2020	33
AOÛT	05/08/2020	84	Saint-Jean-le-Thomas > Lion-sur-Mer	6-7/08/2020	28

4.2. Classement des sites

Selon les méthodes de classement qui tiennent compte de la perceptibilité du dépôt d'avion et de la présence de plus de 30% d'ulves dans le dépôt, tous les sites hormis Jullouville-Saint-Pair et Gold Beach ont été classés en juin (Tableau 13). Pour Gold Beach, quelques petits échouages ont été repérés mais les campagnes terrain ont montré la présence majoritaire d'algues rouges. Pour l'inventaire du mois d'août, tous les sites ont été classés sauf Gefosse-Fontenay car les seuls dépôts repérés étaient très diffus et composés d'algues brunes. Le récapitulatif des classements relatifs aux suivis RCS et RCO de l'année 2020 est présenté dans le Tableau 13. Les 4 sites de la pointe de Barfleur, Courseulles-Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer ont donc été classés lors de chaque inventaire, malgré des surfaces d'échouages relativement faibles par rapport aux années précédentes.

Tableau 13. Récapitulatif des sites classés en 2020 pour les 2 inventaires de juin et août du RCO Seine-Normandie.

NOM SITE MAREE VERTE	Inventaire JUN	Inventaire AOÛT	Occurrence 2020	Occurrence RCS+RCO 2020
Jullouville-Saint-Pair			1	3
Pointe De Barfleur			2	5
Gefosse-Fontenay			1	3
Grandcamp-Maisy			2	3
Gold Beach			1	2
Ver-Graye-Sur-Mer			2	3
Courseulles-Bernieres-Sur-Mer			2	5
Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer			2	5
Luc-Lion-Sur-Mer			2	5

4.1. Estimation quantitative surfacique

4.1.1. Evolution saisonnière des échouages d'ulves

De la même manière que pour le RCS, les échouages d'ulves ont été digitalisés pour les sites classés en juin et août (Tableau 14). Les sites de Courseulles-Bernières-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer présentent les plus fortes surfaces avec respectivement 24,2 ha et 19,8 ha. En tenant compte des 5 inventaires (RCS et RCO), le site de Gold Beach, qui était l'un des plus grands contributeurs en 2019 ne représente que 6 ha et fait partie des sites, avec Grandcamp-Maisy (8,2 ha) et Ver-Graye-sur-Mer (7 ha), les moins touchés en 2020.

Tableau 14. Surfaces estimées en ulves lors des 2 inventaires RCO de l'année 2020 pour les 9 sites concernés par des échouages d'ulves. Les surfaces sont exprimées en hectares équivalent 100 %. Le cumul RCS+RCO représente la somme de toutes les surfaces d'ulves digitalisées sur les 5 inventaires (de mai à septembre).

SITES	JUIN (ha)	AOÛT (ha)	CUMUL RCO 2020	MAXIMUM RCO 2020	CUMUL RCS+RCO 2020
Jullouville-Saint-Pair		8,9	8,9	8,9	15,7
Pointe De Barfleur	4,8	2,8	7,7	4,8	15,9
Gefosse-Fontenay	8,6		8,6	8,6	16,1
Grandcamp-Maisy	6,4	0,3	6,7	6,4	8,2
Gold Beach		4,0	4,0	4,0	6,2
Ver-Graye-Sur-Mer	2,8	1,8	4,6	2,8	7,0
Courseulles-Bernieres-Sur-Mer	5,7	18,6	24,2	18,6	60,9
Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer	0,6	7,0	7,6	7,0	20,8
Luc-Lion-Sur-Mer	10,8	8,9	19,8	10,8	43,1

L'évolution des échouages d'ulves sur toute la saison, de mai à septembre, est très variable selon les sites (Figure 28).

Plusieurs sites présentent leur maximum de surface d'échouage en septembre ce qui indique une saison plutôt tardive. Les surfaces du mois de juillet sont minimales pour la plupart des sites, ce qui semble cohérent par rapport aux photographies aériennes qui présentaient des plages relativement propres et saines. Pour le site de Courseulles-sur-Mer, les échouages ont été relativement importants dès le mois de mai mais ont progressivement diminué jusqu'en juillet pour finir la saison avec des échouages plus importants. Pour Grandcamp-Maisy en début de saison, les dépôts étaient majoritairement composés d'algues rouges mais quelques fragments de jeunes ulves étaient également présents. Ces ulves se sont développées en juin puis résorbées progressivement en juillet puis en août pour ne présenter qu'un dépôt diffus au niveau du port. Le site de Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer est le seul à présenter une augmentation progressive entre le mois de mai et le mois de septembre. Les sites de Barfleur, Gold Beach, Ver-Graye-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer sont plus ou moins stables dans le temps avec de faibles variations de surfaces. Les cartographies des surfaces cumulées pour les 5 inventaires (RCS+RCO) et l'évolution mensuelle des échouages pour chacun des 9 sites sont présentées dans les figures 29 et 30 ci-dessous.

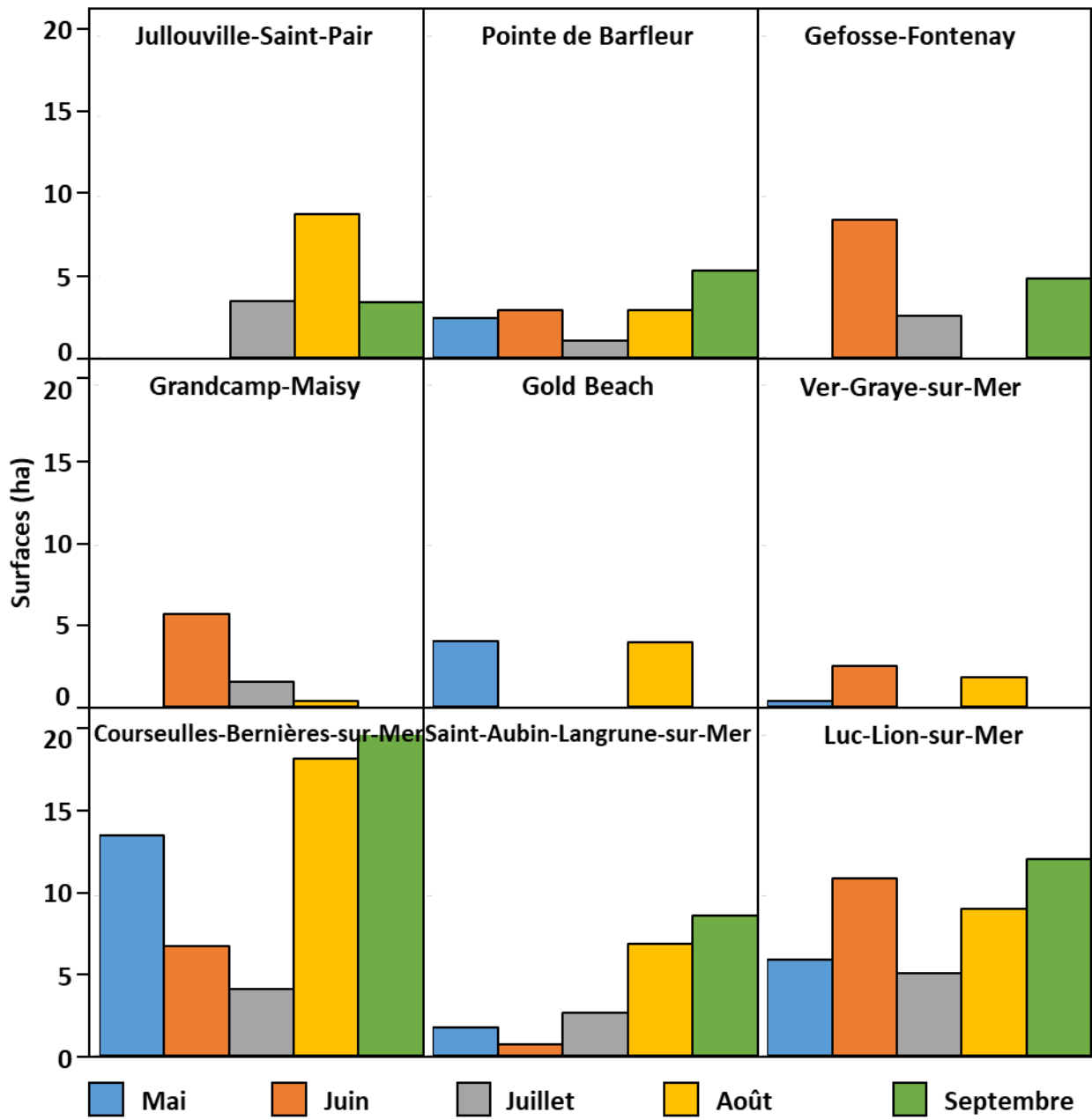


Figure 28. Evolution des surfaces d'ulves sur les 5 inventaires au cours de la saison 2020.

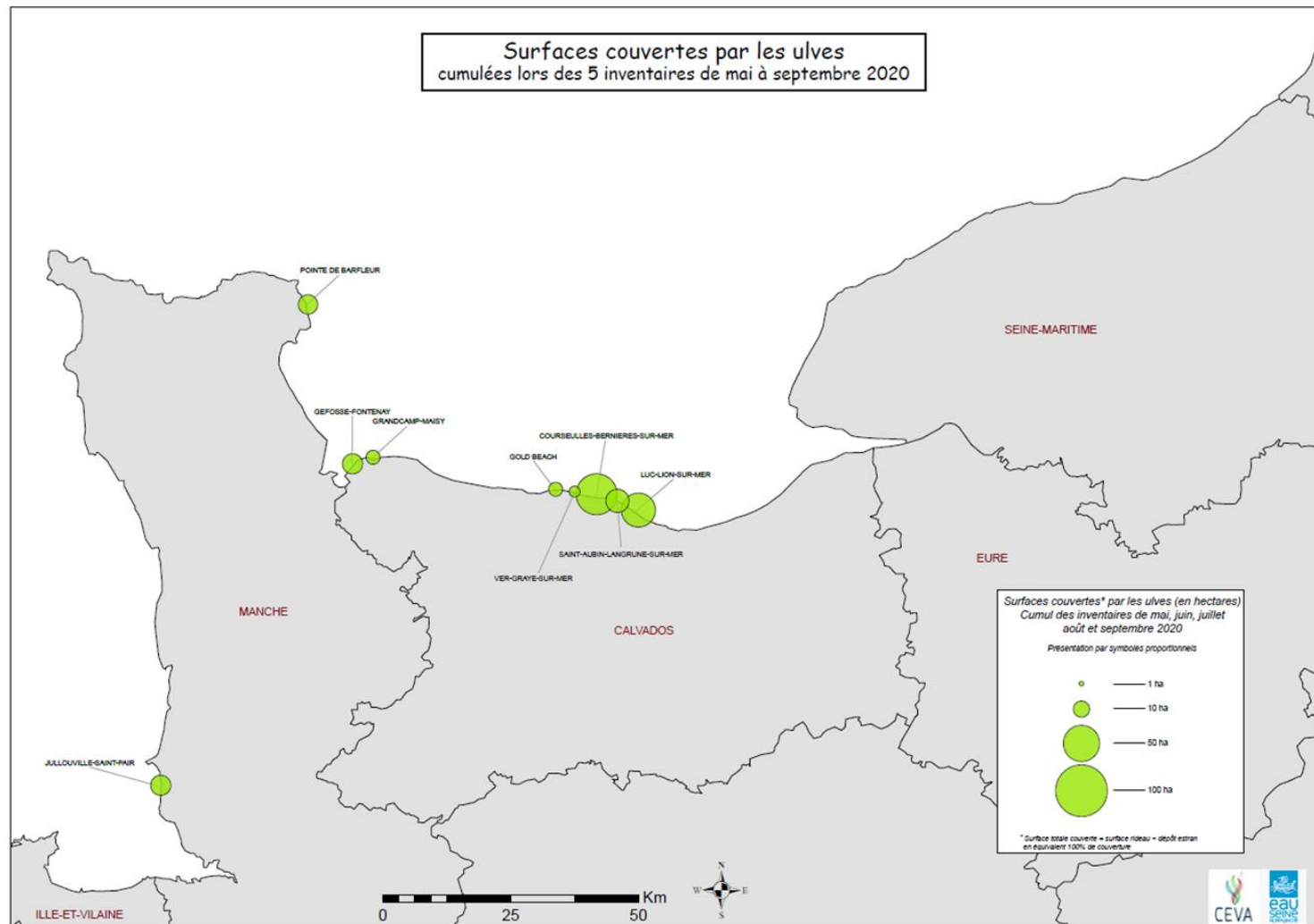


Figure 29. Surfaces cumulées des échouages d'ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l'année 2020. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.

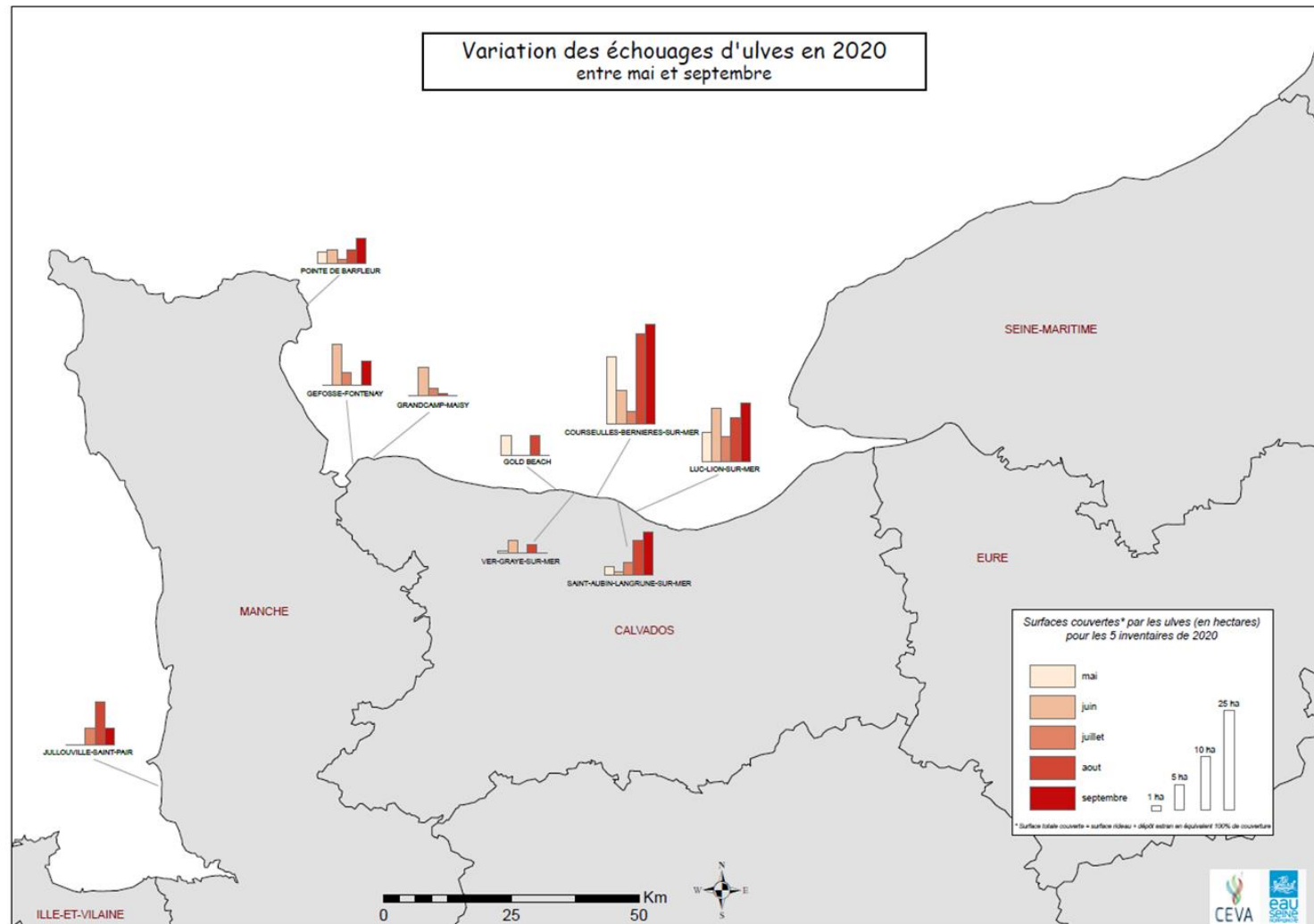


Figure 30. Variations mensuelles des échouages d'ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l'année 2020. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.

4.1.2. Evolution interannuelles des échouages d’ulves sur la saison 2020

L'évolution de la surface cumulée annuelle en algues vertes pour chacun des 9 sites depuis 2014 est présentée en figure 31. Pour l'ensemble des sites, l'année 2020 présente les plus faibles surfaces d'ulves depuis le début des suivis RCO, hormis pour Jullouville-Saint-Pair dont le minimum a été observé en 2019. Entre 2014 et 2020, le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer présente les surfaces les plus élevées avec un pic en 2016 de plus de 150 ha, suivi par l'année 2019 avec 140 ha, contre 60 ha en 2020.

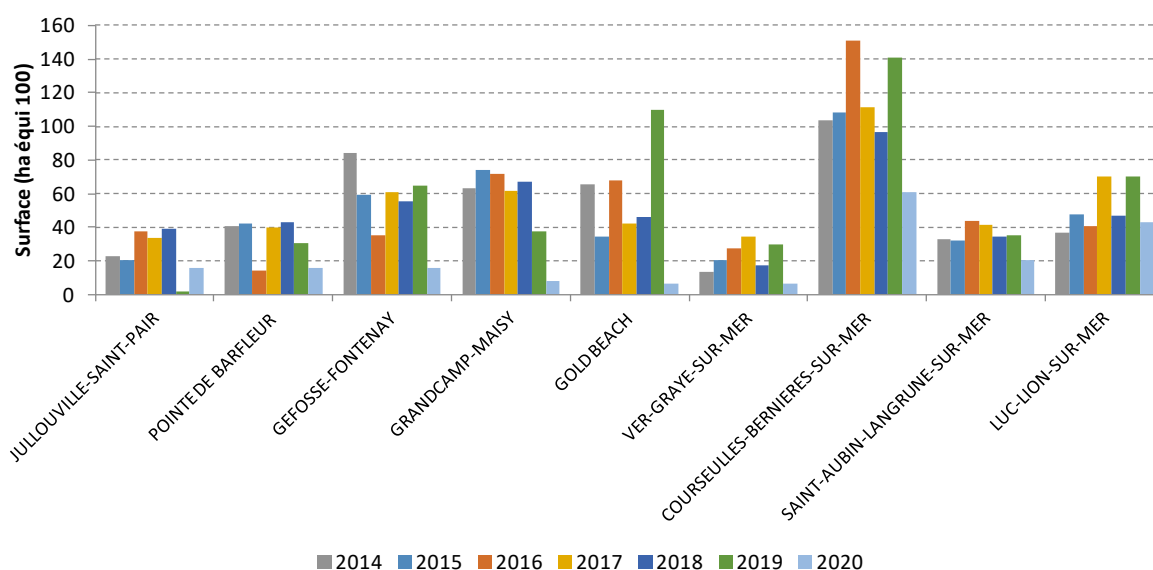


Figure 31. Evolution interannuelle de la surface cumulée en ulves sur les 9 sites suivis entre 2014 et 2020. Le cumul correspond à la somme des 5 inventaires de mai à septembre.

Le signal saisonnier pour l'année 2020 est atypique et caractérisé par une augmentation des surfaces d'échouages de mai à juin, suivi d'une forte diminution au mois de juillet puis d'une augmentation progressive en fin de saison sur les inventaires d'août et septembre. Un tel signal saisonnier avec une diminution en milieu de saison avait été observé en 2017 mais avec des surfaces 2 à 4 fois plus élevées (Figure 32). En 2020, les sites de Courseulles-Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-sur-Mer et de Luc-Lion-sur-Mer sont les principaux contributeurs aux surfaces totales. Les contributions de Gefosse-Fontenay, Grandcamp-Maisy et Gold Beach sont en moyenne (sur la période 2014-2019) de 14%, 14% et 12%, alors qu'elles ont été de 9%, 5% et 4% respectivement sur l'année 2020 (Figure 33). La contribution de Jullouville-Saint-Pair a de ce fait augmenté cette année, notamment en raison des échouages d'algues vertes en juillet, août et septembre.

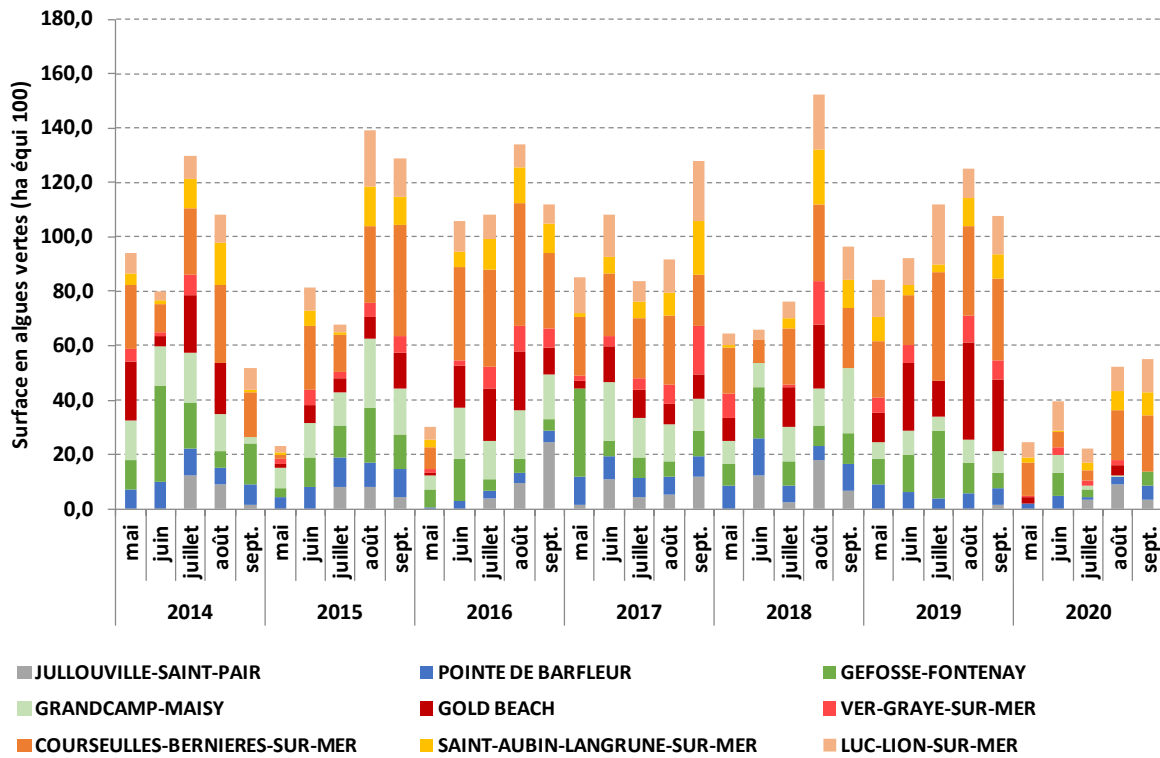


Figure 32. Evolution interannuelle des surfaces mensuelles en ulves sur les 9 sites suivis. Les surfaces correspondent à la somme des 5 inventaires de mai à septembre.

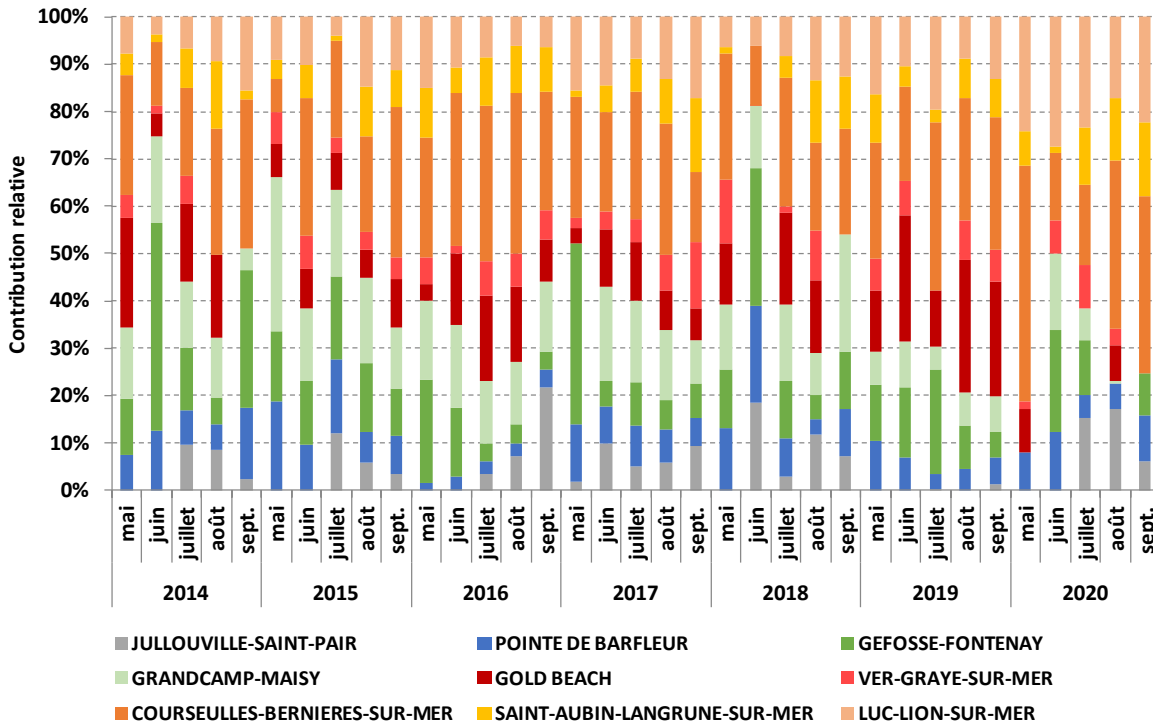


Figure 33. Evolution interannuelle de la contribution relative des 9 sites suivis (en %) par rapport à la surface mensuelle totale en ulves pour les 5 inventaires de mai à septembre.

4.2. Indices d'eutrophisation

4.2.1. Éléments d'interprétation des profils saisonniers

Pour l'ensemble des sites, un profil type de variation saisonnière des quotas en azote peut être observé. Ces quotas sont d'abord, d'une manière générale, toujours élevés en tout début de saison de prolifération (plus de 4 % de la M.S. jusqu'aux premiers jours de mai) : cette situation est normale, résultant (1) d'une disponibilité naturellement élevée des sels nutritifs à la sortie de l'hiver en tout point du littoral, (2) d'une croissance algale encore limitée par la température et la lumière. Les quotas azotés vont ensuite chuter de manière plus ou moins nette et régulière pour atteindre un minimum annuel plus ou moins précoce (de juin à août) et plus ou moins prononcé selon le site (entre 3% et 1% de la M.S.) : cette diminution généralisée des quotas internes est normale et attendue en période estivale car elle correspond à l'augmentation naturelle de la consommation en nutriments pour la croissance algale dans un contexte de raréfaction de la ressource (consommation par les blooms phytoplanctoniques côtiers et baisse saisonnière des flux d'azote provenant des rivières). A partir de la fin août, les quotas azotés augmentent rapidement pour atteindre, dès la fin septembre, des valeurs comparables à celles observées en fin de période hivernale (>4 % de la matière sèche). Cette disponibilité automnale en nutriments peut s'expliquer d'une part par la baisse de consommation en sels nutritifs par les algues (diminution de la croissance corrélée à l'évolution des paramètres environnementaux *e.g.* diminution des températures et de la lumière) et d'autre part par la reminéralisation d'origine phytoplanctonique dans la colonne d'eau.

La variabilité d'un site à l'autre sera ainsi liée à la précocité, l'amplitude et la durée de la baisse estivale (ou minimum estival) des quotas azotés algaux. En milieu non eutrophisé, ce minimum estival est normalement précoce (début mai) et prononcé (proche du quota de subsistance), témoignant de la limitation naturelle des flux d'azote qui affecte directement la croissance des algues. Au contraire, l'eutrophisation d'un site se caractérise par un retard et/ou un affaiblissement de cette limitation naturelle en azote (maintien de flux qui permettent aux algues de proliférer sous des conditions environnementales propices). La nature géologique du sous-sol et le type d'occupation des sols du bassin versant peuvent jouer un rôle aggravant dans les modalités saisonnières de restitution des pluviosités hivernales et de transfert de l'azote vers un site propice au développement des algues vertes.

Le degré d'eutrophisation d'un site sera ainsi diagnostiqué en fonction de l'importance de ces retards saisonniers et des affaiblissements estivaux de l'effet limitant naturel de l'azote sur la croissance des algues (évolution des quotas de Q_0N vers Q_1N , puis au-delà). L'état de saturation (et sursaturation) progressive de cette croissance par le flux d'azote sera par ailleurs un élément important de la résilience d'un site aux mesures préventives.

Même si l'évolution saisonnière des contenus azotés des ulves apparaît directement corrélée aux flux d'azote estuarien, il est aussi possible d'observer des pics de concentration en azote algal inexplicable par une augmentation ponctuelle du flux d'azote du bassin versant ou un changement des paramètres environnementaux tels que la température et/ou la lumière. Deux hypothèses peuvent être proposées pour expliquer ces pics de concentration algale : (1) une source azotée autre

que les rivières débouchant dans la baie (e.g. relargage sédimentaire) ; (2) un arrivage d'ulves en provenance des stocks infralittoraux présentant de forts quotas azotés liés à la croissance plus lente sous faible luminosité (auto-ombrage). En effet, des différences de densité algale dans le rideau (source d'auto-ombrage) pourraient expliquer ces variations de quotas qui surviennent dans nos analyses.

En résumé, l'indicateur nutritionnel de croissance des algues (quotas azotés et phosphorés), utilisé comme base de suivi pour l'évolution pluriannuelle de l'eutrophisation, offre une double lecture, intégrant deux aspects du niveau d'eutrophisation du site :

- d'une part, la saturation de la croissance des algues par les flux d'azote et,
- d'autre part, les quantités d'algues stockées dans le site, en particulier dans l'infralittoral et dans le rideau, qui engendrent un auto-ombrage favorable au maintien de quotas élevés.

Il est important de noter que le facteur turbidité, affectant l'intensité lumineuse disponible pour les algues, est également un paramètre qui pourrait impacter le contenu azoté des ulves à plus long terme.

Quoiqu'il en soit, ces algues à forts quotas azotés, en provenance de zone « d'auto-ombrage », disposent de ressources nutritionnelles suffisantes pour déclencher leur croissance lorsque les conditions environnementales favorables sont réunies (remontée des algues en surface, dispersion du rideau, diminution de turbidité). Ainsi, ce sont des évolutions à court terme de ces conditions de lumière pour la croissance des algues qui pourraient être principalement à l'origine des variations enregistrées dans l'ensemble des profils saisonniers de quotas azotés des sites suivis.

Les évolutions de quotas phosphorés obéissent en partie aux règles environnementales générales qui gouvernent les profils de quotas azotés, expliquant notamment un passage plus ou moins marqué par un minimum de concentration interne en période de croissance. Les deux paramètres QN et QP pourront aussi présenter des oscillations à court terme liées aux variations ponctuelles de lumière (diminution avec la profondeur et la densité de la biomasse algale dans le rideau). Les différences de comportement saisonnier de QN et QP seront plutôt à mettre en relation avec l'origine de leur source respective.

Le phosphore utilisé par les ulves en période propice à la limitation (saison estivale) est, en effet, largement d'origine sédimentaire et la progression des températures estivales va d'une manière générale favoriser son flux de relargage. Il peut en résulter des remontées très fortes de quotas phosphorés des ulves en fin de saison estivale, et des minima précoces, au mois de mai, en situation de flux terrigènes déclinant fortement et de températures encore proches des températures hivernales. Par ailleurs, les quotas phosphorés, plus que les quotas azotés, pourront être sensibles aux épisodes pluviométriques intenses, lesquels sont capables d'entraîner vers la mer des quantités de phosphore biodisponibles liées au particulaire, et d'engendrer des pics de phosphore dans les tissus des ulves.

Enfin, l'apport sédimentaire est conditionné par la nature même du sédiment. Ainsi, un sédiment vaseux est plus propice au relargage de phosphore qu'un sédiment sableux. A l'extrême, les ulves se développant sur platiers rocheux ne bénéficient pas d'un apport sédimentaire direct en phosphore.

4.2.2. Profils saisonniers des quotas

L'ensemble des missions ont pu être réalisées aux dates convenues de fin-mai à fin-septembre sur les 9 sites prévus dans le suivi RCO. Cependant, en raison des surfaces exceptionnellement faibles d'ulves cette année, de nombreux prélèvements n'ont pas pu être réalisés car aucun dépôt n'a été observé lors des missions terrain (Tableau 15).

Tableau 15. Liste des prélèvements qui n'ont pas pu être réalisés en 2020 en raison de l'absence de dépôt sur le terrain.

Site	Date du prelevement	Latitude	Longitude
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	08/05/2020	48.814518	-1.576405
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	22/05/2020	48.813523	-1.580623
VER-GRAYE-SUR-MER	22/05/2020	49.346233	-0.510525
COURSEULLES-BERNIERES-SUR-MER	05/06/2020	-	-
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	05/06/2020	-	-
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	22/06/2020	48,809163	-1,58162
COURSEULLES-BERNIERES-SUR-MER	08/07/2020	-	-
GOLD-BEACH	08/07/2020	-	-
GEFOSSE-FONTENAY	20/07/2020	-	-
GOLD-BEACH	20/07/2020	49.347805	-0.529144
GRAND CAMP-MAISY	20/07/2020	49.390475	-1.050551
VER-GRAYE-SUR-MER	20/07/2020	49.346550	-0.509475
GEFOSSE-FONTENAY	06/08/2020	49.381886	-1.090297
GOLD-BEACH	07/08/2020	49.346037	-0.529197
VER-GRAYE-SUR-MER	18/08/2020	49.347980	-0.508309
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	02/09/2020	48.814423	-1.574629
VER-GRAYE-SUR-MER	03/09/2020	49.345185	-0.510132

4.2.2.1. Quotas azotés

Les profils des quotas en azote sont variables au cours de la saison mais reste généralement au-dessus du seuil critique Q_1N , atteignant des valeurs entre 2 et 4 % de la matière sèche (Figure 35, 36 et 37). Certains quotas en azote sont passés en-dessous du seuil critique Q_1N à 8 reprises et en-dessous du seuil de subsistance Q_0N une seule fois (Tableau 16). De manière générale, les quotas en azote ont été élevés en début de saison puis ont diminué progressivement jusqu'à mi-août pour ensuite remonter sur la toute fin de saison. Ces profils sont cohérents avec les attentes théoriques des évolutions de quotas sur une saison.

Les 4 prélèvements effectués sur le site de Jullouville-Saint-Pair montrent des quotas internes en azote proches voire sous le seuil Q_1N en juillet et août. Cela peut s'expliquer par le fait que les ulves ont consommé leurs réserves internes nécessaire pour leur croissance et cela correspond au moment où les échouages ont été retrouvés sur le terrain.

Les quotas azotés au niveau de Grandcamp-Maisy chutent entre mai et juillet jusqu'à descendre sous le seuil Q_0N début août. Cela reflète assez bien les faibles surfaces d'ulves observées sur la saison avec des dépôts très diffus à partir du mois de juillet. C'est la 2^{ème} année consécutive où l'on observe des quotas azotés inférieurs au seuil critique Q_0N sur le site de Grandcamp-Maisy, ce qui montre que les ulves manquent d'azote pour continuer leur croissance (Figure 34).

Les quotas de Courseulles-sur-Mer sont restés assez élevés tout au long de la saison avec une diminution lente en juillet et août puis une augmentation en fin de saison. Ce profil indiquerait que les ulves consomment progressivement l'azote qui reste encore en excès dans la colonne d'eau, mais étant donné la diminution des surfaces d'échouage jusqu'en juillet, les conditions environnementales ne devaient pas être optimales pour réaliser la croissance. En août, les quotas azotés sont inférieurs au seuil Q_1N avec des surfaces d'échouages importantes ce qui indique que les algues sont en pleine croissance et que l'azote commence à manquer dans la colonne d'eau. Cependant, l'augmentation importante des quotas internes en septembre indique un apport important d'azote dans la colonne d'eau à ce moment (Figure 34).

Tableau 16. Récapitulatif des occurrences dont le quota interne en azote des ulves est passé sous le seuil critique Q_1N . La valeur en gras correspond au quota interne sous le seuil Q_0N .

Site	Date du prélèvement	Quota Azoté (% M.S)
GRAND CAMP-MAISY	08/07/2020	1,42
GEFOSSE-FONTENAY	08/07/2020	1,92
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	20/07/2020	1,66
VER-GRAYE-SUR-MER	07/08/2020	1,86
GRAND CAMP-MAISY	07/08/2020	0,93
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	06/08/2020	1,80
COURSEULLES-BERNIERES-SUR-MER	18/08/2020	1,80
GOLD-BEACH	18/08/2020	1,20
GRAND CAMP-MAISY	18/08/2020	1,01

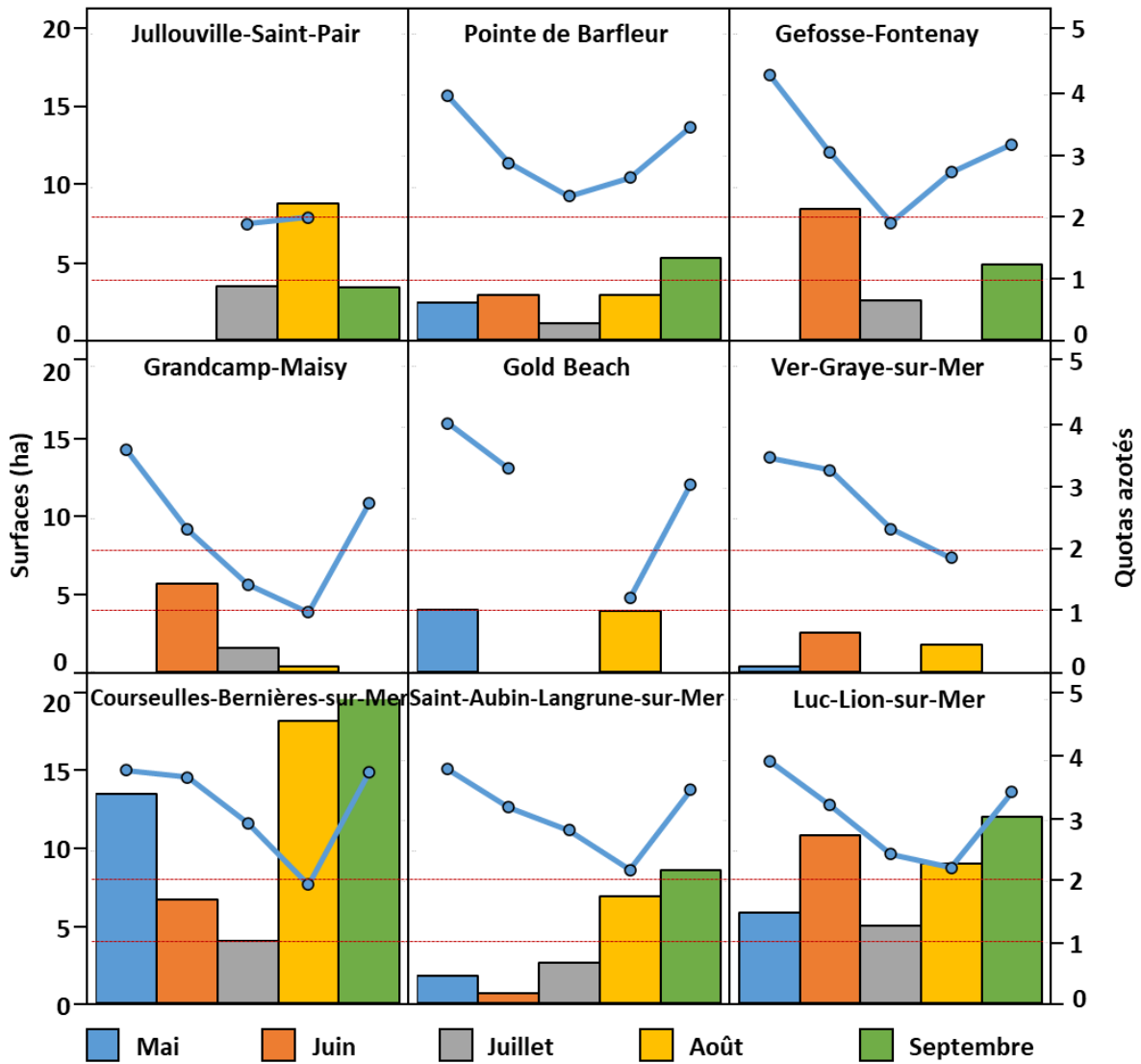


Figure 34. Evolutions des surfaces d’ulves sur les 9 sites RCO superposées aux courbes des quotas azotés internes pour chaque site.

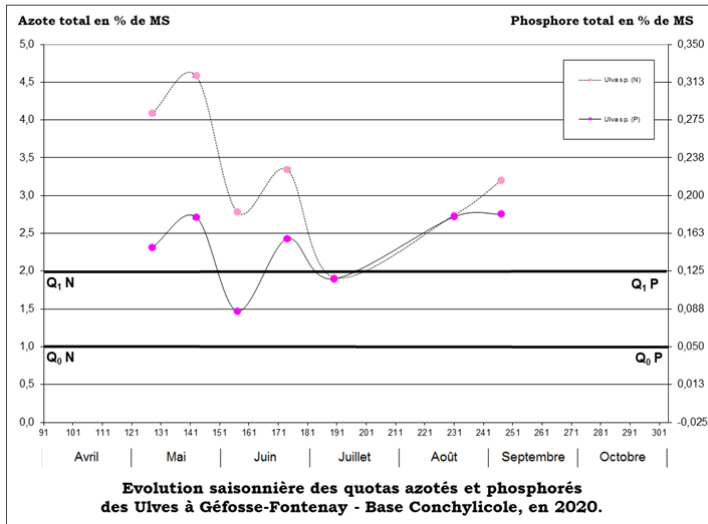
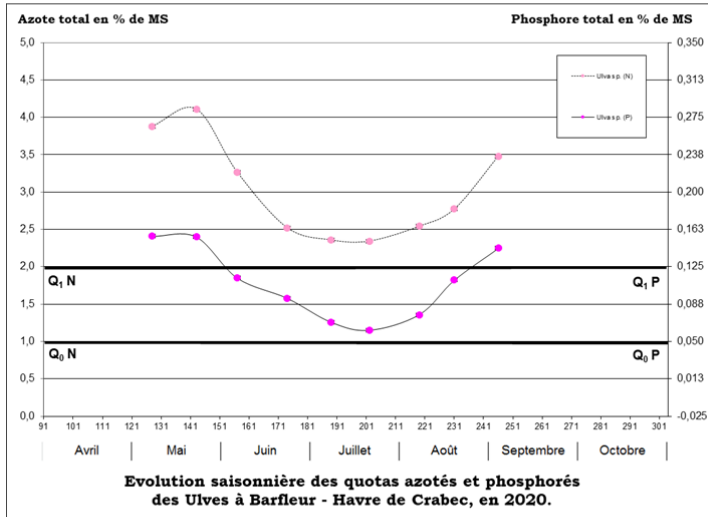
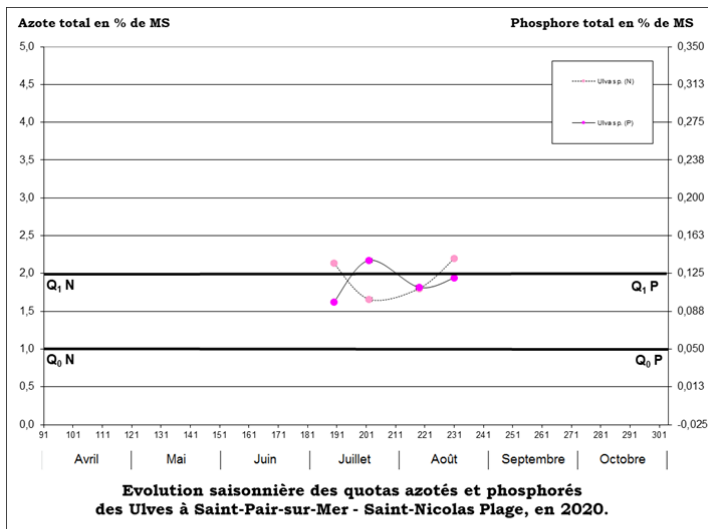


Figure 35. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2020 pour les sites de Jullouville-Saint-Pair, Barfleur, Gêfosse-Fontenay. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).

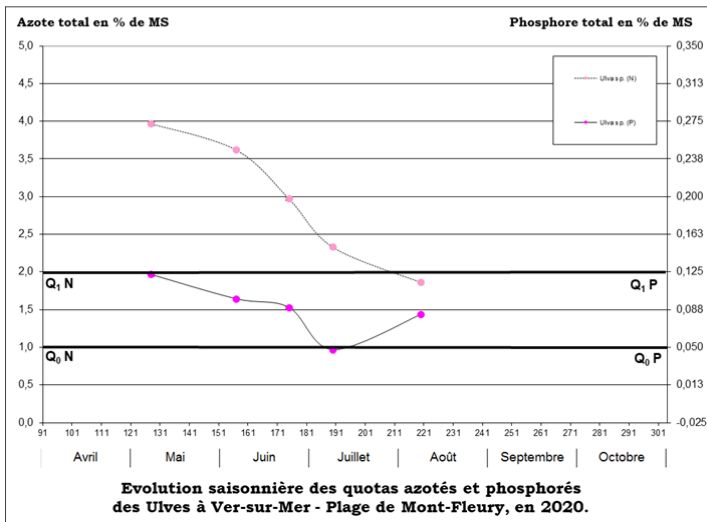
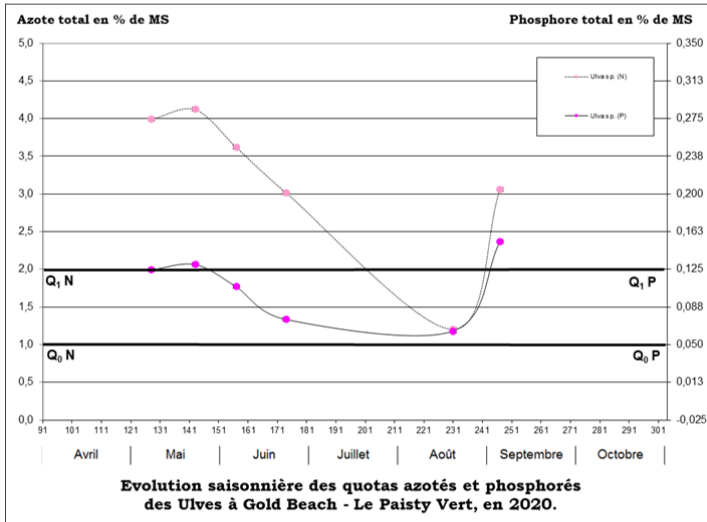
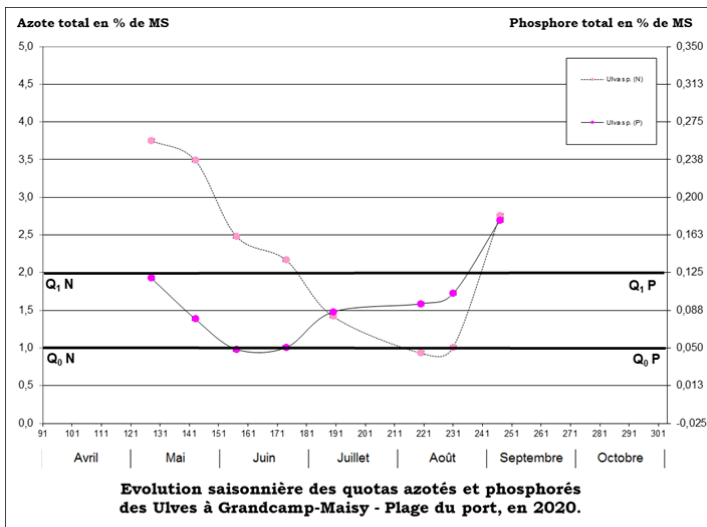


Figure 36. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2020 pour les sites de Grandcamp-Maisy, Gold Beach et Ver-sur-Mer. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).

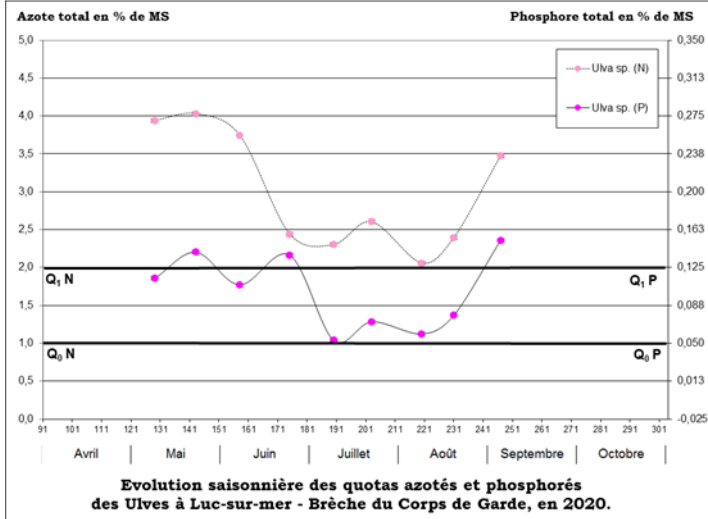
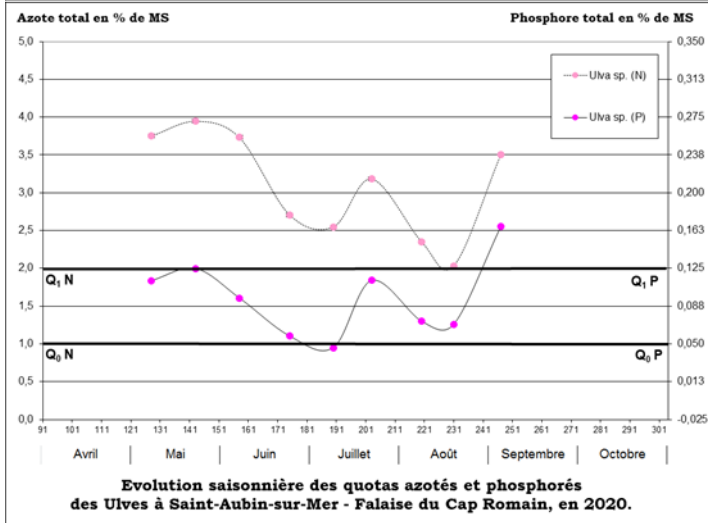
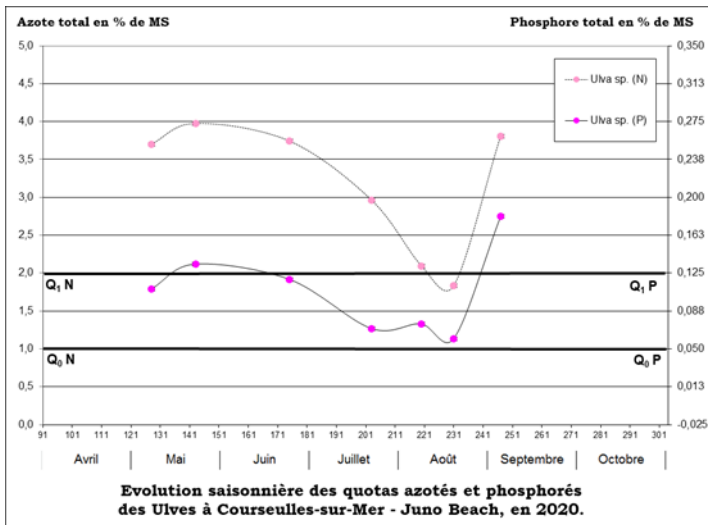


Figure 37. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2020 pour les sites de Courseulles-sur-Mer, Saint-Aubin-sur-Mer et Luc-sur-Mer. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).

4.2.2.2. Quotas phosphorés

Pour la plupart des sites, les courbes de quotas phosphorés suivent les profils des quotas azotés. Hormis pour le site de Jullouville-Saint-Pair qui sont en « miroir » et pour Grandcamp-Maisy où les quotas phosphorés augmentent à partir de juillet (Figure 35, 36 et 37). Les concentrations internes en phosphore sont globalement restées sous le seuil Q_1P et sont passées sous le seuil Q_0P à 3 reprises pour le site de Grandcamp-Maisy (le 5 juin 2020), ainsi que Saint-Aubin-sur-Mer et Ver-sur-Mer (le 8 juillet 2020). La plupart des prélèvements indiquent donc que la concentration interne des ulves en phosphore se situe entre le seuil de subsistance Q_0P et le seuil critique Q_1P (entre 0,05 % et 1,125%) avec des variations mensuelles plus ou moins fortes, qui impliqueraient une limitation de la croissance des ulves. Pour les sites de Barfleurl, Courseulles-sur-Mer, Saint-Aubin-sur-Mer et Luc-sur-Mer, le profil des concentrations internes en phosphore semble suivre les tendances des surfaces d'ulves. Pour le site de Grandcamp-Maisy, l'évolution antagoniste des concentrations en phosphores et des surfaces d'algues indiqueraient que les ulves sont davantage limitées par le manque d'azote dans le milieu.

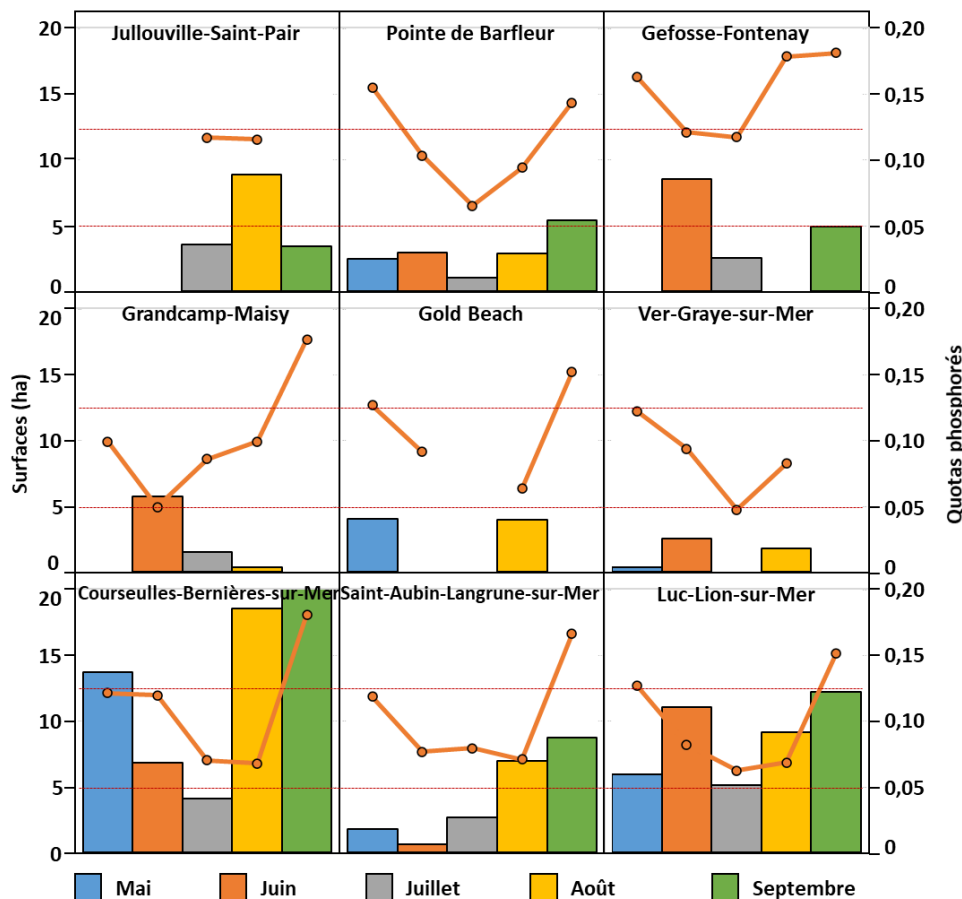


Figure 38. Evolutions des surfaces d'ulves sur les 9 sites RCO superposées aux courbes des quotas phosphorés internes pour chaque site.

5. Conclusions

5.1. Partie RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance)

L'année 2020 est la 13^{ème} année de suivi du littoral de Seine-Normandie pour le réseau de contrôle de surveillance de la DCE. Les approches mises en œuvre par les équipes CEVA ont permis, cette année encore, un dénombrement des sites touchés par les échouages d'ulves et une estimation des surfaces couvertes par les échouages. L'expertise du CEVA ainsi que les données de suivi sur une douzaine d'années permettent aujourd'hui une évaluation de la qualité des masses d'eau du littoral Seine Normandie dans le cadre de la DCE.

L'analyse des données 2020 a mis en évidence :

- les **surfaces d'ulves** échouées **les plus faibles** jamais observées depuis le début du suivi en 2008,
- **23 sites concernés** au moins 1 fois par des échouages d'ulves, c'est le maximum observé (18 sites en moyenne), avec 13 sites touchés 1 fois, 4 sites touchés 2 fois et 6 sites touchés 3 fois,
- **39 sites classés** au total sur les 3 inventaires, cela correspond à la moyenne interannuelle (39 sites en moyenne), avec 14 sites en mai, 15 sites en juillet et 10 sites en septembre. Très peu de sites ont été classés sur la côte ouest du Cotentin,
- de nombreux sites caractérisés par des dépôts d'algues en mélange traduisant un nombre réduit de sites classés au total et des surfaces d'échouage moindres. Ce constat et l'identification d'algues d'arrachage confirment que la croissance de ces algues se fait, au moins en partie, fixée sur des supports et non libre dans la masse d'eau contrairement au développement des algues vertes dans les grandes baies bretonnes (phase libre uniquement). Ces échouages d'algues en mélange dont la part en ulves reste faible (e.g. ouest du Cotentin, ou lors de l'inventaire des mois de juillet et septembre pour plusieurs sites) ne justifient pas un classement des sites ni leur évaluation surfacique,
- seulement **146 ha** d'estran recouvert par des ulves, c'est presque 2,5 fois moins que l'année 2019 avec 359,9 ha,
- des échouages localement observés sur les sites de Yport et Saint-Pierre-en-Port,
- une contribution significative de la Côte de Nacre aux surfaces annuelles relevées sur l'ensemble du littoral normand, avec un record atteint pour le site de **Ouistreham** avec le seul inventaire du mois de septembre. Les sites de Courseulles-Bernières-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer sont également des contributeurs importants,
- une **contribution très faible de Gold Beach** qui est habituellement un contributeur important,
- des échouages **faibles** sur les sites de **Gefosse-Fontenay et Grandcamp-Maisy**,
- l'ouest Cotentin qui reste peu concerné par les échouages d'ulves
- des **dépôts à risque** relevés dans le port du Becquet, à Barfleur et Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer avec des concentrations d'H₂S pouvant atteindre jusqu'à **86 ppm**

Concernant le suivi interannuel dans le cadre de la DCE, les indices EQR évaluant la qualité écologique des masses d'eau a montré, sur la période 2015-2020 :

- **7** masses d'eau **stables** (FRHC03, FRHC04, FRHC 07, FRHC13 **-très mauvais-**, FRHC15, FRHT06, FRHT03)
- **6** masses d'eau en **amélioration** (FRHC02, FRHC08, FRHC09, FRHC 10, FRHC 11, FRHC12)
- **3** masses d'eau en **régression** (FRHC14, FRHC17, FRHC60)

Sur les 16 masses d'eau évaluées :

- **10** masses d'eau en **très bon** état écologique
- **3** masses d'eau en **bon** état écologique
- **2** masses d'eau en état écologique **moyen** (FRHC08, FRHC12)
- **1** masse d'eau en état écologique **très mauvais** (FRHC13)

5.2. Partie RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel)

L'année 2020 est la 7^{ème} année de suivi RCO sur le littoral Seine-Normandie. Les campagnes de terrain ont toutes eu lieu avec cependant 17 prélèvements qui n'ont pas pu être effectués en raison de **l'absence de dépôt** sur le terrain.

Cette évaluation, réalisée en juin et en août 2020 sur 9 sites normands en complément du RCS a permis, comme pour les années précédentes, de compléter l'évaluation mensuelle des surfaces d'échouage entre mai à septembre (suivis RCS + RCO). Elle a également permis de suivre les indices d'eutrophisation des différents sites prospectés.

En ce qui concerne l'estimation surfacique des dépôts sur toute la saison 2020 (de mai à septembre), sur les 9 sites suivis dans le cadre du RCO :

- les surfaces cumulées en algues vertes et leur évolution sur la saison sont variables selon les sites,
- pour la plupart des sites, les ulves sont présentes en début et fin de saison avec une diminution en milieu de saison, sur l'inventaire de juillet,
- les surfaces digitalisées sont relativement faibles par rapport aux années précédentes,
- Comme les années précédentes, le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer présente la contribution relative la plus élevée (32% en moyenne). En revanche, les contributions relatives des sites de Gefosse-Fontenay, Grandcamp-Maisy et Gold Beach sont en moyenne inférieures à 10% (9%, 5% et 4% respectivement), contrairement aux années précédentes.

En ce qui concerne les indices d'eutrophisation estimés par les quotas internes en azote et phosphore, on peut observer :

- une eutrophisation des eaux sur ce secteur du littoral, qui se traduit notamment par des contenus en azote supérieur à 2% de M.S. sur les 5 sites les plus proches de l'estuaire de la Seine (de Gold Beach à Luc-Lion-sur-Mer),
- des concentrations en phosphore limitantes pour la croissance algale sur l'ensemble des sites, avec des quotas sous le seuil critique Q_1P ,
- des ulves prélevées sur la côte de Nacre (de Gold Beach à Luc-Lion-sur-Mer) présentant des profils en azote et phosphore similaires, suggérant une connexion entre les sites et un même environnement nutritionnel (*e.g.* sites proches de la Baie de Seine).
- des profils azotés sur la période 2014-2020 en diminution globale pour tous les sites (mais néanmoins au-dessus du seuil Q_1N) sauf pour les sites de Gefosse-Fontenay et de la pointe de Barfleur qui présente une légère augmentation.

6. Annexes

Liste des annexes :

- **Annexe 1** : Etapes de traitements pour l'estimation des surfaces couvertes par les ulves sur un site classé.
- **Annexe 2** : Questionnaire envoyé aux communes littorales pour évaluer les ramassages d'algues échouées.

Annexe 1. Etapes de traitements pour l'estimation des surfaces couvertes par les ulves sur un site classé.

Etape 1 :

Prise de photographies aériennes du site et des échouages d'ulves au moment de la basse mer



Etape 2 :

Géoréférencement des clichés aériens et création d'une mosaïque sous SIG



Annexe 2. Questionnaire envoyé aux communes littorales pour évaluer les ramassages d'algues échouées.

ENQUETE SUR LES PROLIFERATIONS ET RAMASSAGES

A renvoyer dès que possible
par mail à : algues@ceva.fr
Par courrier : CEVA.

«dep»
«com»

des proliférations et échouages		Si ramassage				
Date(s) d'apparition des proliférations et échouages	Date(s) de fin des proliférations et échouages	Date(s) de ramassage	Quantités ramassées en 2014 (en m3, si possible*)	Moyens techniques mis en œuvre pour le ramassage	Coût estimé du ramassage (chargé + transport précisé ou non)	
Type d'algues : - % algues vertes (si connu, préciser type) - % autres algues (brunes et rouges) - % « herbes marines » (Zostères) - % détritus Par localisation		Par plage	Par plage		Organisme chargé du ramassage. Précisez si : - service municipal - entreprise privée - autres	

* mesurés en tonnes, merci d'indiquer, si possible, en plus des tonnes ramassées, une équivalence tonnes/m3 et comment elle a été

Remarque : En 2019, ce questionnaire a été informatisé afin de permettre aux communes de répondre directement en ligne sur le site internet du CEVA.