

CENTRE D'ÉTUDE
& DE VALORISATION
DES ALGUES



ALGAE TECHNOLOGY
& INNOVATION
CENTRE

RCS ET RCO SEINE-NORMANDIE ANNEE 2021

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

Rapport Annuel

Avril 2022

Anthony LE BRIS : Ingénieur de projet
Clément DANIEL : Ingénieur de projet
Loïc CELLIER : Technicien environnement
Sébastien BOSC : Technicien environnement
Sylvain BALLU : Chef de projet
Sophie RICHIER : Responsable rôle « 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)	16
3.1.	Campagnes aériennes et de terrain	16
3.2.	Classement des sites	17
3.2.1.	Dénombrement des sites concernés.....	17
3.2.2.	Evolution visuelle des échouages.....	21
3.2.3.	Echouages d'autres algues	32
3.2.4.	Sargasses	34
3.2.5.	Echouages « à risque »	35
3.3.	Estimation quantitative surfacique	37
3.3.1.	Evolution saisonnière des échouages d'ulves pour le suivi RCS 2021.....	37
3.3.2.	Evolution interannuelle des échouages d'ulves de 2008 à 2021	46

3.4.	Fiches web	50
3.5.	Classement DCE des différentes masses d'eau normandes.....	51
4.	RESULTATS RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel).....	58
4.1.	Campagnes aériennes et de terrain	58
4.2.	Classement des sites	58
4.1.	Estimation quantitative surfacique	59
4.1.1.	Evolution saisonnière des échouages d'ulves	59
4.1.2.	Evolutions interannuelles des échouages d'ulves.....	64
4.2.	Indices d'eutrophisation.....	66
4.2.1.	Eléments d'interprétation des profils saisonniers	66
4.2.2.	Profils saisonniers des quotas	68
5.	Conclusions.....	73
5.1.	Partie RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance).....	73
5.2.	Partie RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel)	74
6.	Annexes	75

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 26 juillet 2021 sur la plage de l'Anse de la Mare (Pointe de Barfleur) caractérisée 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 2021 sur le littoral Seine-Normandie. (B) Nombre total de classements par année, entre 2008 et 2021. (C) Détail du nombre de classement par inventaire et par année de suivi entre 2008 et 2021. Les lignes en pointillés rouges représentent la moyenne entre 2008 et 2021.	19
Figure 7. Répartition des sites classés et leurs occurrences sur les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS 2021.	20
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 2021.	22
Figure 9. 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 2021.	23
Figure 10. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Grandcamp-Maisy pour l'année 2021.	24
Figure 11. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Port-en-Bessin pour l'année 2021.	25
Figure 12. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Arromanches - Asnelles pour l'année 2021.	26
Figure 13. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Gold Beach pour l'année 2021.	27
Figure 14. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Ver-Graye-sur-Mer pour l'année 2021.	28
Figure 15. 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 2021.	29

Figure 16. 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 2021.	30
Figure 17. 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 2021.....	31
Figure 18. Photographies aériennes et de terrain des sites de Siouville (en mai), Saint-Germain-Bretteville (en mai) et Agon-Blainville (en septembre) qui n'ont pas été classés.	32
Figure 19. Photographies aériennes et de terrain des sites de Cap Lévi (en mai), la pointe de Barfleur (en juillet) qui n'ont pas été classés et Saint-Vaast-la-Hougue (en septembre) dont le dépôt n'a pas été comptabilisé pour ce site.....	33
Figure 20. Photographie d'une mare intertidale colonisée par des Sargasses qui affleurent à la surface de l'eau.....	34
Figure 21. Observation d'un andain épais et dense composé de Sargasses au niveau du Saint-Aubin.	35
Figure 22. Photographies aériennes et de terrain des sites de la pointe de Gefosse-Fontenay (en juillet et septembre) et de Barfleur (en septembre), concernés par des échouages à risque en état de putréfaction.....	36
Figure 23. 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 2021 avec le rappel des données depuis 2008.....	39
Figure 24. Photographies panoramiques sur le terrain acquises hors période de suivi RCS Seine-Normandie. (A) Photo à l'est du port de Grandcamp-Maisy le 17/10/2021. (B) Photo à l'ouest du port de Grandcamp-Maisy le 19/10/2021 et (C) Photo à l'est du port de Grandcamp-Maisy le 19/10/2021. (D) Photographie à marée haute au port de Grandcamp-Maisy.	40
Figure 25. Illustrations de la situation en juin 2021 sur le site d'Arromanches – Asnelles à partir de prises de vue aérienne et de terrain.	41
Figure 26. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2021.....	42
Figure 27. Répartition géographique des sites concernés : surfaces maximales observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2021.....	43
Figure 28. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2021.....	45
Figure 29. (A) Surfaces d'échouages par mois d'inventaire observées sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2021. (B) Surfaces cumulées totales annuelles des échouages observés sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2021. Les lignes en pointillés rouges représentent les moyennes interannuelles.....	46
Figure 30. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2021.....	48
Figure 31. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2021.	49

Figure 32. Actions de nettoyage des plages sur les communes de Lion-sur-Mer, Arromanches-les-Bains et Grandcamp-Maisy (curage du chenal) respectivement en juin, juillet et septembre 2021.	51
Figure 33. Calcul des EQR et de l'état écologique des masses d'eau Seine-Normandie de type 1 et de type 2 en 2021.....	53
Figure 34. Evolution annuelle de l'EQR pour chacune des masses d'eau de type 1 du littoral Seine-Normandie.....	54
Figure 35. Evolution annuelle de l'EQR pour chacune des masses d'eau de type 2 du littoral Seine-Normandie.....	55
Figure 36. Cartographie de l'état écologique des masses d'eau du littoral Seine-Normandie pour l'indicateur « Blooms de macroalgues opportunistes ».....	57
Figure 37. Evolution des surfaces d'ulves sur les 5 inventaires au cours de la saison 2021.	61
Figure 38. Surfaces cumulées des échouages d'ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l'année 2021. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.....	62
Figure 39. Variations mensuelles des échouages d'ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l'année 2021. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.....	63
Figure 40. Evolution interannuelle de la surface cumulée en ulves sur les 9 sites suivis entre 2014 et 2021. Le cumul correspond à la somme des 5 inventaires de mai à septembre. Les pointillés rouges représentent les moyennes interannuelles pour chaque site.	64
Figure 41. 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.	65
Figure 42. 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.....	66
Figure 43. Localisation des prélèvements des échantillons d'ulves pour l'analyse des quotas internes en azote et phosphore pour les 9 sites prédéfinis dans le RCO Seine-Normandie en 2021.....	70
Figure 44. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2021 pour les sites 9 sites définis dans le RCO Seine-Normandie. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).	72

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 2021.....	16
Tableau 6. Récapitulatif des sites classés en 2021 pour les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS Seine-Normandie.....	18
Tableau 7. Surfaces estimées en ulves lors des 3 inventaires de l'année 2021 pour tous les sites classés comme concernés par des échouages d'ulves. Les surfaces sont exprimées en hectares équivalent 100 %.....	38
Tableau 8. Surfaces de couverture par les ulves par masse d'eau lors des trois inventaires RCS de l'année 2021. Les surfaces sont exprimées en hectare équivalent 100%).	44
Tableau 9. Détails des calculs des métrique 1 à 3 pour les marées vertes de type 1 pour chacune des masses d'eau DCE du bassin Seine-Normandie sur la base de l'EQR macroalgues opportunistes (2016-2021).	56
Tableau 10. Détails des calculs des métrique 1 à 3 pour les marées vertes de type 2 pour chacune des masses d'eau DCE du bassin Seine-Normandie sur la base de l'EQR macroalgues opportunistes (2016-2021).	56
Tableau 11. Dates des acquisitions aériennes et des observations terrain pour les inventaires RCO de l'année 2021.....	58
Tableau 12. Récapitulatif des sites classés en 2021 pour les 2 inventaires de juin et août du RCO Seine-Normandie.....	59
Tableau 13. Surfaces d'algues vertes digitalisées lors des 2 inventaires RCO de l'année 2021 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) pour ces 9 sites.	59
Tableau 14. Date et localisation des prélèvements des échantillons d'ulves pour l'analyse des quotas internes en azote et phosphore pour les 9 sites prédéfinis dans le RCO Seine-Normandie en 2021.	71

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 2020. Ces suivis ont ensuite été renouvelés pour la période 2021 - 2024.

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 jusqu'en 2024.

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).

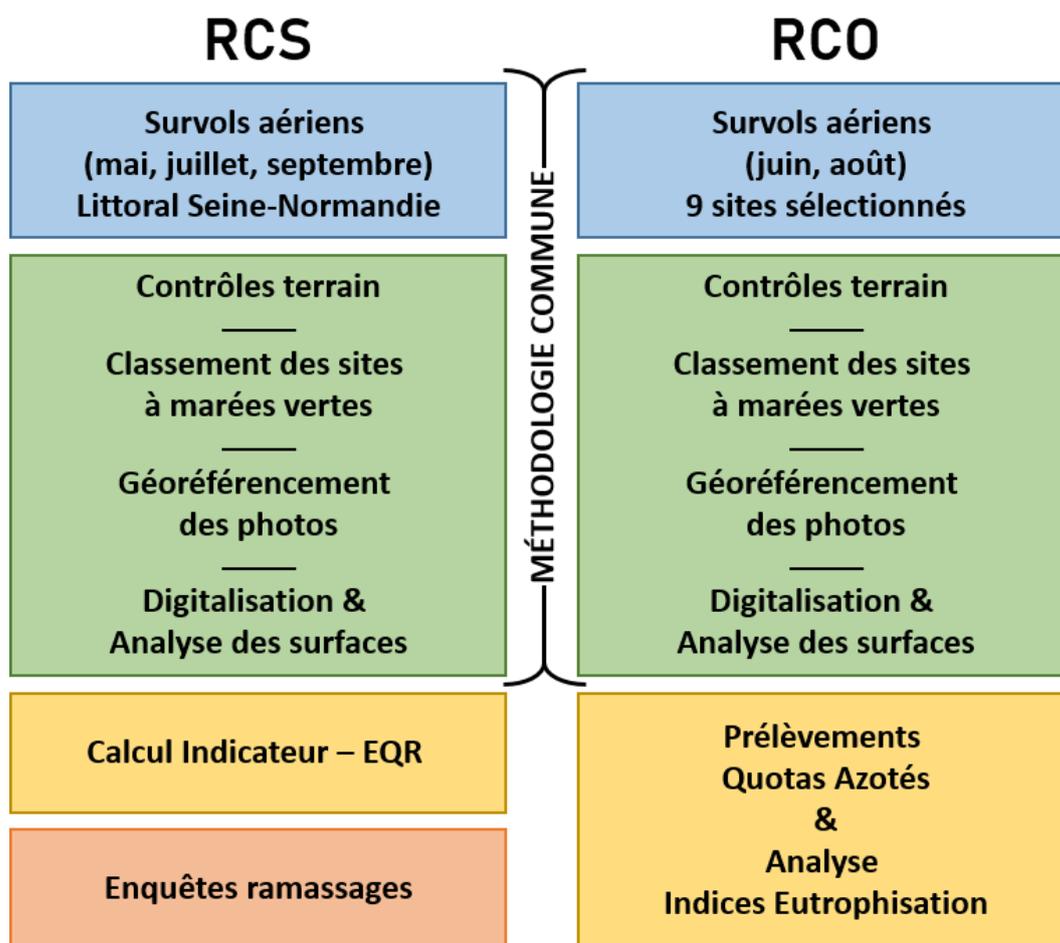


Figure 1. Récapitulatif des actions menées dans le cadre des programmes de Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) et Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO).

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 basée 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.



Figure 2. Photographie du 26 juillet 2021 sur la plage de l'Anse de la Mare (Pointe de Barfleur) caractérisée par un dépôt d'algues important mais dominé par les algues rouges.

Le dénombrement de sites est un indicateur qu'il convient d'utiliser avec prudence. L'importance des développements d'algues vertes de l'année sera qualifiée de façon plus fine à travers l'indicateur des surfaces couvertes par les ulves.

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
		Courseulles-Bernières-Sur-Mer	1
Côte De Nacre Est	FRHC13	Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer	1
		Luc-Lion-Sur-Mer	1
			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 (Agisoft Metashape) 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 confirment l'intérêt de faire évoluer la méthodologie et ainsi optimiser le temps de traitement.

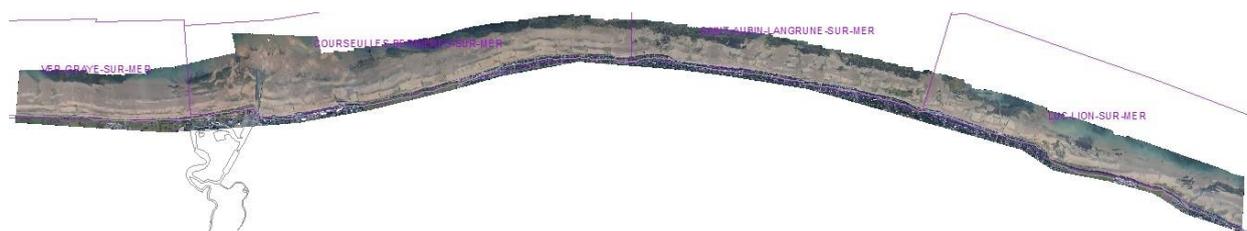


Figure 3. Exemple d'un résultat de traitement de mosaïquage automatique de plusieurs photos aériennes sur les sites de Ver-Graye-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer. Cette mosaïque est caractérisée par des paramètres de contraste et luminosité homogènes et une 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 » interne au CEVA (Base Access®) 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.

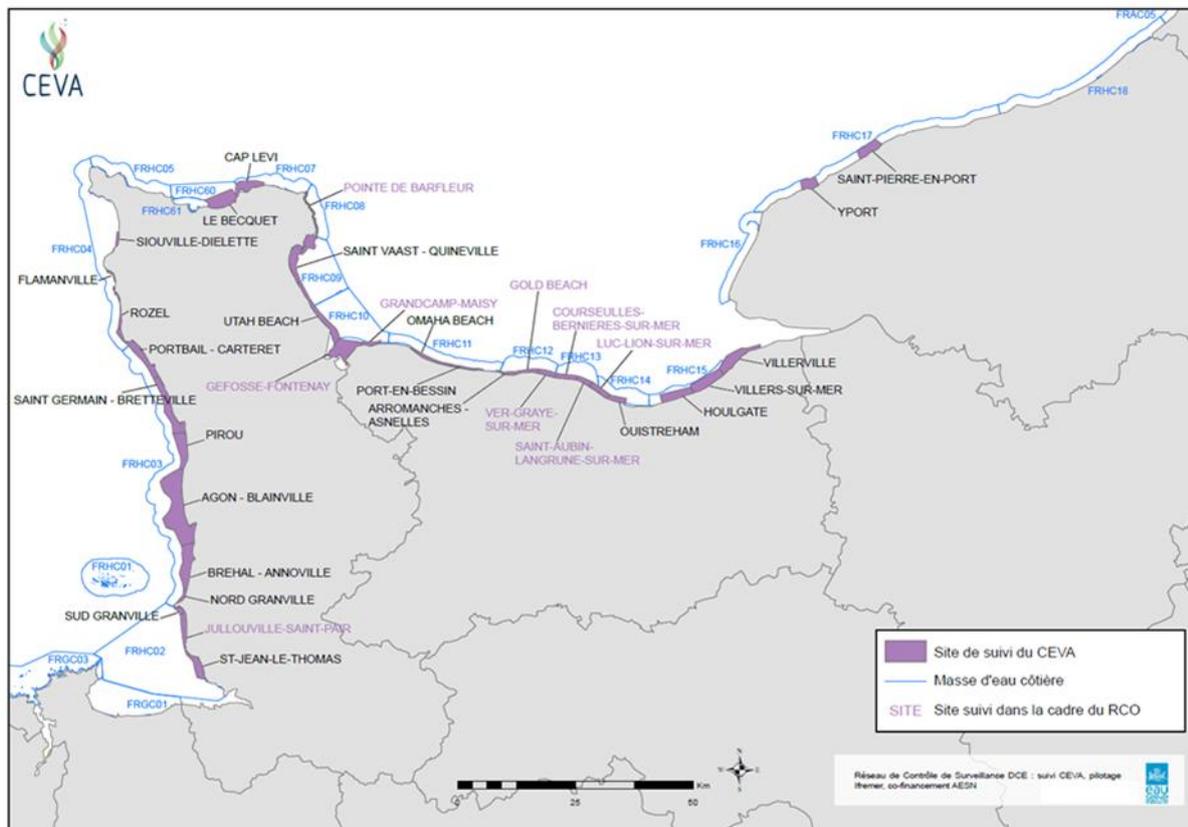


Figure 4. Carte des masses d'eau du bassin Seine-Normandie, suivies dans le cadre du programme RCS de l'indicateur « blooms de macroalgues opportunistes ». Les sites en violet correspondent au redécoupage, au sein des masses d'eau, des secteurs pouvant représenter un risque de développement d'algues 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[	[1-0.8[	Très bon
[0.5-1.5[	[0.25-0.75[	[10-30[	[0.8-0.6[	Bon
[1.5-4[	[0.75-2[	[30-60[	[0.6-0.4[	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 2022. 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 effet très variable : les volumes peuvent provenir d'estimations de masse ou de volume, ou ne sont pas

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 ».

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 CEVA² et disponible également sur le site de l'Agence de l'Eau Seine-Normandie³. Des fiches récapitulatives relatives à chaque site suivi sur le littoral Seine-Normandie sont mises à disposition du grand public. Ces fiches ont pour but d'améliorer la dissémination des informations acquises dans le cadre des missions de suivis des échouages d'algues et de mettre à disposition 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).

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.

² <https://www.ceva-algues.com/document/algues-vertes-en-normandie/>

³ http://www.eau-seine-normandie.fr/qualite-de-l-eau/qualite-des-eaux-littorales/surveillance_echouage_algues

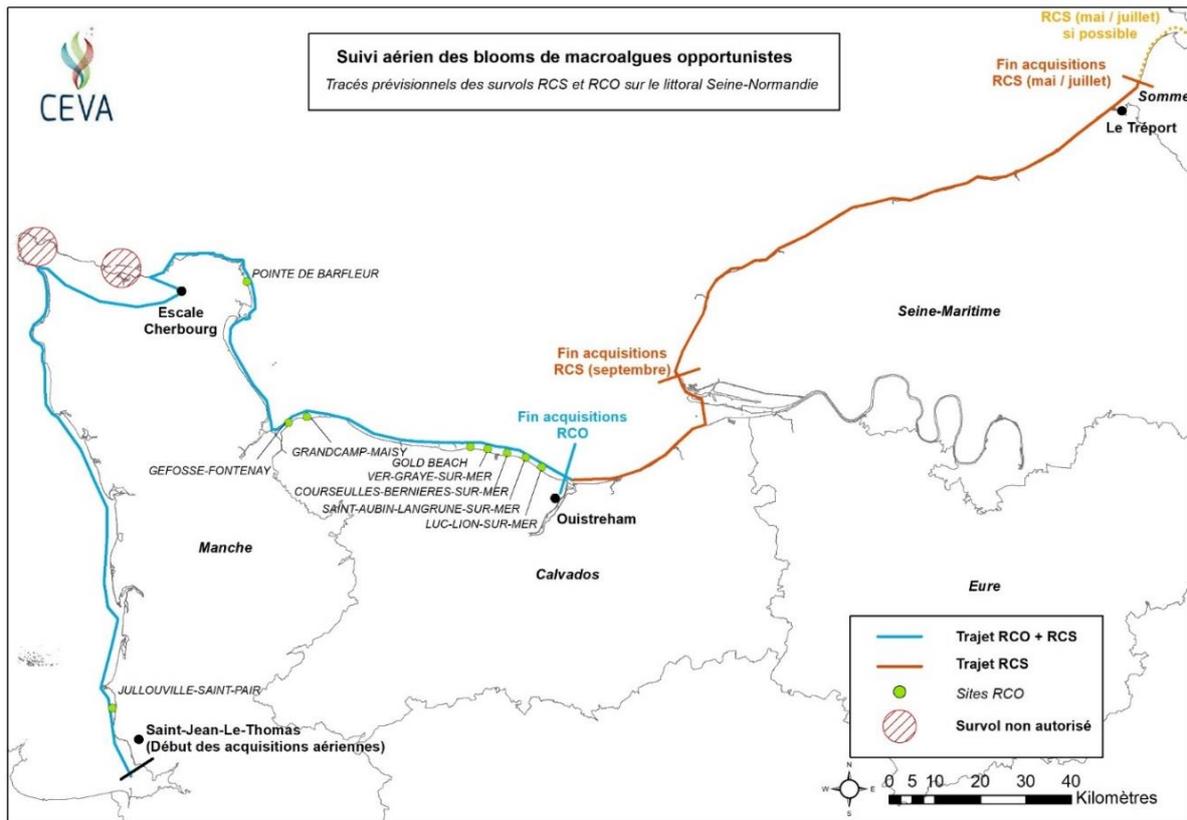


Figure 5. Cartographie des survols aériens effectués le long du littoral Seine-Normandie avec le parcours RCO (trajet bleu) et les 9 sites suivis et le parcours RCS (trajet bleu + orange).

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 apports 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 sp.* (*Ulva lacinulata* précédemment *U. 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.

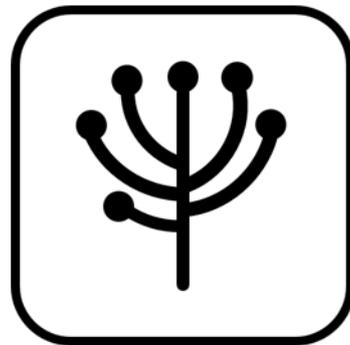
De retour au laboratoire, les lots ont été conditionnés : nettoyage dans un ou plusieurs bains d'eau de mer, rinçage rapide à l'eau distillée pour éliminer le sel, congélation des échantillons à -20 °C et lyophilisation. Avant chaque analyse, les lots ont été homogénéisés au broyeur. Chaque lot a fait 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



3. RESULTATS RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance)

3.1. Campagnes aériennes et de terrain

Pour l'année 2021, 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 50, 70 et 64 fiches de synthèse pour les mois de mai, juillet et septembre respectivement. Ces fiches fournissent des détails sur tous les dépôts qui ont nécessité une vérification *in situ* et peuvent donc correspondre à plusieurs observations différentes pour un même site.

Tableau 5. Dates des acquisitions aériennes et des observations terrain pour les inventaires RCS de l'année 2021.

Inventaire RCS	Date du vol	Coefficient de marée	Littoral survolé	Date des observations <i>in situ</i>	Nombre de fiches réalisées
MAI	27/05/2021	103	Saint-Jean-le-Thomas > Le Tréport	28-29/05/2021	50
JUILLET	22/07/2021	77	Saint-Jean-le-Thomas > Baie de Somme	23-27/07/2021	71
SEPTEMBRE	20/09/2021	91	Saint-Jean-le-Thomas > Le Havre	21-23/09/2021	64

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 2021, quelques sites ou secteurs (exemple : certaines plages ou criques le long du site de Barfleur) n'ont pas été classés ou traités malgré la présence d'échouages massifs dominés par d'autres types d'algues que les algues vertes lorsqu'elles représentaient moins de 30 % de l'échouage.

Pour l'ensemble des 3 inventaires du RCS 2021, sur les 33 sites du littoral Seine-Normandie, 19 sites ont été classés au moins 1 fois comme concernés par des échouages d'ulves (Tableau 6), ce qui correspond approximativement à la moyenne interannuelle. Parmi ces sites, seulement 1, Utah Beach, a été classé une seule fois, tandis que 8 sites ont été classés à 2 reprises et 10 sites ont été classés à chaque inventaire. L'année 2021 se situe dans la moyenne interannuelle des sites classés au moins 1 fois car entre 2008 et 2021, ce sont environ 18 sites différents qui sont classés par an avec 14 sites au minimum, en 2008, et 23 sites au maximum, en 2020 (Figure 6A). En comparant le nombre total de classement (un même site peut être classé plusieurs fois dans la saison), l'année 2021 est très au-dessus de la moyenne interannuelle (39 sites) avec au total 47 classements et se rapproche de l'année 2017 où le nombre maximum de sites classés a été observé (48 classements, Figure 6B). Cela traduit une année d'échouages d'algues vertes assez étendue, en touchant plusieurs fois des sites récurrents.

Un des indicateurs pour estimer la précocité et la durée des événements des marées vertes est le nombre de sites classés en mai et en septembre par rapport à la moyenne interannuelle. En moyenne sur les 14 dernières années de suivi, 11 sites ont été classés en mai, environ 15 en juillet et 14 en septembre (Figure 6C). Les années 2009, 2010, 2014, 2018, 2019, 2020, ainsi que 2021 sont supérieures à la moyenne interannuelle pour le mois de mai ce qui indique que les marées vertes ont été étendues dès le début de la saison. En revanche, les années 2011, 2012, 2013, 2014, 2016, 2017, 2019 ainsi que 2021 sont supérieures à la moyenne interannuelle pour le mois de septembre et ont donc été plutôt tardive dans le temps. Il faut cependant prendre en compte le décalage dans le temps des marées de vives eaux d'une année sur l'autre. Ainsi, pour les années 2010, 2014, 2018 et 2021, les créneaux d'acquisition ont été reportés en fin de mois plutôt qu'au début de mois pour les autres années de suivis. La précocité des échouages pour ces 4 années est donc à relativiser car les acquisitions ayant eu lieu à la fin du mois de mai peuvent s'apparenter à la période du mois de juin pour les autres années. En revanche, les années 2014 et 2021, considérées comme tardive, le sont d'autant plus par rapport aux autres années puisque les acquisitions ont été effectuées fin septembre.

Les sites classés pour l'année 2021 se répartissent surtout sur le Calvados entre Port-en-Bessin et Luc-Lion-sur-Mer où tous les sites ont été impactés à plusieurs reprises par des échouages. Les sites du Becquet, Cap Lévi et la Pointe de Barfleur sur la pointe nord du Cotentin sont également touchés. Du côté est et ouest Cotentin, cela concerne qu'une partie du littoral avec notamment Granville et Jullouville dans le prolongement du Mont-Saint-Michel, et les sites de Saint-Vaast-la-Hougue et Utah Beach influencés par les courants de La Manche au nord et par les effluents de La Vire au sud (Figure 7).

Tableau 6. Récapitulatif des sites classés en 2021 pour les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS Seine-Normandie.

Sites	Inventaire	Inventaire	Inventaire	Occurrence 2021	Rappels		Occurrences 2018
	MAI	JUILLET	SEPTEMBRE		2020	2019	
St-Jean-Le-Thomas					1		
Jullouville-Saint-Pair				2	2	2	2
Sud Granville				2	1	2	3
Nord Granville					1		
Brehal - Annoville							
Agon - Blainville							
Pirou							
Saint Germain - Bretteville							
Portbail - Carteret							
Rozel							
Flamanville							
Siouville-Dielette					1		1
Le Becquet				3	3	2	
Cap Levi				2	3	1	3
Pointe De Barfleur				3	3	3	3
Saint Vaast - Quineville				2	1	1	3
Utah Beach				1	1	1	
Gefosse-Fontenay				2	2	3	3
Grandcamp-Maisy				3	1	3	3
Omaha Beach				2			
Port-En-Bessin				3		3	2
Arromanches - Asnelles				3	1	2	2
Gold Beach				3	1	3	2
Ver-Graye-Sur-Mer				3	2	2	2
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				2	1	2	1
Houlgate					1		
Villers-sur-Mer							
Villerville				2	1	2	
Yport					1		
Saint-Pierre-en-Port					2	1	
TOTAL	12	18	17	47	39	42	39

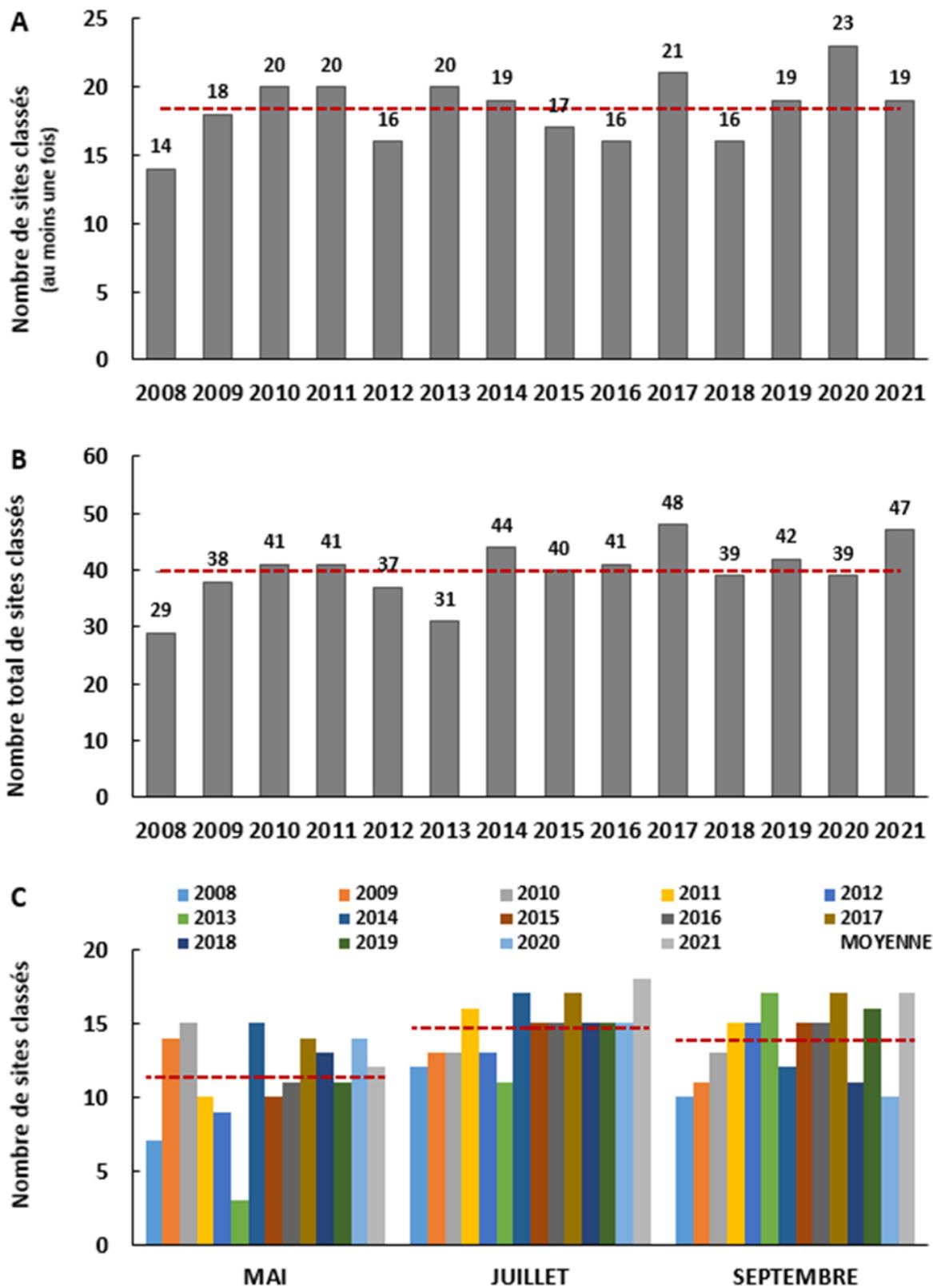


Figure 6. (A) Nombre de sites classés au moins une fois entre 2008 et 2021 sur le littoral Seine-Normandie. (B) Nombre total de classements par année, entre 2008 et 2021. (C) Détail du nombre de classement par inventaire et par année de suivi entre 2008 et 2021. Les lignes en pointillés rouges représentent la moyenne entre 2008 et 2021.

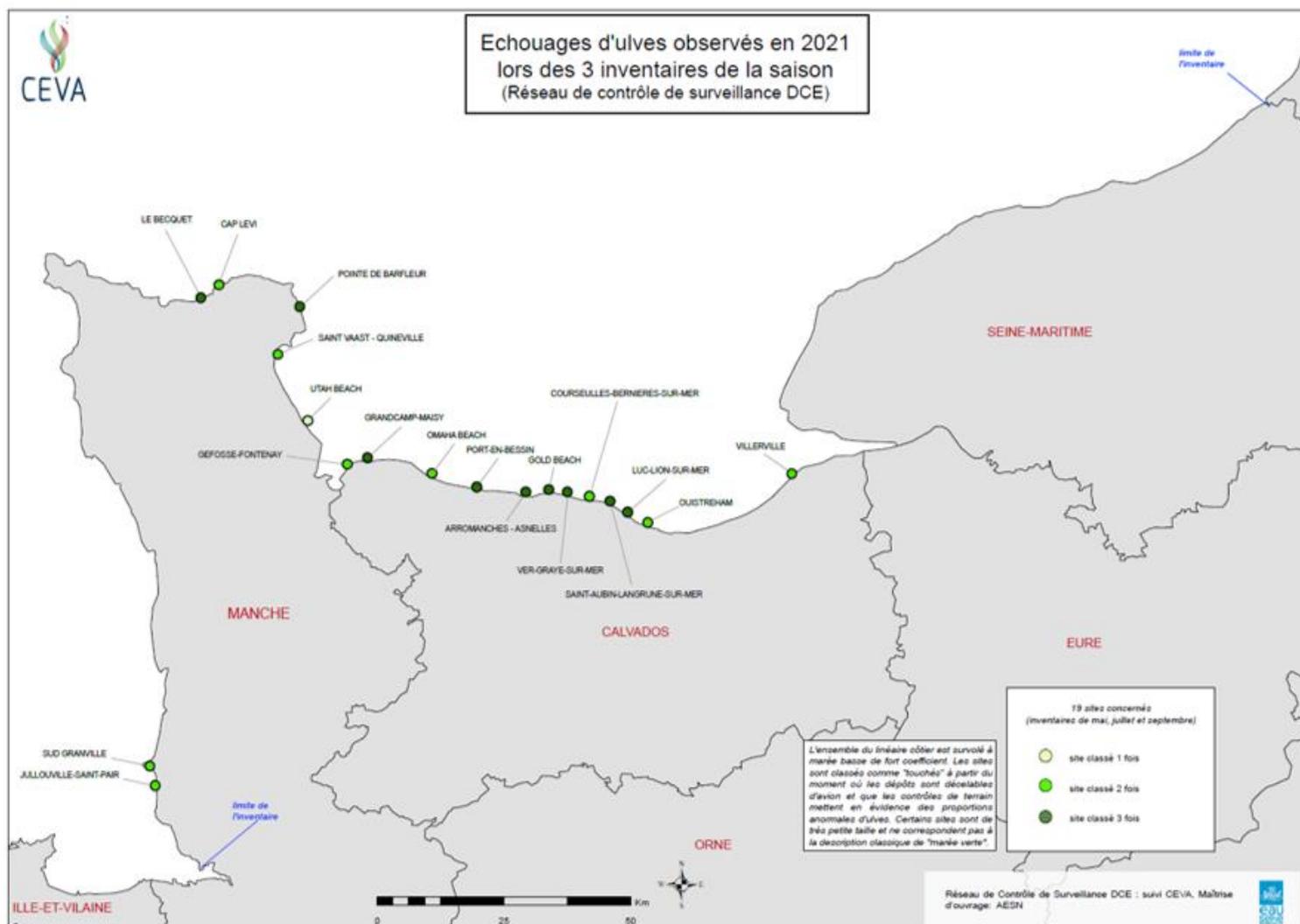


Figure 7. Répartition des sites classés et leurs occurrences sur les 3 inventaires de mai, juillet et septembre du RCS 2021.

3.2.2. Evolution visuelle des échouages

Au cours de la saison 2021, 10 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 17 ci-dessous. Les pourcentages de recouvrement correspondent aux observations du dépôt réalisés 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 d'algues brunes, rouges, vertes présentés sont le résultat d'une moyenne sur plusieurs observations réalisées pour un même site. Elles 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 2021.

Pointe de Barfleur

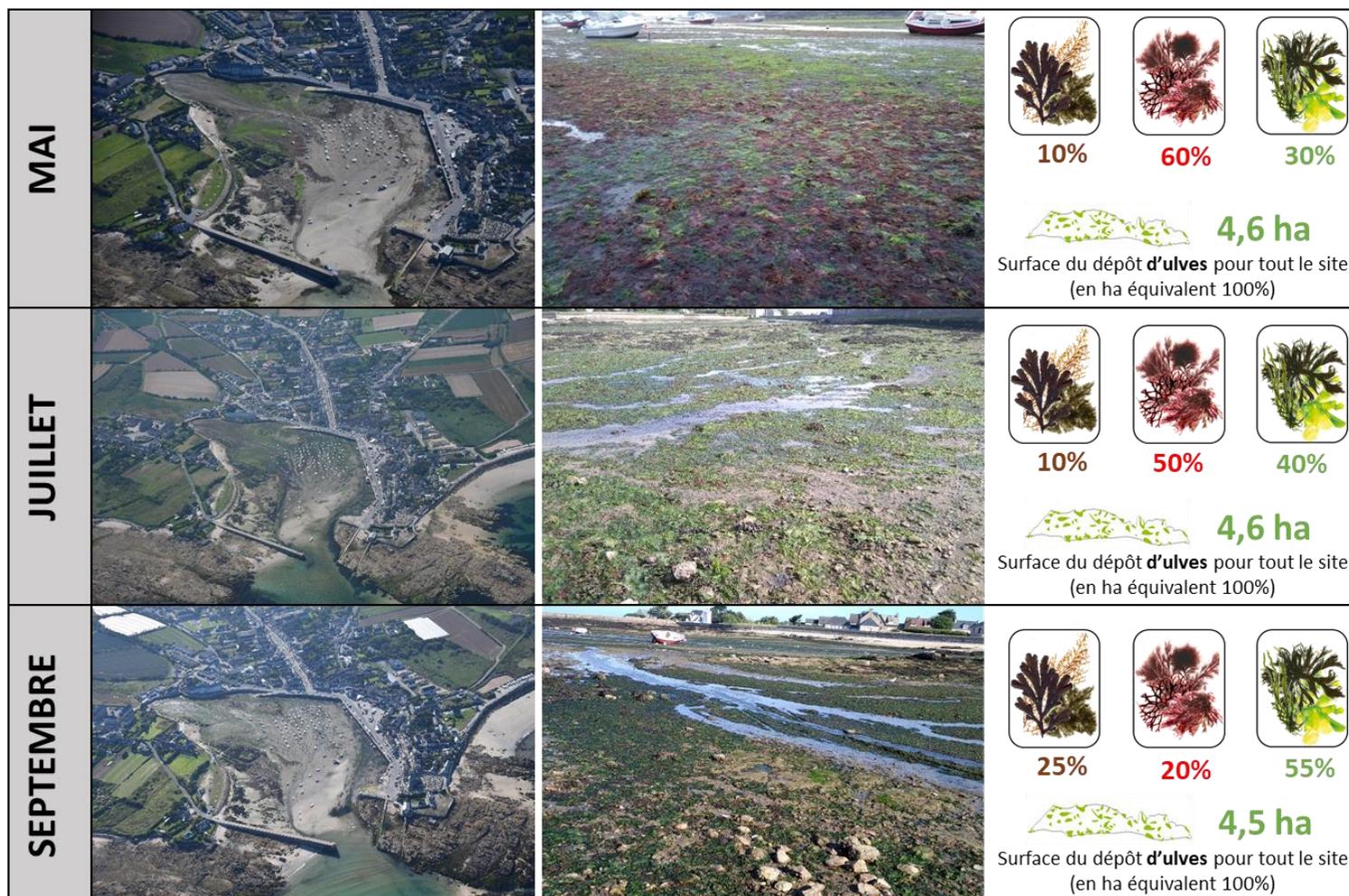


Figure 9. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de la Pointe de Barfleur (port) pour l'année 2021.

Grandcamp-Maisy



Figure 10. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Grandcamp-Maisy pour l'année 2021.

Port-en-Bessin



Figure 11. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Port-en-Bessin pour l'année 2021.

Arromanches - Asnelles



Figure 12. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Arromanches - Asnelles pour l'année 2021.

Gold Beach



Figure 13. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Gold Beach pour l'année 2021.

Ver-Graye-sur-Mer



Figure 14. Récapitulatif de l'évolution des échouages d'algues vertes et des dépôts d'ulves sur le site de Ver-Graye-sur-Mer pour l'année 2021.

Courseulles-Bernières-sur-Mer



Figure 15. 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 2021.

Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer



Figure 16. 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 2021.

Luc-Lion-sur-Mer



Figure 17. 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 2021.

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. De façon générale la côte ouest du Cotentin entre Granville et Siouville, les échouages observés sont composés d'algues brunes arrachées. Ce linéaire côtier est en effet caractérisé par de grandes plages de sable fin avec moins de platiers rocheux favorables à la croissance des algues vertes. Dans la laisse de mer des algues vertes peuvent être retrouvées mais souvent sous forme filamenteuse et non des ulves en lame caractéristiques des marées vertes. En 2021, des dépôts plus ou moins diffus, en mélange d'algues ont été observés (Figure 18). Après certains épisodes de tempêtes au cours de la saison, il n'est pas rare d'observer des dépôts assez conséquents formant des andains épais en haut de plage mais sans la présence d'ulves. Il est également possible que ces échouages, malgré l'absence d'algues vertes, se dégradent sur le sédiment et engendrent des perturbations sur le milieu (putréfaction, dégagement d'H₂S, sédiment noirci...).



Figure 18. Photographies aériennes et de terrain des sites de Siouville (en mai), Saint-Germain-Bretteville (en mai) et Agon-Blainville (en septembre) qui n'ont pas été classés.

Sur le littoral du Calvados, de nombreux échouages étaient également composés d'un mélange d'algues et non dominés par la présence d'algues vertes (Figure 19). Lorsque ces types d'échouages concernent tout le site alors celui-ci n'est pas classé, comme cela a été le cas pour Cap Lévi au mois de mai. Lorsque ces dépôts sont localisés sur une plage mais différent d'autres échouages d'ulves présents sur le site,

alors celui-ci est classé mais le dépôt mixte n'est pas comptabilisé dans les surfaces totales d'ulves (ou le faible taux de proportion est pris en compte dans la digitalisation), comme cela a été le cas sur la pointe de Barfleur au mois de juillet ou à Saint-Vaast au mois de septembre.

CAP LEVI (Mai)			 50%	 30%	 20%	Site non classé
BARFLEUR (Juillet)			 5%	 70%	 20%	Dépôt non comptabilisé
SAINT-VAAST (septembre)			 60%	 30%	 10%	Dépôt non comptabilisé

Figure 19. Photographies aériennes et de terrain des sites de Cap Lévi (en mai), la pointe de Barfleur (en juillet) qui n'ont pas été classés et Saint-Vaast-la-Hougue (en septembre) dont le dépôt n'a pas été comptabilisé pour ce site.

3.2.4. Sargasses

En plus des échouages massifs d'algues rouges et/ou d'algues vertes, le littoral normand est également parfois impacté par des échouages massifs de Sargasses (*Sargassum muticum*) qui colonisent les platiers rocheux, notamment dans les zones qui restent immergées à marée basse. Ces algues ont une croissance importante formant de longue lanière qui affleurent à la surface de l'eau et qui peuvent envahir certaines mares intertidales (Figure 20). Lors des tempêtes ces algues sont arrachées et viennent s'échouer sur les plages.



Figure 20. Photographie d'une mare intertidale colonisée par des Sargasses qui affleurent à la surface de l'eau.

Sur la saison 2021, des amas de Sargasses ont été observés en haut de plage sur le secteur de Saint-Aubin (Figure 21), mais les campagnes terrain ont également reportées la présence de Sargasses échouées (entières ou parfois juste les flotteurs qui se sont décrochés du thalle) sur les secteurs de Luc-Lion-sur-Mer et Cap Lévi au mois de mai, entre Omaha Beach et Luc-Lion, ainsi que du côté de Barfleur et Pirou au mois de juillet et quelques observations au niveau de Jullouville, Grandcamp-Maisy et Courseulles-sur-Mer au mois de septembre.



Figure 21. Observation d'un andain épais et dense composé de Sargasses au niveau du Saint-Aubin.

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.

Cette année, le principal site concerné par des dépôts à risque a été le site de Gefosse-Fontenay, dont les dépôts en haut de plage se sont rapidement décomposés dès le mois de juillet. Des figures de sédiment et d'écoulements noirs ont été observées avec la présence d'échouages d'algues dont l'identification était impossible. Les odeurs de putréfaction se ressentaient dès l'arrivée sur le haut de plage et les détecteurs d' H_2S ont mesurés entre 8,4 et 18 ppm à la surface du sédiment ou du dépôt mais inférieur à 1 ppm à hauteur d'homme.

Des situations similaires mais moins extrêmes ont été observées au niveau du Havre de Crabec sur la pointe de Barfleur au mois de mai et de la plage de la Roche Salmon en septembre, ainsi qu'au niveau de Port-en-Bessin en septembre où les dépôts d'algues ont commencé à se dégrader.

GEFOSSE-FONTENAY (juillet)			<p>Impossible à déterminer</p> <p>Fortes odeurs de décomposition</p>
BARFLEUR (septembre)			<p>Impossible à déterminer</p> <p>Fortes odeurs de décomposition</p>
GEFOSSE-FONTENAY (septembre)			<p>Impossible à déterminer</p> <p>H2S = 8,4 ppm</p>

Figure 22. Photographies aériennes et de terrain des sites de la pointe de Gefosse-Fontenay (en juillet et septembre) et de Barfleur (en septembre), concernés par des échouages à risque en état de putréfaction.

3.3. Estimation quantitative surfacique

3.3.1. Evolution saisonnière des échouages d'ulves pour le suivi RCS 2021

Le suivi annuel de la prolifération d'ulves comprend le recensement du nombre de sites concernés par des échouages massifs d'ulves qui permet d'avoir un indicateur sur l'étendue de la marée verte (pour savoir quels sites sont touchés et si de nouveaux sites apparaissent), mais ne permet pas d'évaluer l'ampleur de celle-ci. Pour cela, les surfaces d'estran recouvertes par des échouages d'ulves sont estimées après chaque vol pour les sites classés. 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 2021, ainsi que le cumul et le maximum annuel est présenté dans le tableau 7 pour chacun des sites classés. Le cumul annuel est très variable selon les sites avec des surfaces minimales inférieures à 3 ha pour les sites de Cap Lévi, Omaha Beach et Le Becquet et jusqu'à **71,6 ha** pour le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer. Le maximum annuel a été observé à Courseulles-Bernières-sur-Mer au mois de mai avec 42 ha. Au total, sur les 3 inventaires, 296 ha d'échouages ont été digitalisés. L'inventaire du mois de mai a été particulièrement dense avec plus de 123 ha d'ulves contre 88,5 ha au mois de juillet et 84.1 ha en septembre. Les sites les plus touchés sont les 9 sites qui sont inclus dans le programme RCO, ainsi que le site d'Arromanches - Asnelles qui comptabilise près de 20,5 ha sur la saison (notamment sur les inventaires de septembre et juillet).

Tableau 7. Surfaces estimées en ulves lors des 3 inventaires de l'année 2021 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)
St-Jean-Le-Thomas					
Jullouville-Saint-Pair		8,7	7,8	16,5	8,7
Sud Granville		0,6	4,2	4,8	4,2
Nord Granville					
Brehal - Annoville					
Agon - Blainville					
Pirou					
Saint Germain - Bretteville					
Portbail - Carteret					
Rozel					
Flamanville					
Siouville-Dielette					
Le Becquet	2,0	0,5	0,3	2,9	2,0
Cap Levi		0,5	0,4	0,9	0,5
Pointe De Barfleur	4,6	4,6	4,5	13,7	4,6
Saint Vaast - Quineville		1,9	4,5	6,3	4,5
Utah Beach		8,2		8,2	8,2
Gefosse-Fontenay		6,8	9,2	16,0	9,2
Grandcamp-Maisy	9,9	3,6	7,3	20,8	9,9
Omaha Beach	0,8	0,7		1,5	0,8
Port-En-Bessin	2,9	0,5	0,3	3,7	2,9
Arromanches - Asnelles	0,5	8,2	11,7	20,5	11,7
Gold Beach	14,0	13,0	5,7	32,7	14,0
Ver-Graye-Sur-Mer	7,0	3,9	3,3	14,2	7,0
Courseulles-Bernières-Sur-Mer	42,1	20,7	8,9	71,6	42,1
Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer	17,8	0,7	6,1	24,6	17,8
Luc-Lion-Sur-Mer	18,8	4,4	5,6	28,7	18,8
Ouistreham	3,1		1,8	4,9	3,1
Houlgate					
Villers-sur-Mer					
Villerville		0,7	2,6	3,3	2,6
Yport					
Saint-Pierre-en-Port					
TOTAL	123,4	88,5	84,1	296,1	

L'année 2021 est représentée par autant de petits sites dont les surfaces sont inférieures à 10 ha (7 sites < 5ha ; 2 sites < 10ha) que des sites d'importance moyenne (4 sites < 20 ha ; 5 sites < 40 ha), entre 10 et 40 ha, et un seul site dont les surfaces ont été supérieures à 40 ha (Courseulles-Bernières-sur-Mer avec 71,6 ha, Figure 23). Pour le mois de mai ce sont surtout les sites de Courseulles-Bernières-sur-Mer, Luc-Lion-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer et Gold Beach qui contribuent aux surfaces importantes. Au mois de juillet, on retrouve les sites de Courseulles et Gold Beach, tandis qu'au mois de septembre, ce sont plutôt les sites de Arromanches – Asnelles et Gefosse-Fontenay mais dans une moindre mesure car

les surfaces sont de 11,7 ha et 9,2 ha respectivement. En comparaison des autres années suivies, la répartition des classes de taille pour l'année 2021 ressemble approximativement aux autres années malgré une importance moindre des sites supérieurs à 40 ha. Seule l'année 2020 se démarque réellement de l'analyse avec de nombreux très petits sites (16 sites dont les surfaces sont inférieures à 5 ha) et aucun gros site avec des surfaces supérieures à 40 ha.

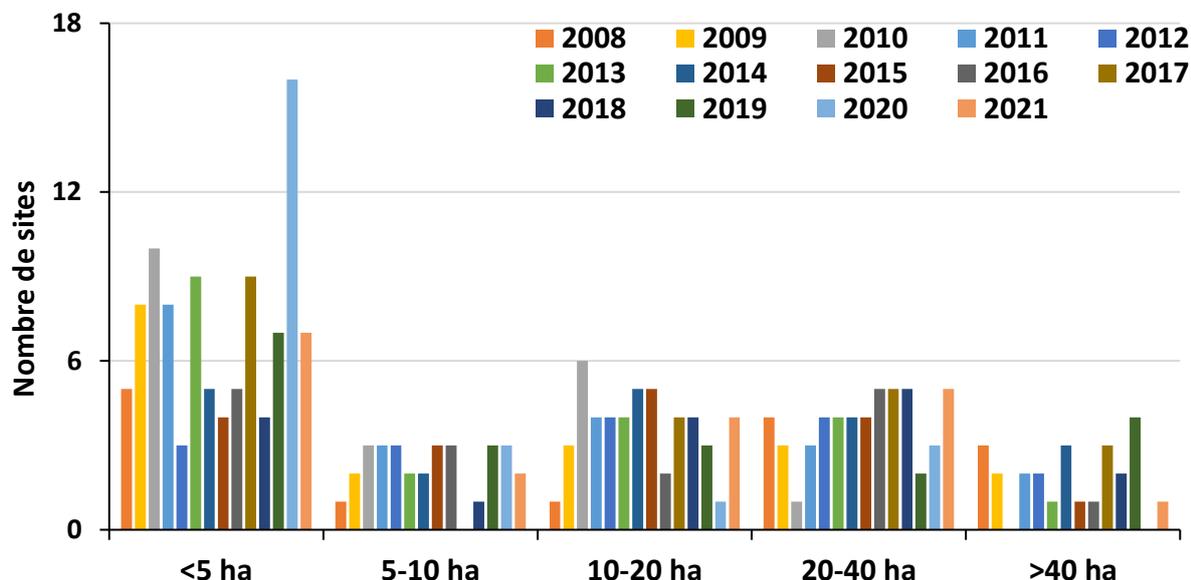


Figure 23. Répartition des sites concernés par des échouages d'ulves par classe de surface (en ha équivalent 100%) de couverture pour le cumul annuel des trois inventaires de 2021 avec le rappel des données depuis 2008.

Les informations surfaciques sont récapitulées et synthétisées sur les cartographies ci-dessous représentant les surfaces cumulées (Figure 26) et maximales (Figure 27) 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 Luc-Lion-sur-Mer. Les sites au niveau de la baie des Veys et sur l'ouest Cotentin ont été relativement peu touchés par rapport aux années précédentes. Sur la façade ouest cotentin, seuls les sites de Jullouville-Saint-Pair et le Sud de Granville ont été impactés. Concernant le site de Grandcamp-Maisy, c'est notamment en début et fin de saison que des échouages importants d'algues vertes ont été observés. Des clichés sur le terrain acquis en octobre 2021 (hors du programme de suivi RCS Seine-Normandie) atteste de la recrudescence des échouages tardifs (Figure 24). Ces photographies montrent clairement la présence d'échouages d'ulves étendus et épais formant des andains en haut de plage contre la digue. Ces dépôts sont très mobiles car la photographie du 17 octobre (A) montre la présence d'un dépôt important d'ulves dégradées, blanchies tandis que deux jours plus tard, le 19 octobre (C), au même endroit, un large dépôt d'algues vertes est présent. A marée haute les algues forment des radeaux épais en surface (D).

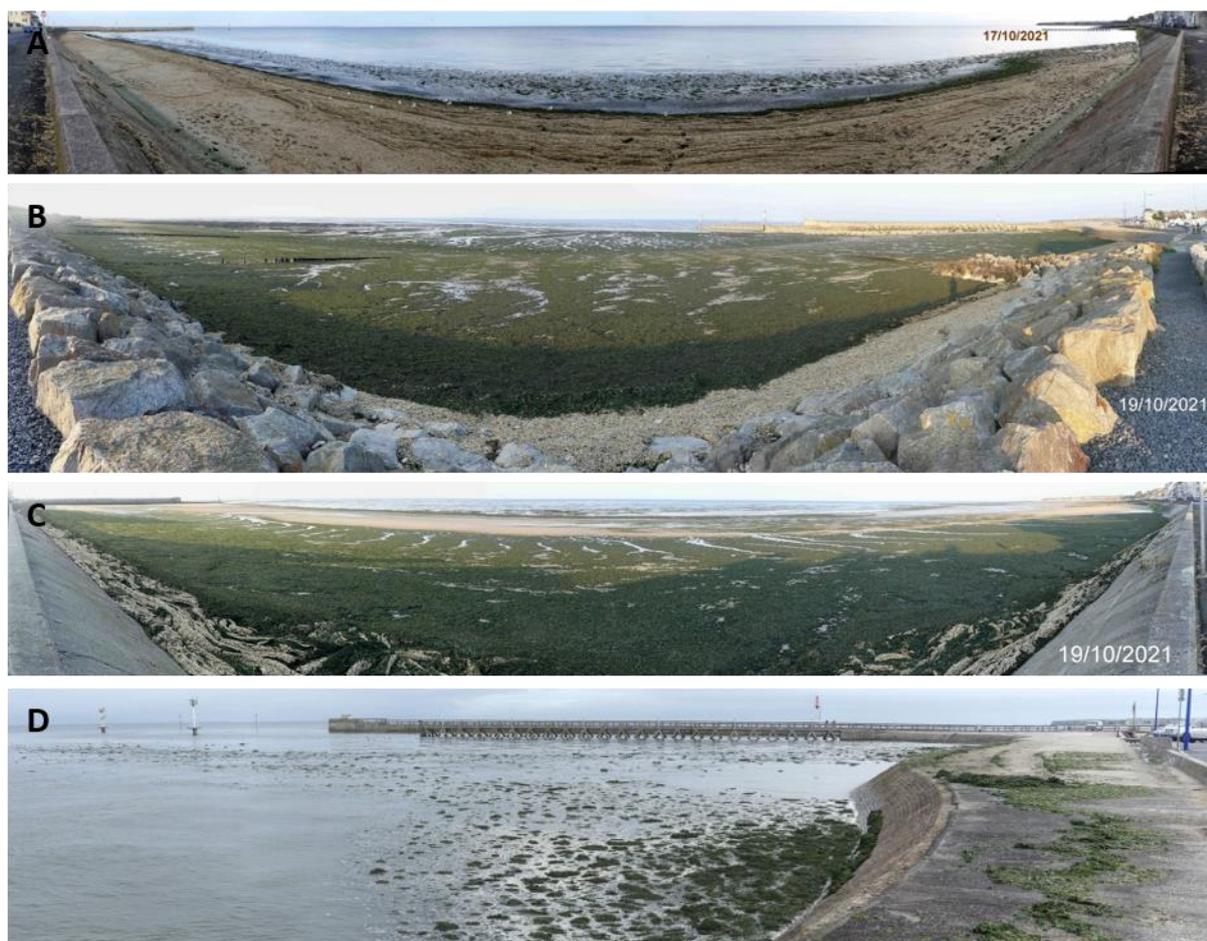


Figure 24. Photographies panoramiques sur le terrain acquises hors période de suivi RCS Seine-Normandie. (A) Photo à l’est du port de Grandcamp-Maisy le 17/10/2021. (B) Photo à l’ouest du port de Grandcamp-Maisy le 19/10/2021 et (C) Photo à l’est du port de Grandcamp-Maisy le 19/10/2021. (D) Photographie à marée haute au port de Grandcamp-Maisy.

Au nord du Cotentin, sur les sites de Cap Lévi et de Barfleur, les secteurs les plus impactés sont au niveau des ports et zones de mouillages. D’autres plages et criques autour de ces sites présentaient des échouages principalement constitués d’algues rouges avec une plus faible proportion d’algues vertes et n’ont donc pas été comptabilisés dans le cadre de ces suivis. 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 27). Le site de Gefosse-Fontenay, relativement peu impacté par rapport aux années précédentes a tout de même présenté des échouages, parfois même considéré comme à risque (fortes odeurs de décomposition avec dégagement de H₂S), mais constitués de mélanges d’algues souvent dégradées qui ne peuvent pas être intégralement comptabilisés dans ces suivis.

Les suivis RCS portant sur l’analyse des 3 inventaires de mai, juillet et septembre, les échouages observés aux mois de juin et août ne sont pas pris en compte (hormis pour les 9 sites définis dans le cadre du suivi RCO) mais des photos aériennes sont tout de même réalisées et permettent d’évaluer la situation sur ces mois. En 2021, les échouages ont été particulièrement importants aux mois de juin et août et notamment au mois de juin où un record de surfaces d’ulves a été atteint (193 ha d’algues vertes digitalisés sur les 9

sites RCO). Le RCO porte uniquement sur la situations des 9 sites prédéfinis, mais d'autres sites étaient concernés par des échouages denses, notamment dans le secteur d'Arromanches – Asnelles avec la présence d'andains de haut de plage épais et composés d'un mélange d'algues rouges et vertes parfois blanchies (Figure 25).



Figure 25. Illustrations de la situation en juin 2021 sur le site d'Arromanches – Asnelles à partir de prises de vue aérienne et de terrain.

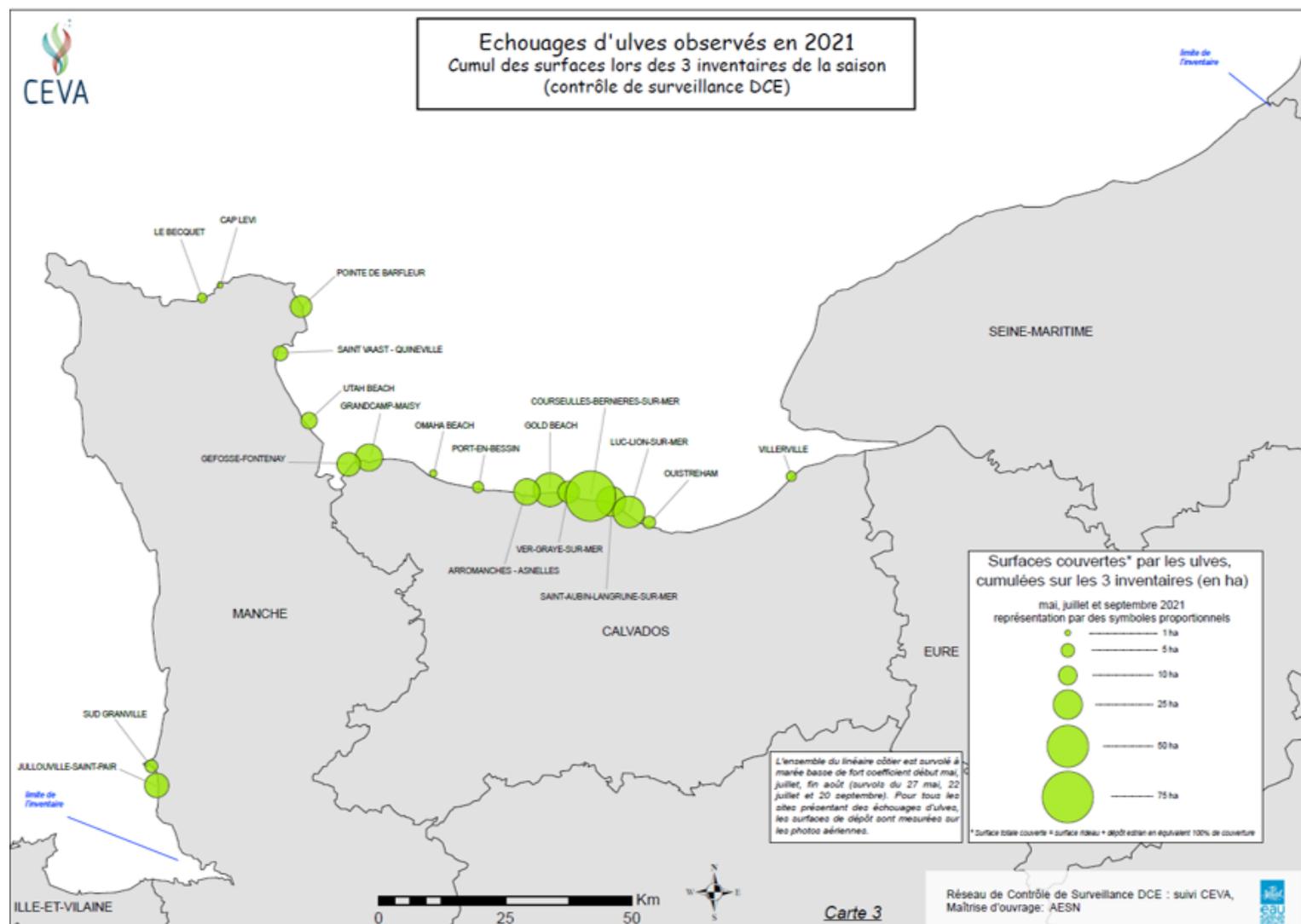


Figure 26. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2021.

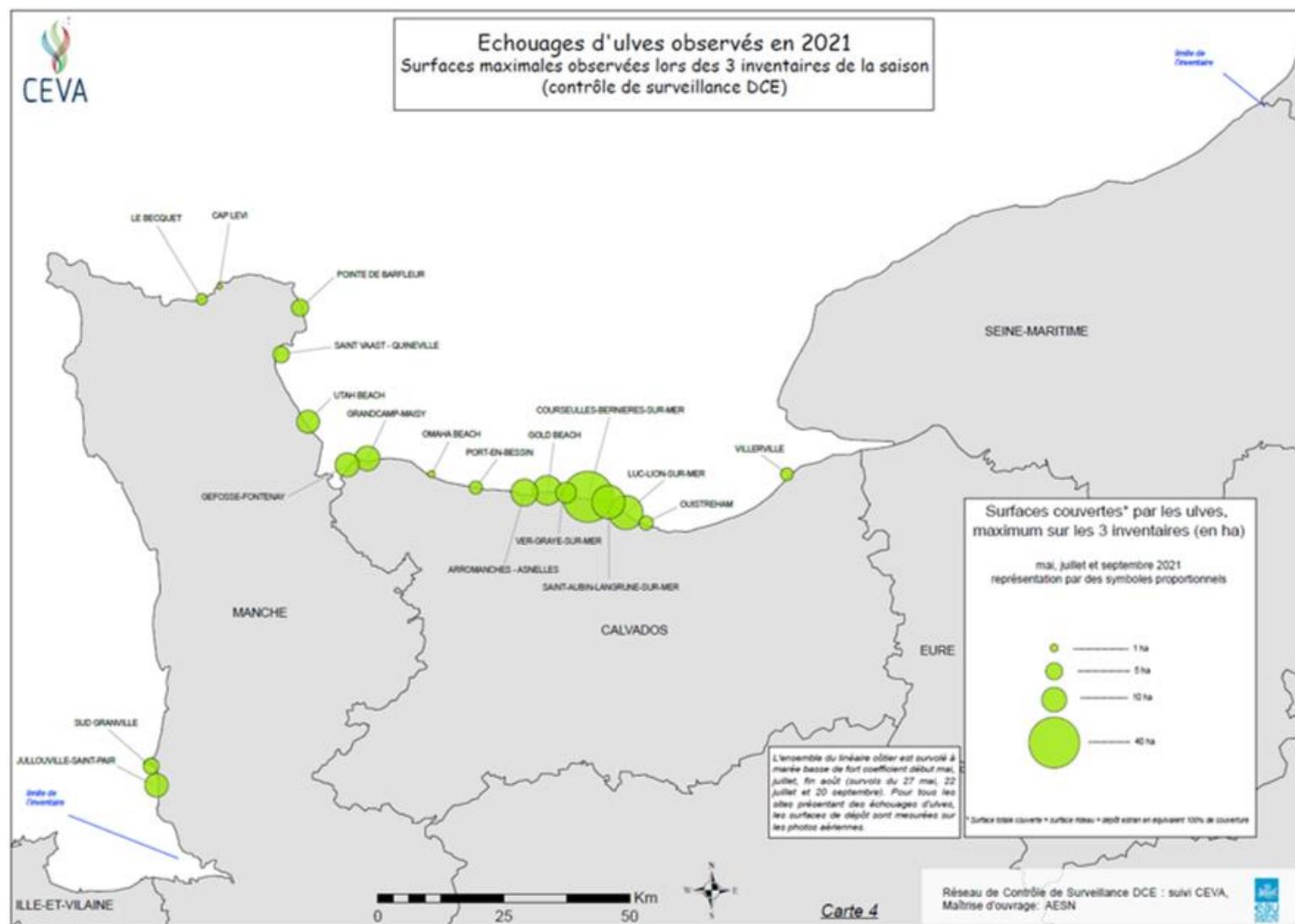


Figure 27. Répartition géographique des sites concernés : surfaces maximales observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2021.

Les surfaces délimitées au sein des sites à marées vertes (définies par le CEVA) ont été 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 12 et 13) avec respectivement un total de 66 et 113,9 hectares d'ulves (Figure 28). Ces masses d'eau regroupent les sites de Courseulles-Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer, Luc-Lion-sur-Mer et Ouistreham et l'année 2021 figure parmi les plus importantes pour ces 2 masses d'eau. Concernant les autres masses d'eau, les surfaces des marées vertes sont globalement comprises dans les moyennes interannuelles observées excepté pour la Baie des Veys qui présente régulièrement des échouages mixtes. Les masses d'eau les moins touchées sont FRHC07 (avec le Cap Lévi), FRHC60 (avec le Port du Becquet) et FRHT03 (à la sortie de l'estuaire de la Seine rive gauche pour les sites de Houlgate, Villerville et Villers-sur-Mer).

Tableau 8. Surfaces de couverture par les ulves par masse d'eau lors des trois inventaires RCS de l'année 2021. 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		9,4	12,0	21,3
FRHC03	Ouest Cotentin				
FRHC04	Cap de Carteret - Cap de la Hague				
FRHC60	Rade de Cherbourg	2,0	1,0	0,7	3,7
FRHC07	Cap Lévi - Gatteville		0,2	0,6	0,8
FRHC08	Barfleur	4,6	4,5	3,9	12,9
FRHC09	Anse De Saint-Vaast La Hougue		4,6	4,5	9,1
FRHC10	Baie Des Veys	4,1	6,0	4,7	14,9
FRHC11	Côte Du Bessin	3,7	1,8	0,4	5,9
FRHC12	Côte De Nacre Ouest	20,9	24,4	20,7	66,0
FRHC13	Côte De Nacre Est	71,2	24,1	18,5	113,9
FRHC14	Baie De Caen	11,1	1,9	3,9	16,9
FRHC15	Côte Fleurie				
FRHC17	Pays De Caux Sud				
FRHT03	Estuaire Seine Aval		0,7	2,6	3,3
FRHT06	Baie Des Veys – Fond de baie	5,8	10,0	11,8	27,5
TOTAL		123,4	88,5	84,1	296,1

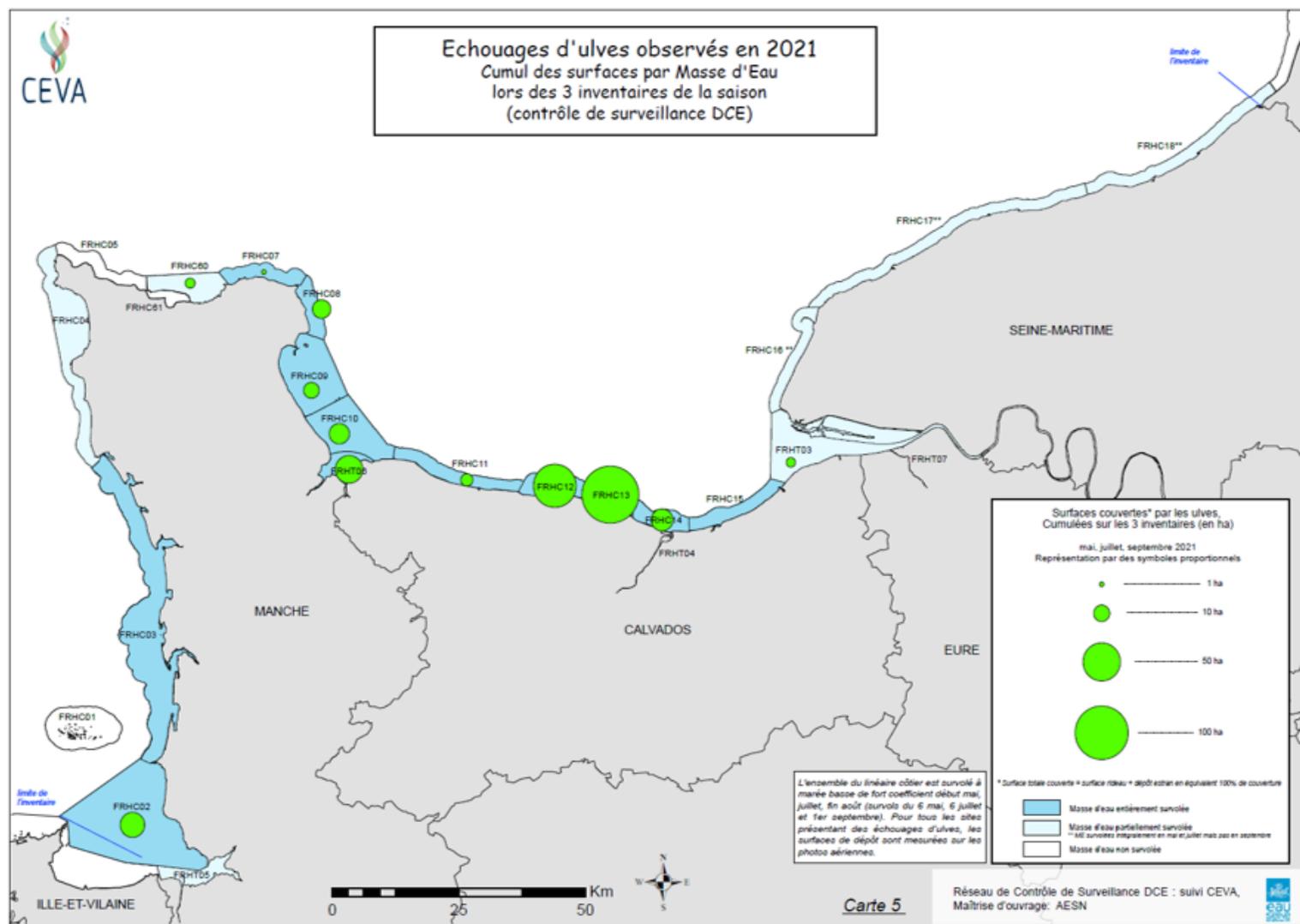


Figure 28. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2021.

3.3.2. Evolution interannuelle des échouages d’ulves de 2008 à 2021

L’analyse comparative des surfaces d’échouages d’ulves entre l’année 2021 et les années antérieures, depuis 2008, indique que cette année a été marquée par un début très dense, avec des surfaces d’échouages record pour le mois de mai. Puis les échouages ont régressé en juillet atteignant quasiment la moyenne interannuelle, pour s’effondrer en septembre. Les moyennes de mai, juillet et septembre, sont respectivement de 65 ha, 92 ha et 117 ha. Cependant, il faut noter les périodes d’acquisitions des photographies aériennes qui se sont déroulées à la fin de chaque mois. Les faibles surfaces du mois de septembre sont donc à mettre en perspective par rapport à la fin de saison plus avancée (Figure 29A). Sur l’ensemble des 3 inventaires, la surface moyenne des échouages d’ulves entre 2008 et 2021 est de 274 ha (Figure 29B). Malgré les surfaces faibles en septembre 2021 ; la surface globale moyenne des 3 inventaires est supérieure à la surface moyenne interannuelle. Les années les plus marquées restent 2014, 2017 et 2019 avec des surfaces respectivement de 345, 363 et 360 ha d’ulves sur tout le littoral normand.

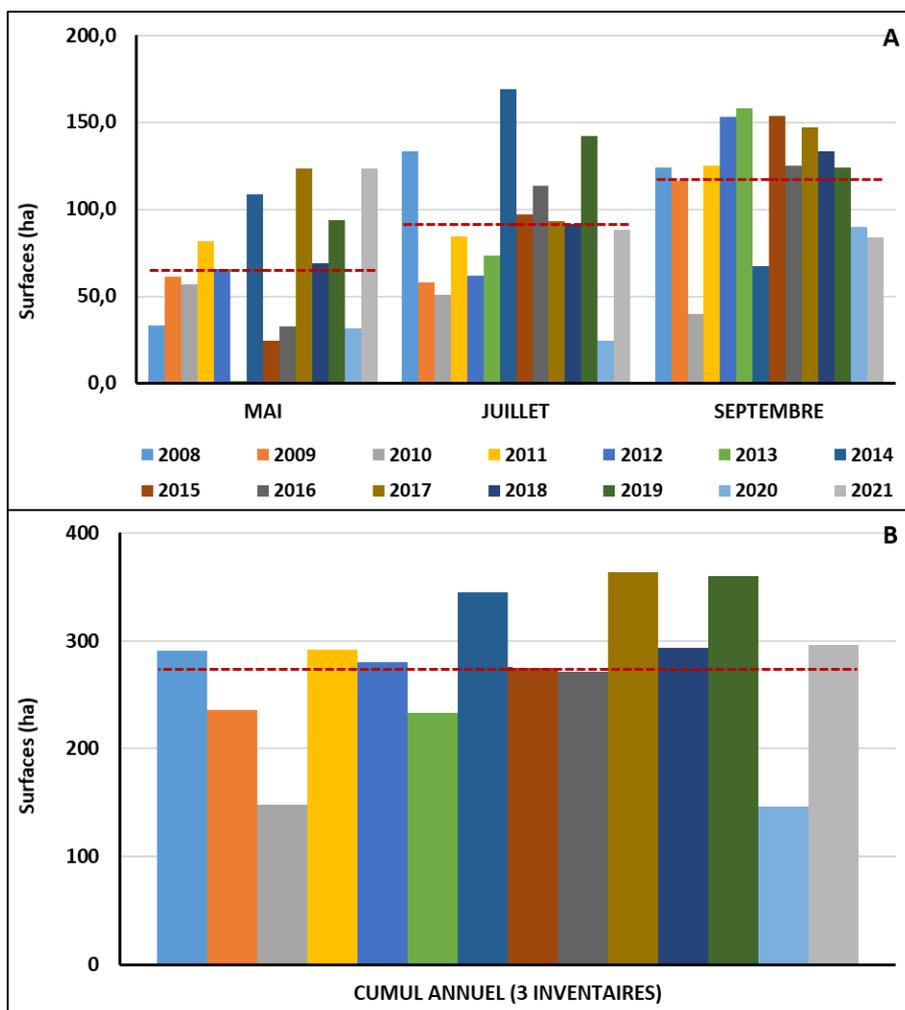


Figure 29. (A) Surfaces d’échouages par mois d’inventaire observées sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2021. (B) Surfaces cumulées totales annuelles des échouages observés sur le littoral Seine-Normandie de 2008 à 2021. Les lignes en pointillés rouges représentent les moyennes interannuelles.

En comparaison avec les années précédentes, la côte ouest du Cotentin est restée particulièrement « saine » en 2021 (Figure 30), mise à part pour Jullouville-Saint-Pair où l'on observe une légère augmentation des surfaces par rapport aux 5 dernières années de diminution. Quelques échouages, notamment en fin de saison ont été observés sur la partie sud de Granville. Sur le reste de ce secteur ouest, les plages sont globalement propres ou concernées par des échouages d'algues brunes plus ou moins diffus. Régulièrement, des algues vertes filamenteuses étaient présentes dans les dépôts constituant la laisse de mer après les épisodes de vents forts. Concernant les principaux sites contributeurs (Courseulles-Bernières-sur-Mer, Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer, Arromanches-Asnelles, Luc-Lion-sur-Mer et Gold Beach), les surfaces d'échouages cumulées sont relativement élevées notamment au regard de l'année 2020 qui avait été exceptionnellement faible.

De la même manière que précédemment, l'analyse cartographique des surfaces d'ulves selon le découpage des masses d'eau est présentée en figure 31 pour le suivi interannuel de 2008 à 2021. A l'échelle des sites et des masses d'eau, de plus ou moins fortes variations interannuelles des échouages d'algues peuvent être constatées avec notamment des surfaces proches des records enregistrés pour les masses d'eau FRHC 12 et 13.

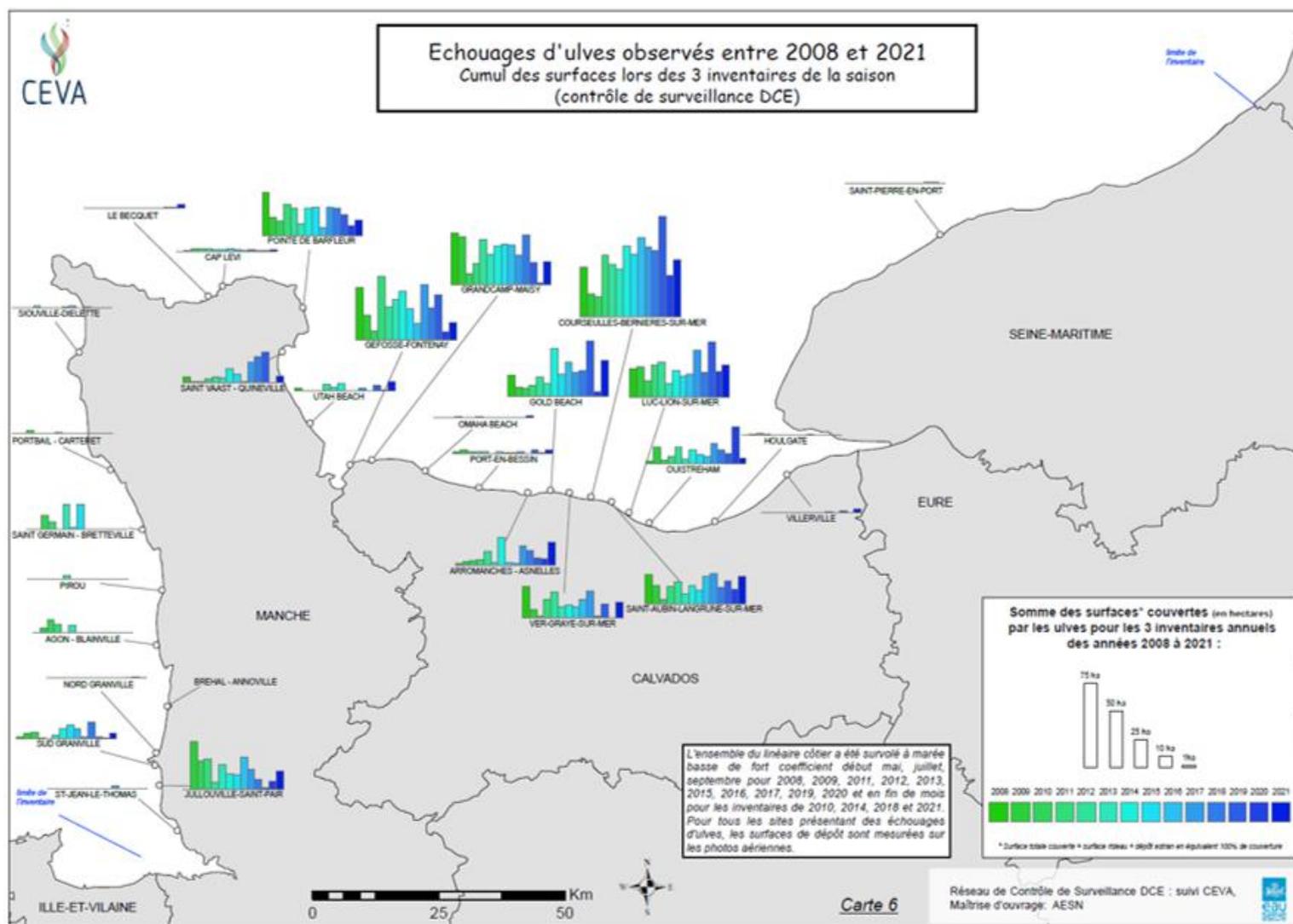


Figure 30. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par site lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2021.

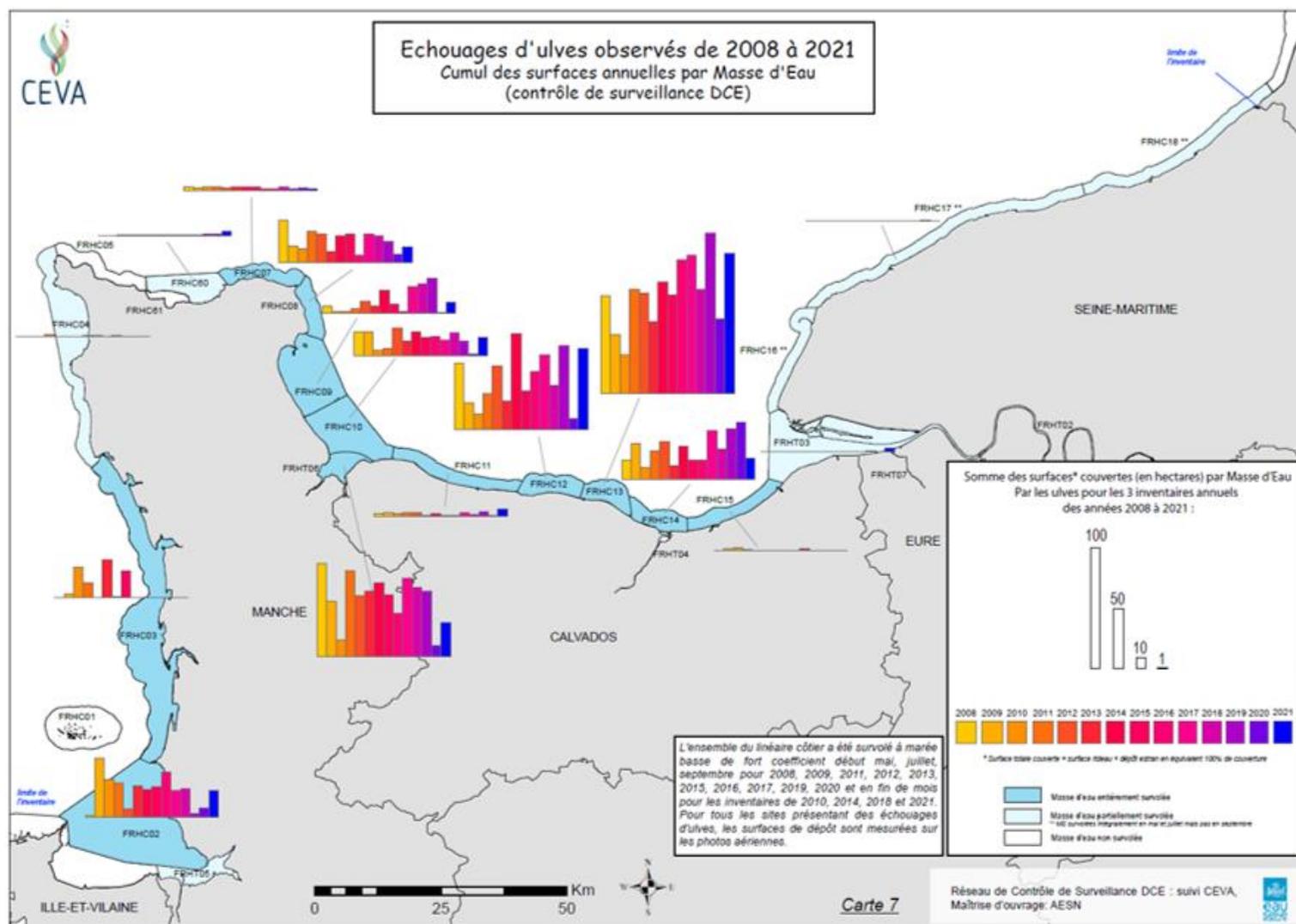


Figure 31. Répartition géographique des sites concernés : cumul des surfaces observées par masse d'eau lors des 3 inventaires (mai, juillet, septembre) de 2008 à 2021.

3.4. 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 à y répondre. Ces fiches sont mises à jour annuellement au cours du premier semestre de l'année suivante (mise à jour en avril 2022 pour le bilan de l'année 2021). Les informations disponibles concernent des photographies aériennes et de terrain permettant d'avoir un aperçu visuel des échouages observés ainsi qu'un descriptif pour chaque site de la situation de l'année. On y retrouve également des données quantifiées sur les surfaces digitalisées, la proportion estimée des trois groupes d'algues (rouge, verte et brune), les statistiques de classements et de surfaces d'échouage depuis le début des suivis ainsi que des cartographies de la qualité écologique des masses d'eau du littoral normand.

3.5. Enquêtes sur le ramassage

Les enquêtes ont été envoyées dès le mois de janvier à toutes les communes littorales afin de recueillir les informations concernant les actions de ramassage (ou autres, *e.g.* remise à la mer) des algues, qui ont eu lieu au cours de l'année 2021 sur les plages. Malgré les relances, toutes les communes potentiellement impactées par des échouages d'algues vertes n'ont à ce jour pas répondu. Cependant, des actions de nettoyage ont été aperçues lors des survols le 24 juin sur la commune de Lion-sur-Mer, le 22 juillet sur la plage de La Brèche à Arromanches-les-Bains et des actions de curage du chenal (donc avec collecte conjuguée des dépôts d'algues localement) dans le port de Grandcamp-Maisy le 20 septembre 2021 (Figure 32).



Figure 32. Actions de nettoyage des plages sur les communes de Lion-sur-Mer, Arromanches-les-Bains et Grandcamp-Maisy (curage du chenal) respectivement en juin, juillet et septembre 2021.

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 2021 se calcule à partir des données obtenues sur les six dernières années de suivi soit sur la période 2016-2021. Les états écologiques pour chaque masse d'eau sont présentés en figure 33, le détail des métriques dans les tableaux 9 et 10 et la représentation cartographique en figure 36.

L'état écologique de la masse d'eau FRHC13 est toujours en très mauvais état par rapport à cet indicateur et continue de diminuer au cours des années. De même pour la masse d'eau FRHC12 qui se trouve à la limite entre l'état médiocre et le mauvais état. La masse d'eau FRHC08 se maintient en état moyen. La masse d'eau FRHC14 est en état bon mais à la limite de l'état moyen. Les autres masses d'eau se classent en bon ou très bon état écologique.

L'état écologique de la masse d'eau FRHC60 a diminué, passant du très bon état au bon état. Cela est en partie dû aux échouages récurrents observés dans le port du Becquet. L'état écologique de cette masse est donc plutôt à mettre en lien avec l'état du site du port du Becquet plutôt qu'à la masse d'eau entière en considérant une perturbation très localisée qui n'est pas représentative de la situation réelle à l'échelle de la masse d'eau FRHC60. Malgré les surfaces réduites des échouages dans le port du Becquet et sur quelques secteurs du littoral de Cap Lévi, certains dépôts peuvent représenter un risque comme cela s'est déjà produit au port du Becquet à cause d'une accumulation d'algues en décomposition au fond du port (dégagement d'H₂S et odeurs de décomposition) en raison de la configuration du port qui piège la biomasse algale.

L'état actuel des masses d'eau (moyenné sur les 6 dernières années : 2016-2021) peut être mis en perspective par rapport à la série temporelle des suivis depuis 2008 pour les masses d'eau de type 1 (Figure 34) ou de type 2 (Figure 35). Les masses d'eau en très bon état écologique (EQR > 0.95) se maintiennent durablement en l'absence d'échouages d'algues, c'est le cas pour les masses d'eau FRHC 03, 04, 15, 17 et FRHT03. Les masses d'eau FRHC 02, 09 et 11 sont classées en très bon état mais avec un EQR qui peut varier selon les échouages observés respectivement sur les sites de Jullouville/Granville (FRHC02), Saint-Vaast/Utah Beach (FRHC09) et Arromanches/Omaha Beach/Port-en-Bessin (FRHC11). L'état initial de la masse d'eau FRHC12 en 2008 était en état médiocre puis il s'est amélioré dès 2009 et en 2010 en état moyen. Depuis 2010 l'état écologique de cette masse d'eau semble se dégrader pour arriver à la limite de l'état médiocre cette année (mais toujours en état moyen). L'état initial de la FRHC 13 était médiocre en 2008, a légèrement augmenté en 2009 et 2010 puis s'est également progressivement dégradé pour passer en état mauvais à partir de 2019. La masse d'eau FRHC14 a débuté la série en très bon état écologique en 2008 mais est passé en bon état dès 2009. L'état de cette masse d'eau présente quelques fluctuations jusqu'en 2021, en se maintenant dans le bon état mais à la limite d'un état moyen. La masse d'eau de transition FRHT06 a débuté en état moyen en 2008 mais l'EQR s'est progressivement amélioré en bon état dès 2009. La masse d'eau de la baie des Veys est néanmoins régulièrement concernée par des échouages à risques qui peuvent représenter moins de surfaces d'algues échouées (d'où l'augmentation de l'EQR) mais un impact plus néfaste localement. L'état de la masse d'eau FRHC07 initialement en bon état s'est progressivement amélioré en très bon état en raison des surfaces moindres sur la côte de Cap Lévi. Ce secteur est tout de même régulièrement impacté par des échouages massifs d'algues rouges qui ne sont pas comptabilisés dans ces suivis. L'état de la masse d'eau FRHC08 représentée par la pointe de Barfleur se maintient dans un état moyen depuis le début des suivis. Enfin, l'état écologique de la masse d'eau FRHC60 décline progressivement depuis 2008 en raison des surfaces d'algues observées sur quelques plages de Cap Lévi et plus récemment dans le port du Becquet.

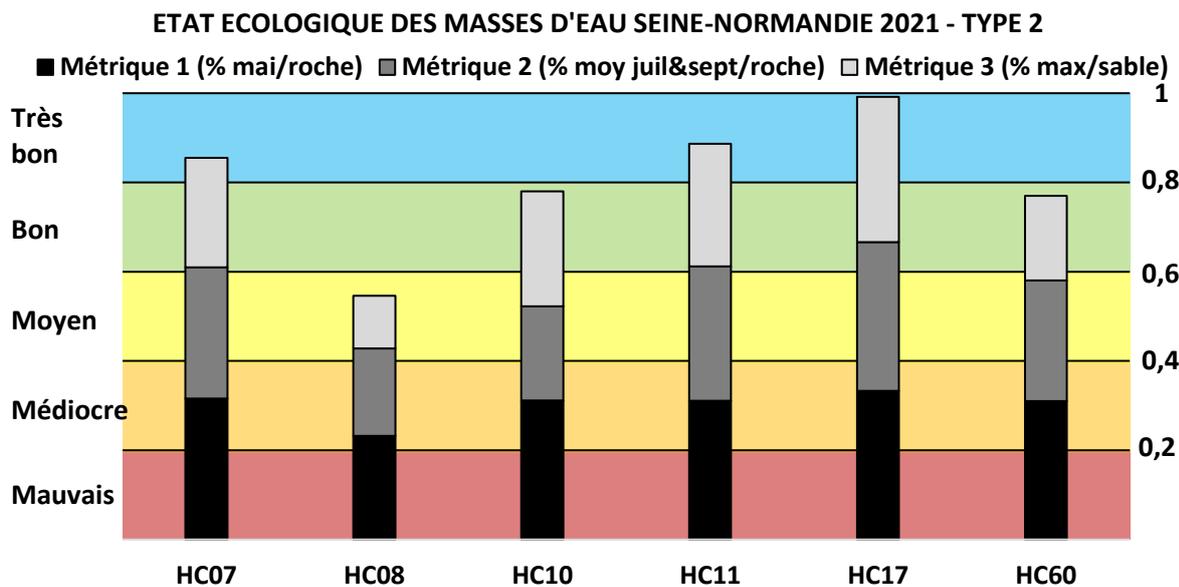
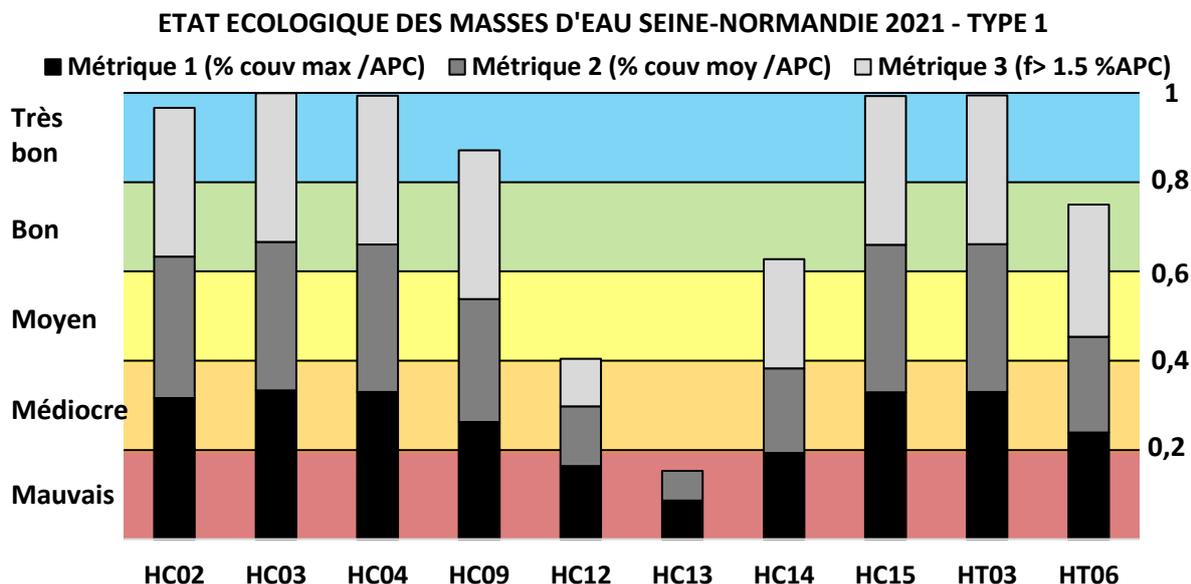


Figure 33. Calcul des EQR et de l'état écologique des masses d'eau Seine-Normandie de type 1 et de type 2 en 2021.

A. Le Bris, C. Daniel, L. Cellier, S. Bosc, S. Ballu & S. Richier (2021)

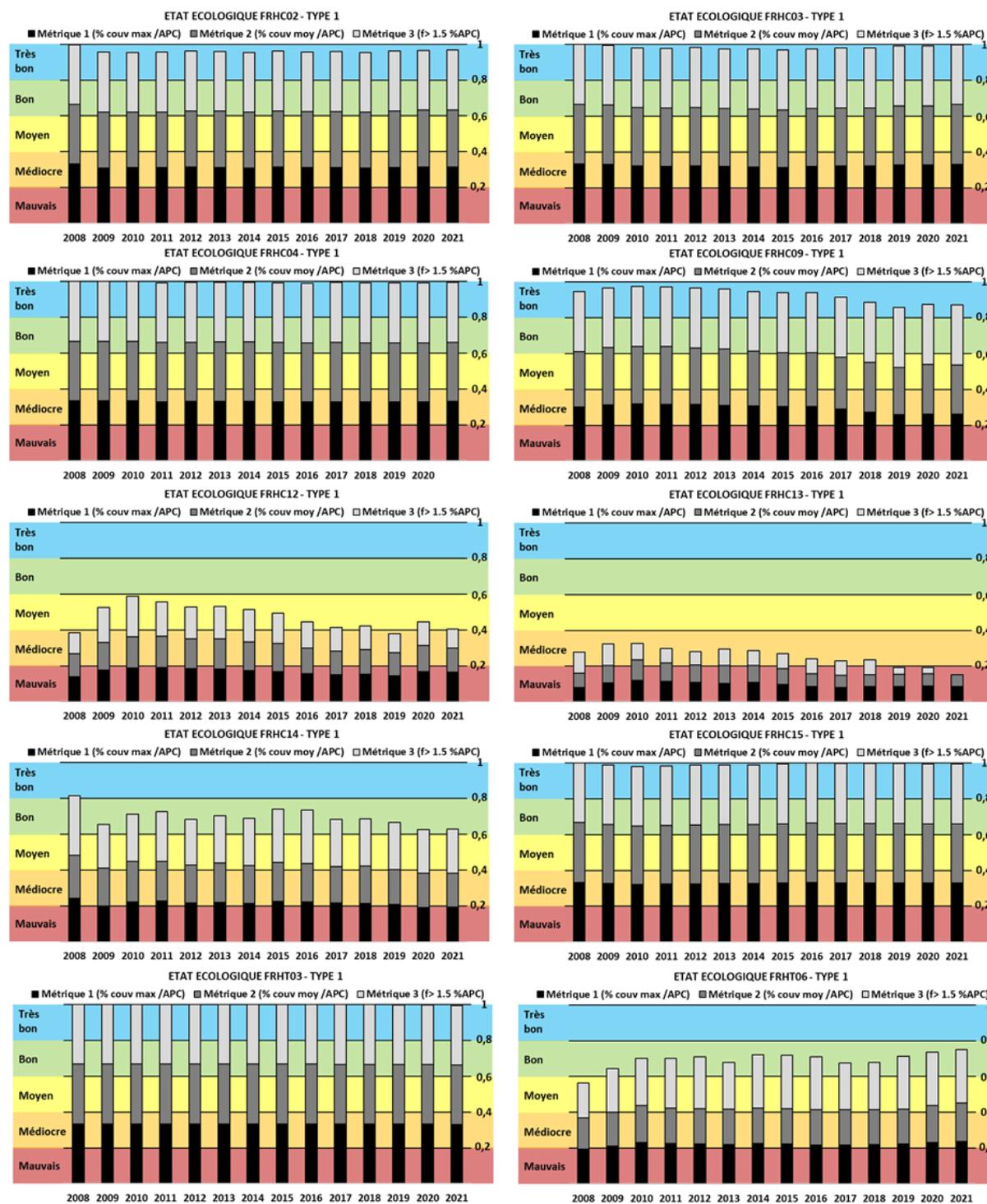


Figure 34. Evolution annuelle de l'EQR pour chacune des masses d'eau de type 1 du littoral Seine-Normandie

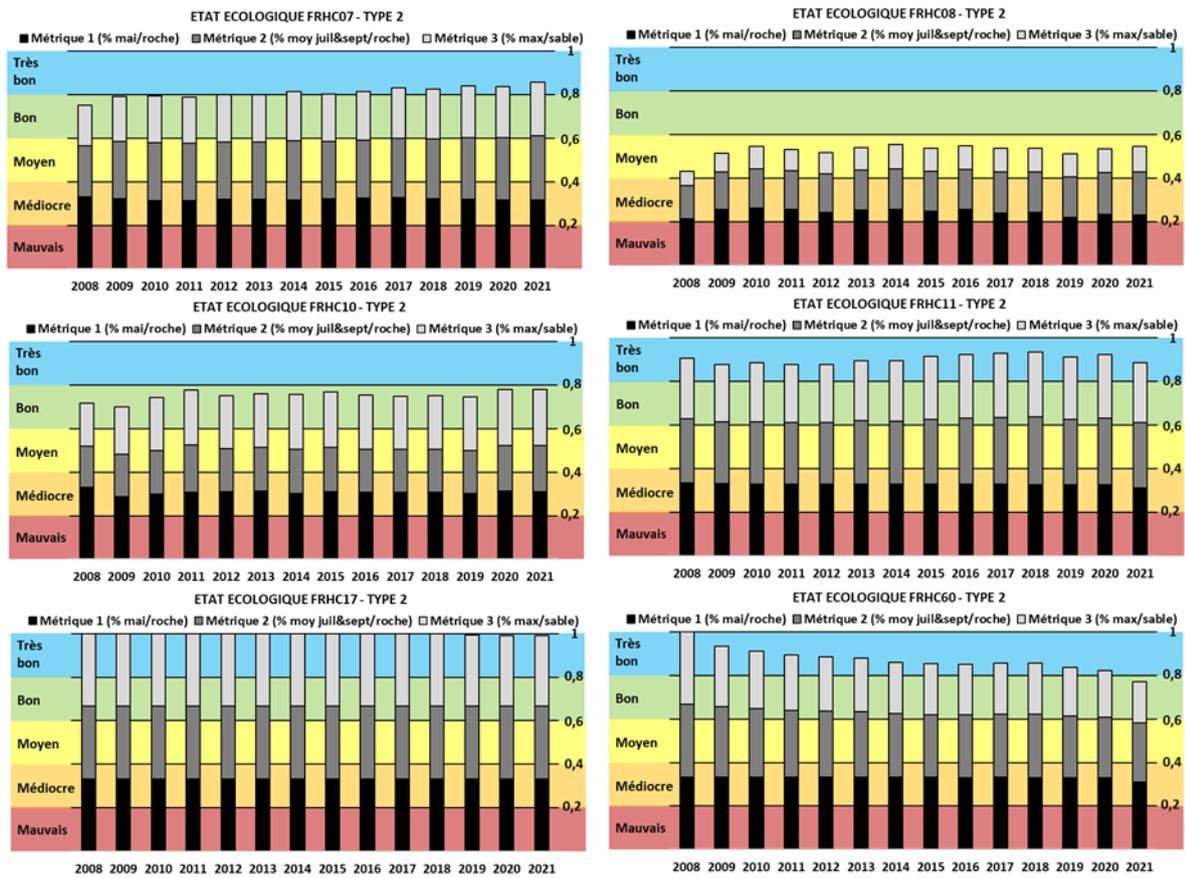


Figure 35. Evolution annuelle de l'EQR pour chacune des masses d'eau de type 2 du littoral Seine-Normandie

Tableau 9. Détails des calculs des métrique 1 à 3 pour les marées vertes de type 1 pour chacune des masses d'eau DCE du bassin Seine-Normandie sur la base de l'EQR macroalgues opportunistes (2016-2021).

MASSES D'EAU	Données utilisées	Métrique 1 % Max/AIH (ha)	Métrique 2 % Mean/AIH (ha)	Métrique 3 Occ>1.5%AIH	EQR M1	EQR M2	EQR M3
FRHC02	Moyenne 2016- 2021 Type 1	0,13	0,06	0,00	0,95	0,95	1,00
FRHC03		0,00	0,00	0,00	1,00	1,00	1,00
FRHC04		0,03	0,01	0,00	0,99	0,99	1,00
FRHC09		0,56	0,22	0,00	0,79	0,83	1,00
FRHC12		2,87	1,98	72,22	0,49	0,40	0,32
FRHC13		8,18	5,69	100,00	0,26	0,20	0,00
FRHC14		1,76	0,94	16,67	0,58	0,57	0,73
FRHC15		0,03	0,01	0,00	0,99	0,99	1,00
FRHT03		0,02	0,01	0,00	0,99	0,99	1,00
FRHT06		0,91	0,64	5,56	0,72	0,64	0,89

Tableau 10. Détails des calculs des métrique 1 à 3 pour les marées vertes de type 2 pour chacune des masses d'eau DCE du bassin Seine-Normandie sur la base de l'EQR macroalgues opportunistes (2016-2021).

MASSES D'EAU	Données utilisées	Métrique 1 % mai/AIH(roches)	Métrique 2 % moy juillet&sept/AIH (roche)	Métrique 3 % max/AIH sable	EQR M1	EQR M2	EQR M3
FRHC07	Moyenne 2016-2021 Type 2	0,26	0,29	0,82	0,95	0,88	0,74
FRHC08		1,52	1,26	5,33	0,70	0,59	0,36
FRHC10		0,33	0,92	0,64	0,93	0,63	0,77
FRHC11		0,33	0,24	0,44	0,93	0,90	0,82
FRHC17		0,00	0,00	0,06	1,00	1,00	0,98
FRHC60		0,35	0,47	1,90	0,93	0,81	0,57

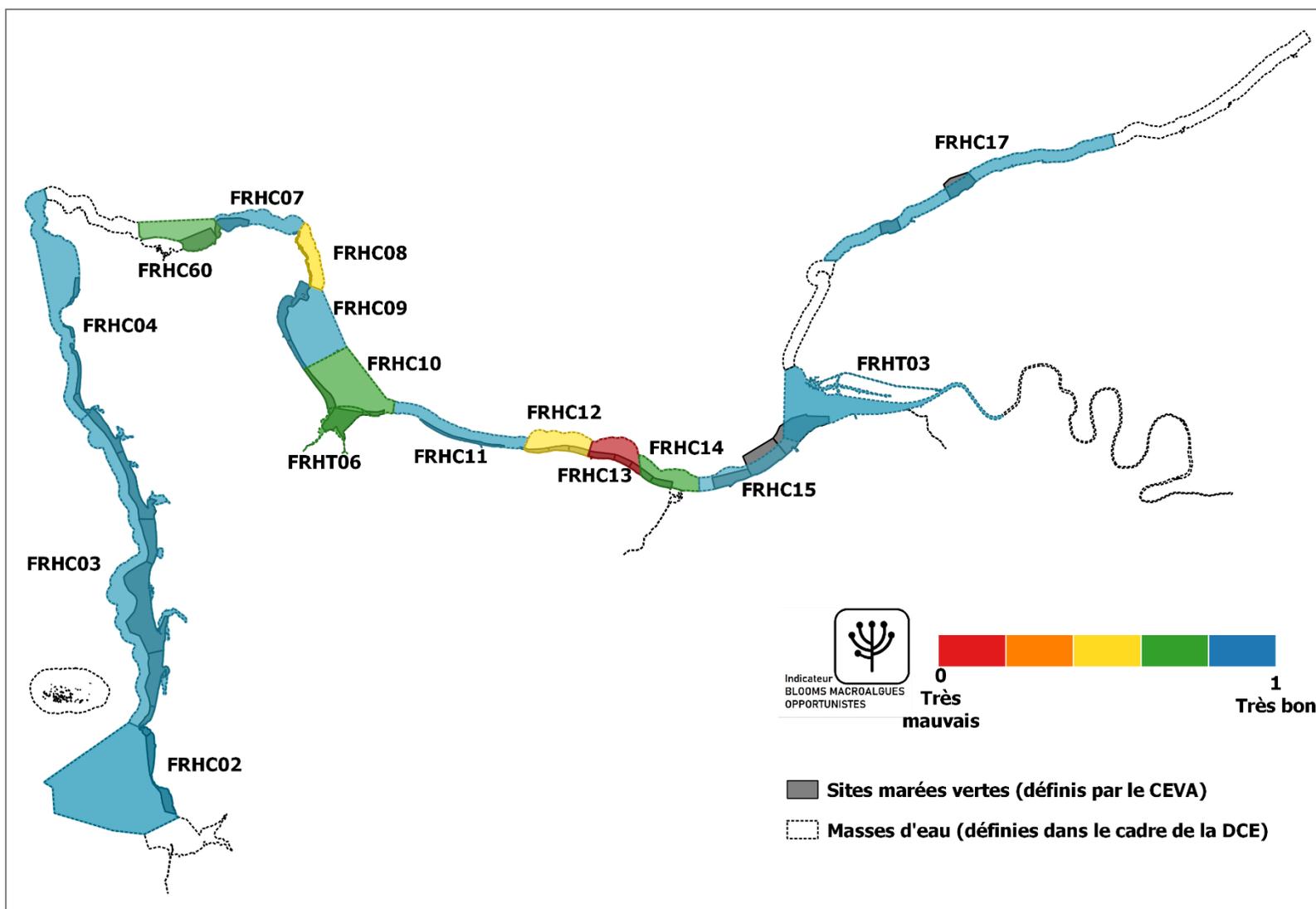


Figure 36. Cartographie de l'état écologique des masses d'eau du littoral Seine-Normandie pour l'indicateur « Blooms de macroalgues opportunistes ».

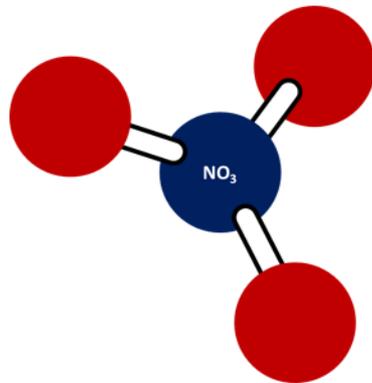
**Quotas
Azotés**

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 2021 dans le cadre du RCO ont été réalisés avec succès, aux dates indiquées dans le Tableau 11 ci-dessous. L'ensemble des sites suivis a été photographié 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 32 et 33 fiches de synthèse pour les mois de juin et août respectivement.

Tableau 11. Dates des acquisitions aériennes et des observations terrain pour les inventaires RCO de l'année 2021.

Inventaire RCO	Date du vol	Coefficient de marée	Littoral survolé	Date des observations <i>in situ</i>	Nombre de fiches réalisées
JUIN	24/06/2021	92	Saint-Jean-le-Thomas > Ouistreham	25-26/06/2021	32
AOÛT	23/08/2021	94	Saint-Jean-le-Thomas > Ouistreham	24-26/08/2021	33

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, les 9 sites prédéfinis dans le RCO ont été classés en juin et en août (Tableau 12).

En considérant les 3 inventaires RCS et les 2 inventaires RCO, 7 des 9 sites ont été classés à 5 reprises et présentaient donc des échouages sur toute la saison 2021. Le site de Jullouville-Saint-Pair n'a pas été classé lors de l'inventaire du mois de mai car très peu de dépôts ont été observés lors du survol et les observations sur le terrain ont montré la présence de petits amas d'algues brunes. De même que pour le site de Gefosse-Fontenay qui n'a pas été classé au mois de juin, malgré la présence d'échouages visibles en aérien mais qui étaient constitués à plus de 75 % d'ectocarpales (algues brunes) et de quelques brins d'algues vertes filamenteuses.

Tableau 12. Récapitulatif des sites classés en 2021 pour les 2 inventaires de juin et août du RCO Seine-Normandie.

SITES	Inventaire JUIN	Inventaire AOÛT	Occurrence 2021	Occurrence RCS+RCO 2021
Jullouville-Saint-Pair			2	4
Pointe De Barfleur			2	5
Gefosse-Fontenay			2	4
Grandcamp-Maisy			2	5
Gold Beach			2	5
Ver-Graye-Sur-Mer			2	5
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 13). Le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer présente les surfaces d'échouages les plus élevées sur les mois de juin et août. Au mois de juin, Gold Beach et Luc-Lion-sur-Mer représentent également une part importante des échouages avec plus de 35 et 40 ha respectivement. Au mois d'août Grandcamp-Maisy est le 2^{ème} site le plus touché avec près de 15 ha suivi de Gold Beach avec 14 ha.

En cumulé sur les 2 inventaires, ou en cumulé pour les surfaces RCS et RCO, le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer présente les plus fortes surfaces avec plus de 154 ha contribuant à presque 30 % de la biomasse algale sur ces 9 sites, suivi de Gold Beach avec 87 ha et de Luc-Lion-sur-Mer avec près de 77 ha. Au total, sur les 5 inventaires de l'année 2021 et pour ces 9 sites, **544,2 ha** d'ulves ont été digitalisés, c'est le record maximum jamais observé depuis le début des suivis RCO en 2014.

Tableau 13. Surfaces d'algues vertes digitalisées lors des 2 inventaires RCO de l'année 2021 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) pour ces 9 sites.

SITES	JUIN (ha)	AOÛT (ha)	CUMUL RCO 2021	MAXIMUM RCO 2021	CUMUL RCS+RCO 2021
Jullouville-Saint-Pair	0,8	2,8	3,6	2,8	20,1
Pointe De Barfleur	9,8	8,7	18,5	9,8	32,2
Gefosse-Fontenay	29,5	13,0	42,5	29,5	58,6
Grandcamp-Maisy	7,7	14,8	22,4	14,8	43,3
Gold Beach	40,3	14,0	54,3	40,3	87,0
Ver-Graye-Sur-Mer	14,2	9,3	23,6	14,2	37,8
Courseulles-Bernieres-Sur-Mer	54,0	28,6	82,5	54,0	154,2
Saint-Aubin-Langrune-Sur-Mer	1,1	8,6	9,7	8,6	34,3
Luc-Lion-Sur-Mer	35,3	12,7	48,0	35,3	76,7

L'évolution des échouages d'ulves sur toute la saison, de mai à septembre, est très variable selon les sites (Figure 37).

Plusieurs sites présentent leur maximum de surface d'échouage en juin, c'est le cas de Courseulles, la pointe de Barfleur, Gold Beach, Gefosse-Fontenay, Ver-Graye-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer. Le site Courseulles présente des échouages importants en début de saison qui régressent dès le mois de juillet. Les échouages sur le site de Saint-Aubin ont également été précoces avec d'importantes surfaces digitalisées au mois de mai puis une très forte régression à partir du mois de juin. Sur le site de Barfleur, les surfaces algales échouées sont stables pour les 3 inventaires RCS mais présentant 2 pics lors des inventaires RCO (en juin et août) avec une surface doublée, passant d'environ 5 à 10 ha. C'est également le cas sur Ver-Graye-sur-Mer où les échouages des 2 campagnes RCO passent presque du double au triple en termes de surface. Globalement, la fin de saison est plutôt caractérisée par des surfaces en diminution sauf pour le site de Jullouville, qui, comme au mois de septembre a été impacté par environ 8 ha d'ulves.

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 38 et 39 ci-dessous.

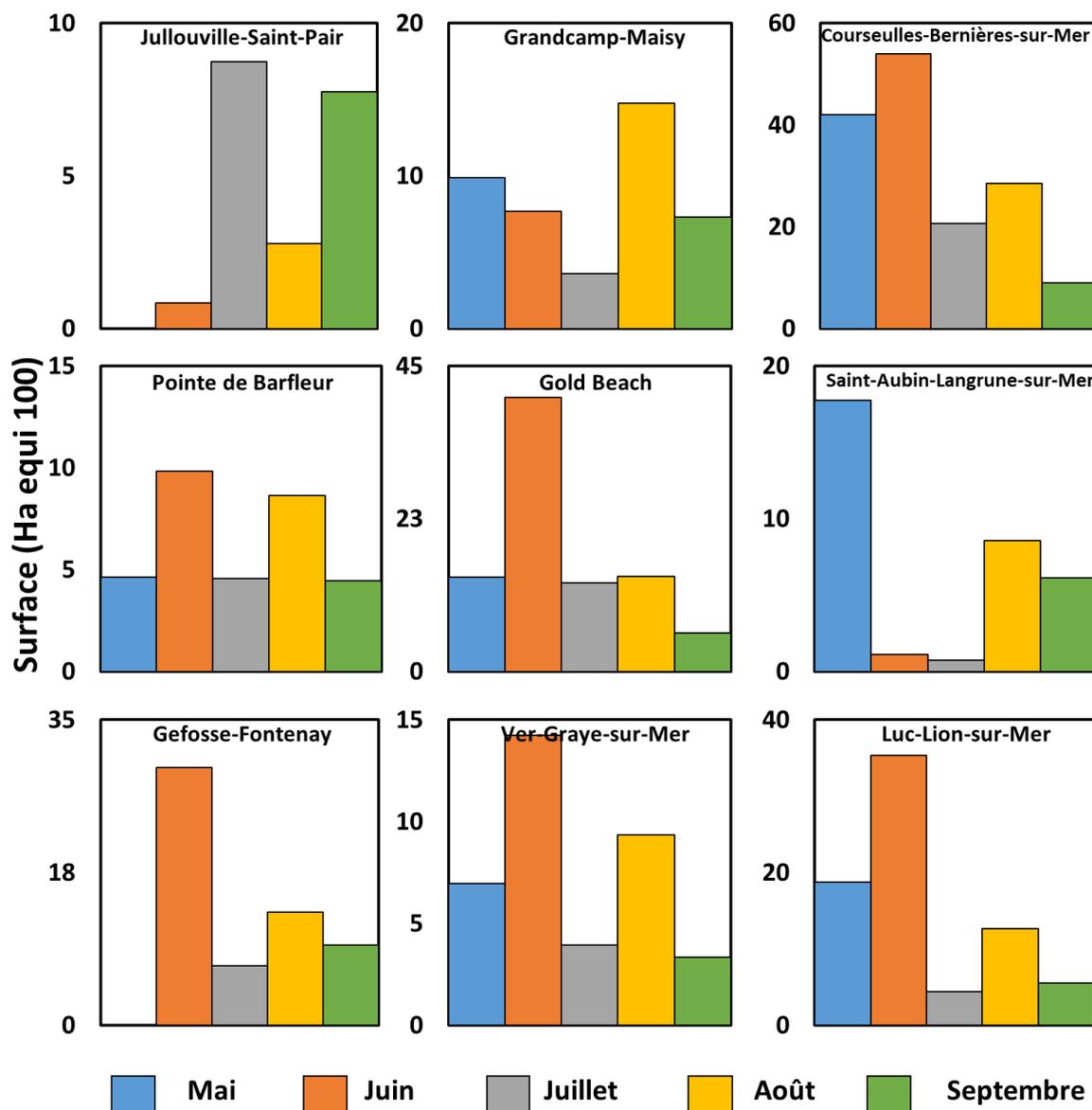


Figure 37. Evolution des surfaces d’ulves sur les 5 inventaires au cours de la saison 2021.

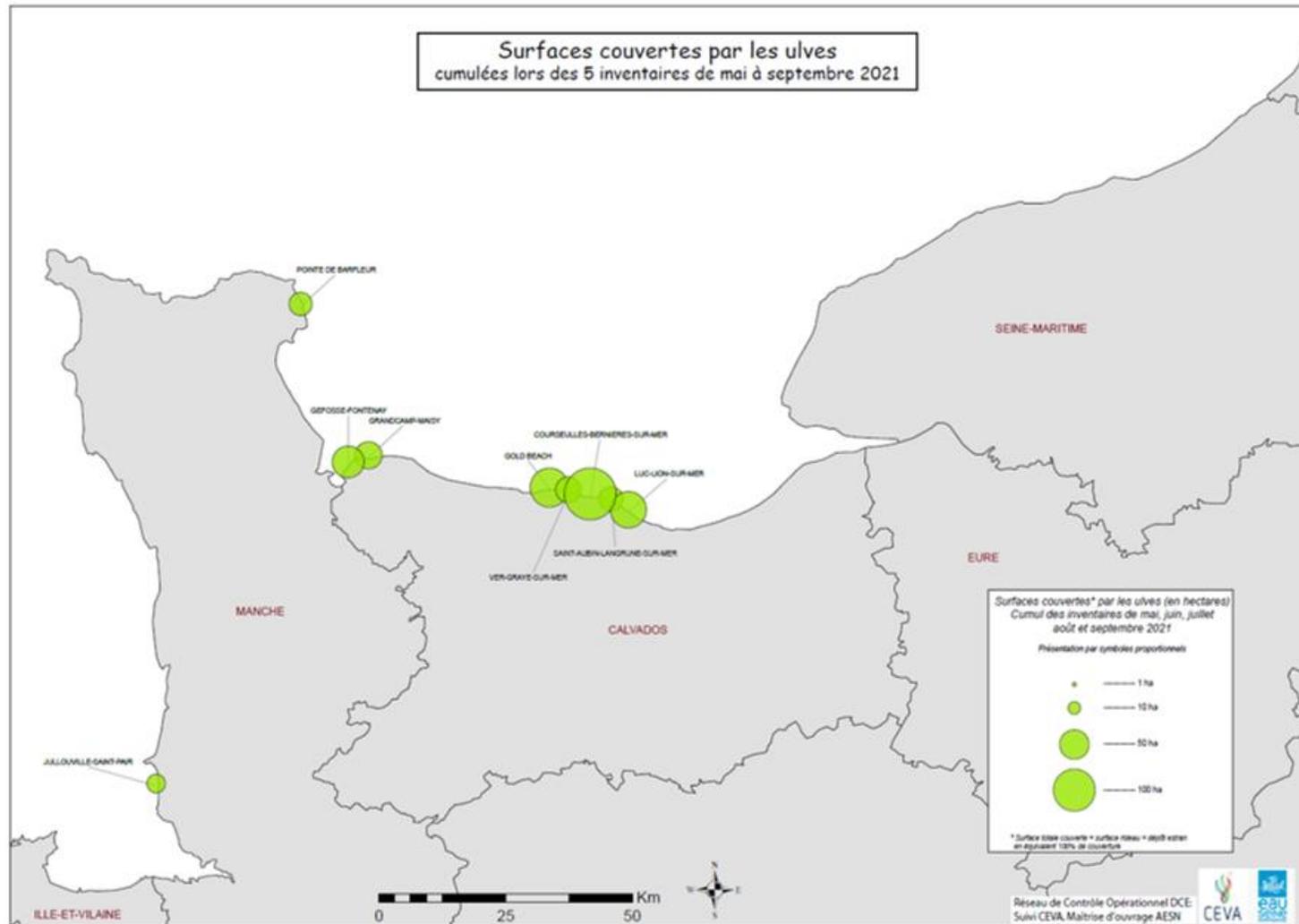


Figure 38. Surfaces cumulées des échouages d’ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l’année 2021. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.

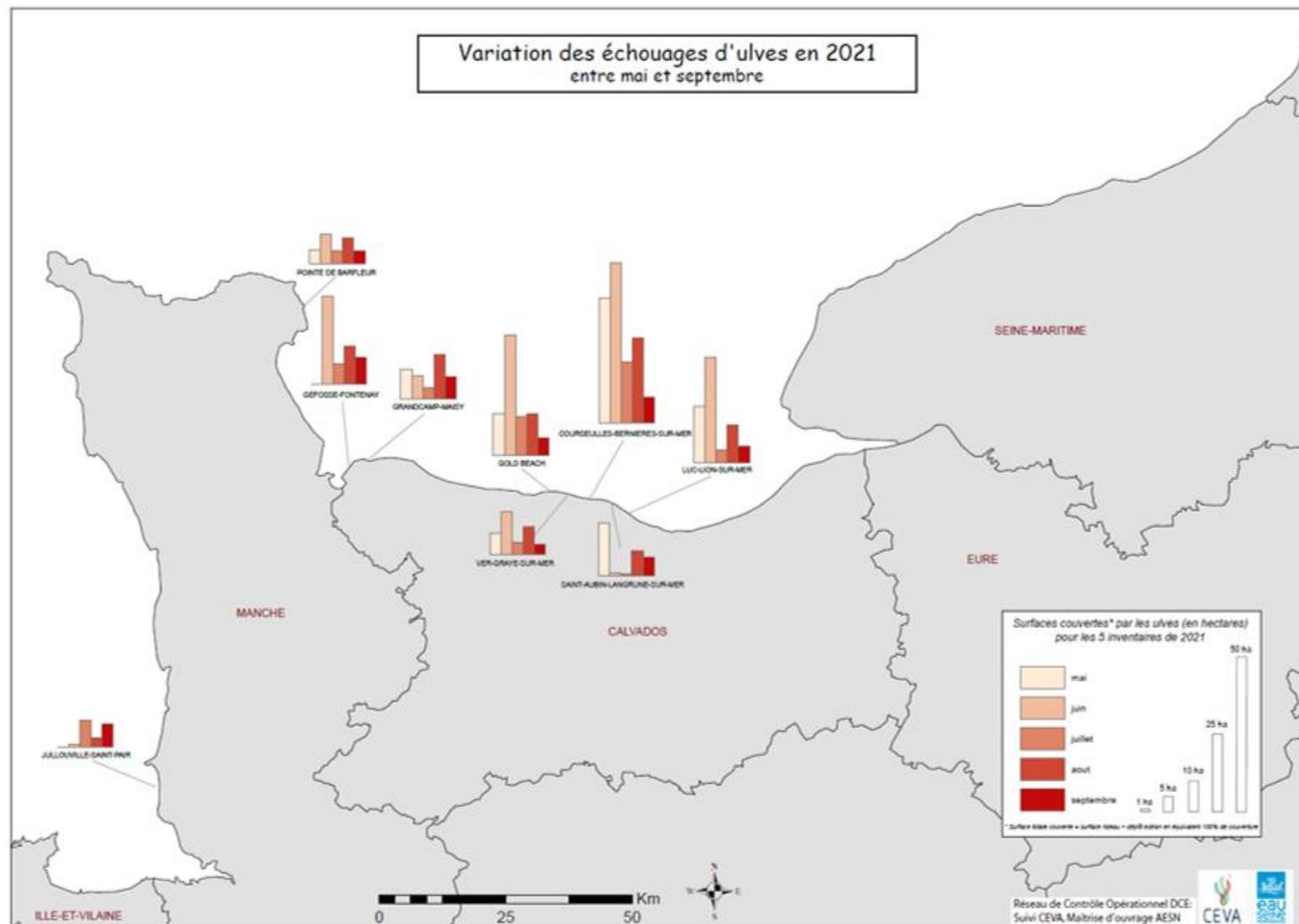


Figure 39. Variations mensuelles des échouages d'ulves lors des 5 inventaires de mai à septembre (RCS+RCO) de l'année 2021. Les surfaces sont exprimées en ha équivalent 100%.

4.1.2. Evolutions interannuelles des échouages d’ulves

L'évolution de la surface cumulée annuelle en algues vertes pour chacun des 9 sites depuis 2014 est présentée en figure 40. Pour l'ensemble des sites, l'année 2021 présente des surfaces assez élevées, au moins pour Gold Beach, Ver-Graye-sur-Mer, Courseulles-Bernières-sur-Mer et Luc-Lion-sur-Mer qui sont largement supérieures à la moyenne interannuelle. Les sites de la pointe de Barfleur, Gefosse-Fontenay et de Saint-Aubin-Langrune-sur-Mer atteignent la moyenne interannuelle et l'on peut observer des surfaces stables dans le temps pour le site de Saint-Aubin. Les surfaces pour les sites de Jullouville-Saint-Pair et Grandcamp-Maisy semblent diminuer dans le temps en comparaison des surfaces observées avant 2019. Le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer est le site qui obtient les surfaces digitalisées les plus élevées avec une moyenne de 116 ha et un maximum en 2021 à 154 ha. Les sites de Jullouville et de Ver-Graye-sur-Mer sont quant à eux les moins impactés avec environ 24 ha en moyenne est des maxima qui approchent des 40 ha.

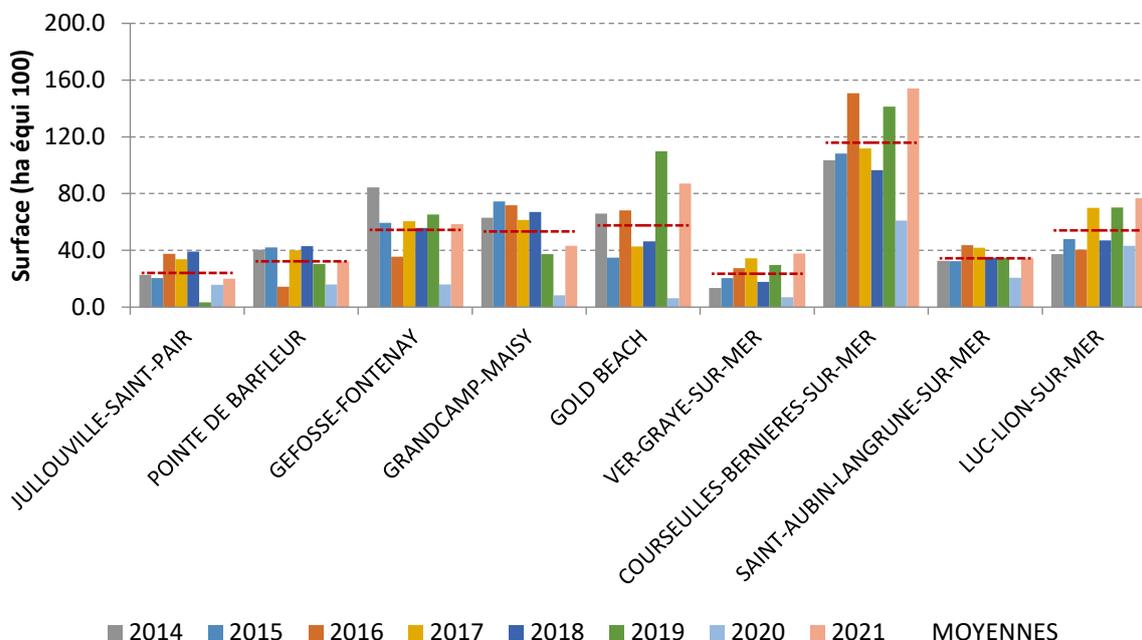


Figure 40. Evolution interannuelle de la surface cumulée en ulves sur les 9 sites suivis entre 2014 et 2021. Le cumul correspond à la somme des 5 inventaires de mai à septembre. Les pointillés rouges représentent les moyennes interannuelles pour chaque site.

L'année 2021 est marquée par un début de saison très chargé avec des surfaces d'échouage très importantes, notamment au moins de juin qui est exceptionnel pour cette période mais qui représente également un record jamais observé jusqu'à présent (Figure 41). Les surfaces au mois de juillet sont cependant moindres par comparaison aux autres années suivies. Les surfaces du mois d'août sont également assez élevées mais les années 2015, 2016 2019 et surtout 2018 avaient déjà présentées des surfaces équivalentes voire supérieures. Les surfaces du mois de septembre sont quant à elles assez faibles au regard de la série temporelle et figurent parmi les inventaires de fin de saison les plus faibles. Le plus gros contributeur aux échouages reste le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer puisqu'à lui

seul il représente en moyenne 27% des surfaces totales d’ulves sur les 5 inventaires et par rapport aux 9 sites du RCO (Figure 42). Les sites de Gold Beach et Luc-Lion-sur-Mer arrivent ensuite avec une proportion de 15 % et 12 % respectivement sur les surfaces totales. Ces 3 sites représentent donc plus de la moitié des échouages (55 %) par rapport aux 9 sites RCO. Pour le mois de mai, le site de Courseulles représentait près de 37 % des surfaces d’algues vertes. Aux mois de juin et septembre, le site de Gefosse-Fontenay figurait également parmi les contributeurs important avec plus de 15 % des échouages pour ces inventaires.

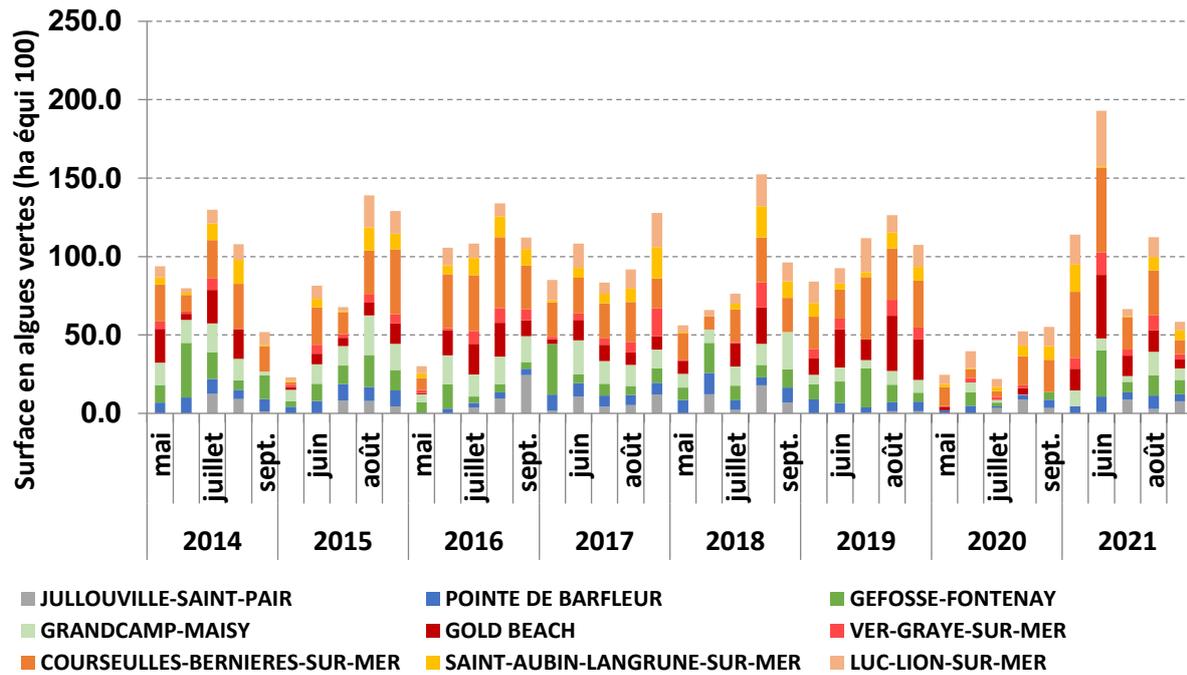


Figure 41. Evolution interannuelle des surfaces mensuelles en ulves sur les 9 sites suivis. Les surfaces correspondent à la somme des 5 inventaires de mai à septembre.

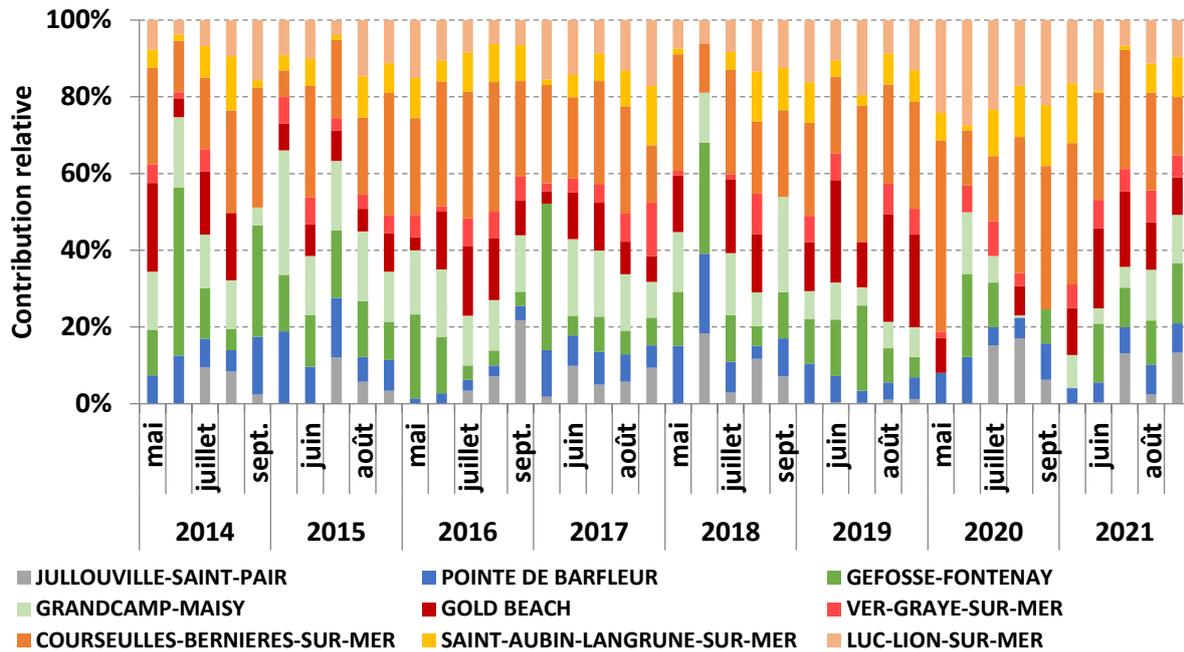


Figure 42. Evolution interannuelle de la contribution relative des 9 sites suivis (en %) par rapport à la surface mensuelle totale en ulves pour les 5 inventaires de mai à septembre.

4.2. Indices d'eutrophisation

4.2.1. Eléments 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-avril à début-septembre sur les 9 sites prévus dans le suivi RCO. Seul le site de Jullouville-Saint-Pair ne compte pas l'intégralité des prélèvements en raison de l'absence d'échouage sur le terrain (Figure 43 et Tableau 14). Cela concerne 4 prélèvements sur les 10, dont les 3 échantillons de début mai à début juin ainsi que le prélèvement au début du mois d'août.

4.2.2.1. Quotas azotés

Les profils des quotas en azote sont variables au cours de la saison selon les sites. Tous les contenus en azote sont largement au-dessus du seuil critique Q_1N (sauf pour 1 échantillon : celui de Jullouville au mois de septembre), ce qui signifie que les ulves n'ont pas manqué d'azote pour leur croissance (Figure 44).

Le profil de Jullouville est stable au début de la saison, avec des quotas proches entre fin avril et fin juin (pas de prélèvement entre ces 2 dates par manque d'ulves sur le terrain). L'azote augmente début juillet puis est consommé jusqu'à fin août où l'on peut observer à nouveau une augmentation de l'azote interne. Ces fluctuations sont le signe d'un enrichissement de la masse d'eau en matières nutritives, probablement apportées par des pluies plus abondantes sur ces périodes, qui est suivi par une phase de consommation par les ulves qui peut se traduire par une phase de forte activité de croissance. La fin du mois de septembre, avec une concentration en azote interne faible, indique une

consommation intense des stocks azotés jusqu'à passer en-dessous du seuil Q_1N de limitation de la croissance.

Le profil pour le site de la pointe de Barfleur est intéressant, avec une consommation progressive à partir de stocks élevés en azote, qui est suivie par un pic de la concentration interne en azote. Comme pour Jullouville, ce pic d'azote est probablement lié à un apport en nutriments dans la masse d'eau. La consommation des contenus azotés internes reprend de manière continue jusqu'à fin septembre où les pluies apportent les quantités d'azote suffisantes pour reformer le stock en azote des ulves en fin de saison.

Sur les sites de la côte de Nacre (de Gefosse-Fontenay à Luc-Lion-sur-Mer), les profils des contenus internes en azote sont relativement peu variables et indiquent que les algues n'ont pas eu besoin d'entamer leurs stocks interne afin de réaliser leur croissance. Les apports en nutriments ont donc probablement été réguliers sur la saison, ce qui paraît cohérent avec l'été relativement pluvieux enregistré pour l'année 2021. Pour tous ces sites, les quotas azotés augmentent dès la fin du mois de juillet, au plein cœur de l'été. Il n'y a que pour le site de Saint-Aubin-sur-Mer où le quota azoté interne a progressivement diminué de fin avril jusqu'à fin août (sans atteindre le seuil critique Q_1N).

Malgré un été assez pluvieux cette année, l'éclairement et les températures ont été suffisantes pour la croissance des ulves puisque les surfaces observées et mesurées cette saison ont été élevées.

4.2.2.1. Quotas phosphorés

Pour la plupart des sites, les courbes de quotas phosphorés suivent les profils des quotas azotés (Figure 44). Le phosphore semble avoir été limitant sur toute la saison pour le site de Jullouville (excepté au mois de juillet). Pour le site de la Point de Barfleur les concentrations internes en phosphore sont suffisantes en début de saison, deviennent limitantes pour la croissance des ulves en juin puis augmentent entre juillet et août. Ces stocks sont ensuite consommés jusqu'à la fin de la saison. Dans la Baie des Veys, pour le site de Gefosse-Fontenay, le phosphore semble limitant sur tout le début de la saison, jusqu'en juillet où le phosphore interne passe au-dessus du seuil critique Q_1P . Pour les autres sites de la côte de Nacre, les quotas internes en phosphore semblent majoritairement sous le seuil critique Q_1P durant la saison. De plus, sur le littoral entre Gold Beach et Luc-Lion-sur-Mer, les profils semblent se ressembler d'un site à l'autre avec un stock interne élevé au printemps (fin avril) qui diminue fortement dès le mois de mai. Les quotas augmentent progressivement à la fin de l'été, à partir du mois d'août.

Pour 6 sites (Grandcamp-Maisy, Gold Beach, Ver-sur-Mer, Courseulles-sur-Mer, Saint-Aubin-sur-Mer, et Luc-sur-Mer), le quota phosphoré interne est passé en-dessous du seuil de subsistance Q_0P une fois au cours de la saison et à la même période pour tous les sites, au début du mois de juin.



Figure 43. Localisation des prélèvements des échantillons d'ulves pour l'analyse des quotas internes en azote et phosphore pour les 9 sites prédéfinis dans le RCO Seine-Normandie en 2021.

Tableau 14. Date et localisation des prélèvements des échantillons d'ulves pour l'analyse des quotas internes en azote et phosphore pour les 9 sites prédéfinis dans le RCO Seine-Normandie en 2021.

SITE	DATE	LATITUDE	LONGITUDE	SITE	DATE	LATITUDE	LONGITUDE	SITE	DATE	LATITUDE	LONGITUDE
JULLOUVILLE-SAINT-PAIR	27/04/2021	48,81394200	-1,57632400	GRAND CAMP-MAISY	27/04/2021	49,39243000	-1,05188300	COURSEUILLES-BERNIERES-SUR-MER	27/04/2021	49,33987900	-0,46463400
	10/05/2021	-	-		10/05/2021	49,39046600	-1,05209800		11/05/2021	49,34056500	-0,46382500
	28/05/2021	-	-		28/05/2021	49,39047600	-1,05046300		28/05/2021	49,33848500	-0,46401400
	09/06/2021	-	-		09/06/2021	49,39281400	-1,05130100		10/06/2021	49,34055800	-0,46625800
	25/06/2021	48,81355600	-1,58585100		25/06/2021	49,39078100	-1,05106500		26/06/2021	49,34166800	-0,46534000
	13/07/2021	48,81157000	-1,58711700		14/07/2021	49,39173700	-1,05077300		14/07/2021	49,33830500	-0,46659100
	27/07/2021	48,81224300	-1,58299900		23/07/2021	49,39023800	-1,05101100		24/07/2021	49,34027300	-0,46524000
	12/08/2021	-	-		11/08/2021	49,39128400	-1,05117900		11/08/2021	49,34026087	-0,46542362
	26/08/2021	48,81475100	-1,58001000		24/08/2021	49,39145700	-1,05190500		26/08/2021	49,33949300	-0,46622800
09/09/2021	48,81306000	-1,58272800	09/09/2021	49,39208100	-1,05031300	09/09/2021	49,34006000	-0,46494500			
POINTÉ DE BARFLEUR	27/04/2021	49,68007100	-1,27004300	GOLD-BEACH	27/04/2021	49,34856516	-0,52673725	SAINT-AUBIN-LANGRUNE-SUR-MER	27/04/2021	49,33395900	-0,39413000
	10/05/2021	49,68027786	-1,27038949		11/05/2021	49,34809770	-0,52765876		11/05/2021	49,33398600	-0,39373000
	29/05/2021	49,67222900	-1,25803600		28/05/2021	49,34695100	-0,52850300		29/05/2021	49,33341300	-0,39472000
	09/06/2021	49,68046900	-1,27106800		09/06/2021	49,34967300	-0,53035700		10/06/2021	49,33592000	-0,39627300
	25/06/2021	49,68042100	-1,27014100		26/06/2021	49,34961100	-0,52882700		26/06/2021	49,33380200	-0,39673400
	13/07/2021	49,68087300	-1,27192500		14/07/2021	49,34622500	-0,52878900		14/07/2021	49,33358400	-0,39207800
	26/07/2021	49,68098700	-1,27179500		24/07/2021	49,34600000	-0,52818900		24/07/2021	49,33413300	-0,39397800
	12/08/2021	49,68099100	-1,27175100		11/08/2021	49,34606745	-0,52823963		12/08/2021	49,33362500	-0,39363400
	25/08/2021	49,68064100	-1,27192200		25/08/2021	49,34744800	-0,52870700		26/08/2021	49,33637500	-0,40062400
09/09/2021	49,68079900	-1,27199100	09/09/2021	49,34648000	-0,52896600	10/09/2021	49,33320400	-0,39388500			
GEFOSSÉ-FONTENAY	27/04/2021	49,38327100	-1,08927300	VER-GRAYE-SUR-MER	27/04/2021	49,34639000	-0,51032800	LUC-LION-SUR-MER	27/04/2021	49,31497800	-0,34030300
	10/05/2021	49,38513200	-1,08947500		11/05/2021	49,34771500	-0,50853000		11/05/2021	49,31619800	-0,34049000
	28/05/2021	49,38182200	-1,09230300		28/05/2021	49,34520000	-0,50941200		29/05/2021	49,31457500	-0,34156700
	09/06/2021	49,38864600	-1,08555500		10/06/2021	49,34789300	-0,51100800		10/06/2021	49,31649000	-0,33991200
	25/06/2021	49,38217200	-1,09062000		26/06/2021	49,34782600	-0,51085300		26/06/2021	49,31429700	-0,34080100
	13/07/2021	49,38398900	-1,08935700		14/07/2021	49,34533200	-0,51113800		14/07/2021	49,31638800	-0,34032800
	23/07/2021	49,38291500	-1,08916500		24/07/2021	49,34534600	-0,51118300		24/07/2021	49,31605700	-0,34089000
	11/08/2021	49,38299800	-1,08929600		11/08/2021	49,34567100	-0,51154400		12/08/2021	49,31540600	-0,34152000
	24/08/2021	49,38288500	-1,08931000		25/08/2021	49,34699500	-0,51564600		26/08/2021	49,31667500	-0,34019800
09/09/2021	49,38326900	-1,08972300	09/09/2021	49,34527400	-0,51101400	10/09/2021	49,31533400	-0,34102700			

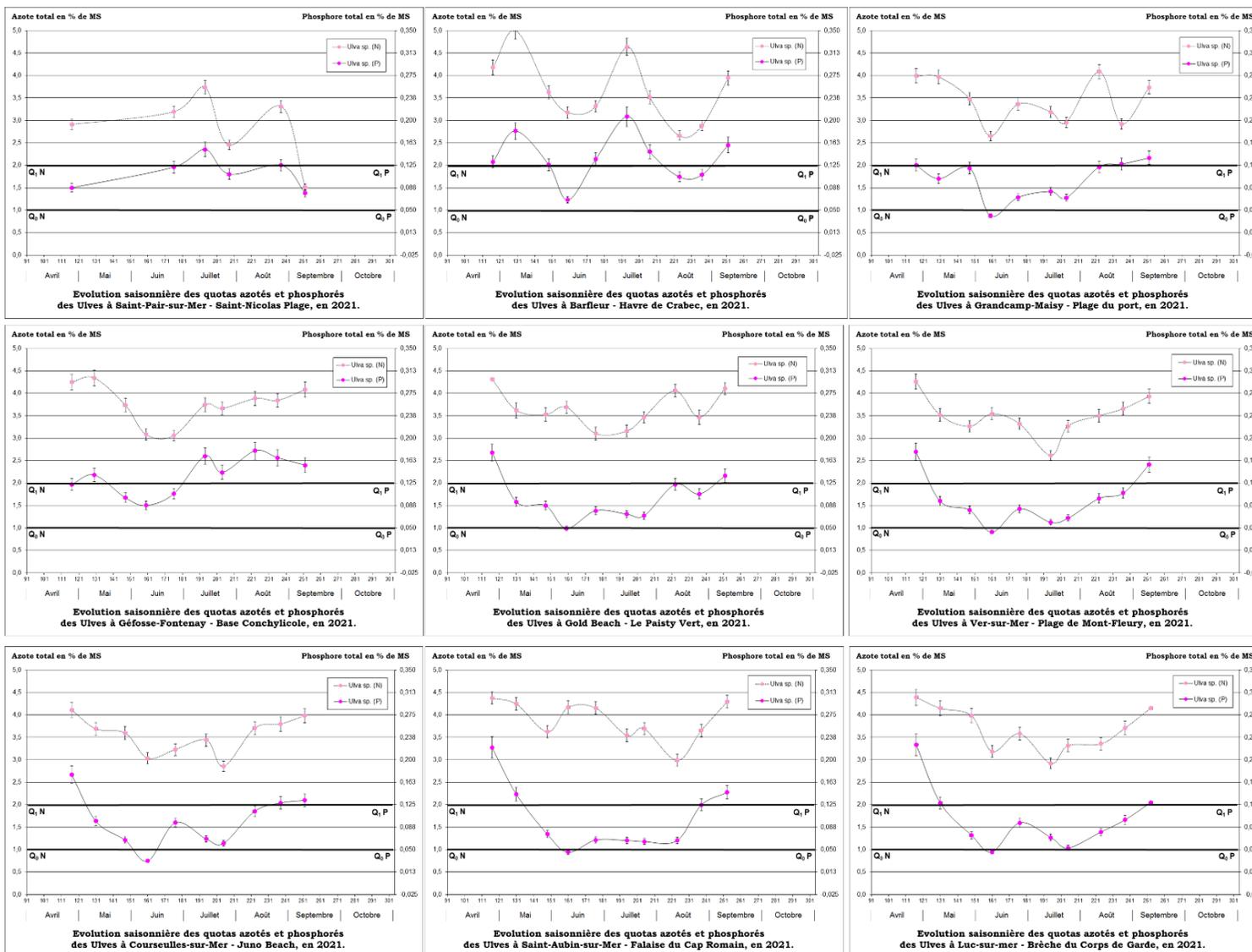


Figure 44. Evolution des quotas azotés et phosphorés sur la saison 2021 pour les sites 9 sites définis dans le RCO Seine-Normandie. Les lignes noires représentent les seuils critiques Q1N/P (à 2% et 0.125%) et de subsistance Q0N/P (à 1% et 0.05%).

5. Conclusions

5.1. Partie RCS (Réseau de Contrôle de Surveillance)

L'année 2021 est la 14^{ème} année de suivi du littoral de Seine-Normandie pour le Réseau de Contrôle de Surveillance (RCS) de la DCE. Les approches mises en œuvre par les équipes CEVA ont permis, cette année encore, de dénombrer les sites touchés par les échouages d'ulves et d'estimer les surfaces couvertes par les échouages d'ulves. 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 2021 a mis en évidence :

- Une surface totale d'ulves **relativement élevée** par rapport aux autres années, notamment en début de saison (**mai**),
- **19 sites concernés** au moins 1 fois par des échouages d'ulves (la moyenne interannuelle étant de 18 sites classés au moins 1 fois),
- avec **47 sites classés** au total sur les 3 inventaires, c'est l'une des années avec le plus grand nombre de sites classés, avec 1 site touché à 1 seule reprise (moyenne = 5), 8 sites touchés à 2 reprises (moyenne = 5), et 10 sites touchés à 3 reprises (moyenne = 5). Sur la saison, cela correspond à 12 sites impactés au mois de mai (moyenne = 11), 18 sites au mois de juillet (moyenne = 15) et 17 sites au mois de septembre (moyenne = 14),
- à part les sites Jullouville-Saint-Pair et Sud Granville, aucun autre site n'a été impacté par des échouages d'ulves en 2021 sur la partie ouest Cotentin,
- les sites sur le littoral de la Seine-Maritime n'ont pas été impactés par des échouages massifs d'ulves sur ces 3 inventaires,
- les échouages sont caractérisés par des mélanges d'algues vertes, rouges ou brunes en proportions variables selon les sites et les inventaires,
- des observations **d'échouages à risque** (sanitaire notamment), notamment sur le site de **Gefosse-Fontenay**,
- **296 ha** d'ulves digitalisés en 2021 sur les 3 inventaires (moyenne = 274 ha),
- une contribution significative de la Côte de Nacre aux surfaces annuelles relevées sur l'ensemble du littoral normand,

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 2016-2021 :

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

5.2. Partie RCO (Réseau de Contrôle Opérationnel)

L'année 2021 est la 8^{ème} année de suivi du Réseau de Contrôle Opérationnel (RCO) sur le littoral Seine-Normandie, pour le suivi renforcé sur les 9 sites prédéfinis avec les inventaires supplémentaires de juin et août. Les campagnes de terrain ont permis d'effectuer des prélèvements tous les 15 jours entre fin avril et début septembre. Seulement 4 prélèvements n'ont pas pu être réalisés sur le site de Jullouville en raison de l'absence d'échouage lors des contrôles sur le terrain.

Les suivis RCO permettent de compléter et renforcer l'analyse des surfaces des marées vertes sur les 9 sites du littoral Seine-Normandie qui sont régulièrement impactés par les problématiques d'échouages d'algues et ceci de manière plus soutenue sur la période de productivité algale. Ces suivis permettent également de suivre les contenus internes en azote et en phosphore qui peut être un indicateur des apports en nutriments dans la colonne d'eau et donc de l'état d'eutrophisation du milieu. L'analyse de la série temporelle des quotas internes pourrait être couplée à celle des facteurs environnementaux et anthropiques afin d'identifier les principales causes des échouages d'algue observés sur le littoral.

En ce qui concerne l'estimation surfacique des dépôts sur toute la saison 2021 (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 de saison avec une diminution des surfaces en fin de saison (sauf pour le site de Jullouville-Saint-Pair),
- les surfaces digitalisées sont relativement élevées par rapport aux années précédentes, avec **544 ha** pour les 9 sites sur les 5 inventaires, **c'est le maximum** observé depuis le début des suivis RCO,
- Comme les années précédentes, le site de Courseulles-Bernières-sur-Mer présente la contribution relative la plus élevée (27 % en moyenne) avec une contribution maximum en mai avec 37 %. Les contributions de Gold Beach et Luc-Lion-sur-Mer sont également élevées.

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

- Un apport régulier en azote au cours de la saison avec des pics observés pendant l'été, probablement dus à des pluies abondantes (à corréliser avec les relevés MétéoFrance).
- les contenus en azote sont largement supérieurs à 2% de M.S. sur les 9 sites suivis du littoral Seine-Normandie, ce qui signifie que l'azote n'est pas limitant pour la croissance des algues et qu'il est directement accessible dans la colonne d'eau,
- les concentrations en phosphore sembleraient limiter la croissance des ulves puisque les quotas internes sont en-dessous du seuil critique Q₁P, notamment pour les sites du Calvados. Cependant, au vu des quantités élevées d'algues observées sur cette période, c'est le nitrate qui semble être le facteur contrôlant,
- des profils en azote et en phosphore similaires pour les sites situés sur le littoral du Calvados, ce qui peut traduire une connexion entre les masses d'eau de ces sites.

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



Etape 3 :

Digitalisation des surfaces d'échouages



Etape 4 :

Estimation du taux de recouvrement des ulves au sein des surfaces digitalisées



Etape 5 :

La surface totale en « équivalent 100 % de couverture » est calculée par la somme des surfaces digitalisées multipliées par leur taux de recouvrement respectifs.

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

DEPARTEMENT : «dep»
COMMUNE : «nomcom»

**ENQUETE SUR LES
PROLIFERATIONS ET RAMASSAGES**

A renvoyer dès que possible :
par mail à : algues@ceva.fr
par courrier : CEVA, BP 3, 22610 PLEUBIAN

Description des proliférations et échouages			Si ramassage						
Localisations des proliférations et échouages : <small>noms des plages, vasières, petits fonds, lagunes ... concernés.</small>	Date(s) d'apparition des proliférations et échouages <small>Par localisation</small>	Date(s) de fin des proliférations et échouages <small>Par localisation</small>	Type d'algues : <small>- % algues vertes (si connu, préciser type) - % autres algues (brunes et rouges) - % « herbes marines » (Zostères) - % détritus Par localisation</small>	Date(s) de ramassage <small>Par plage</small>	Quantités ramassées en 2014 <small>(en m3, si possible *)</small> <small>Par plage</small>	Moyens techniques mis en oeuvre pour le ramassage	Organisme chargé du ramassage. Précisez si : <small>- service municipal - entreprise privée - autres</small>	Coût total estimé du ramassage <small>(chargement + transport ; préciser si HT ou TTC)</small>	Devenir des algues

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

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