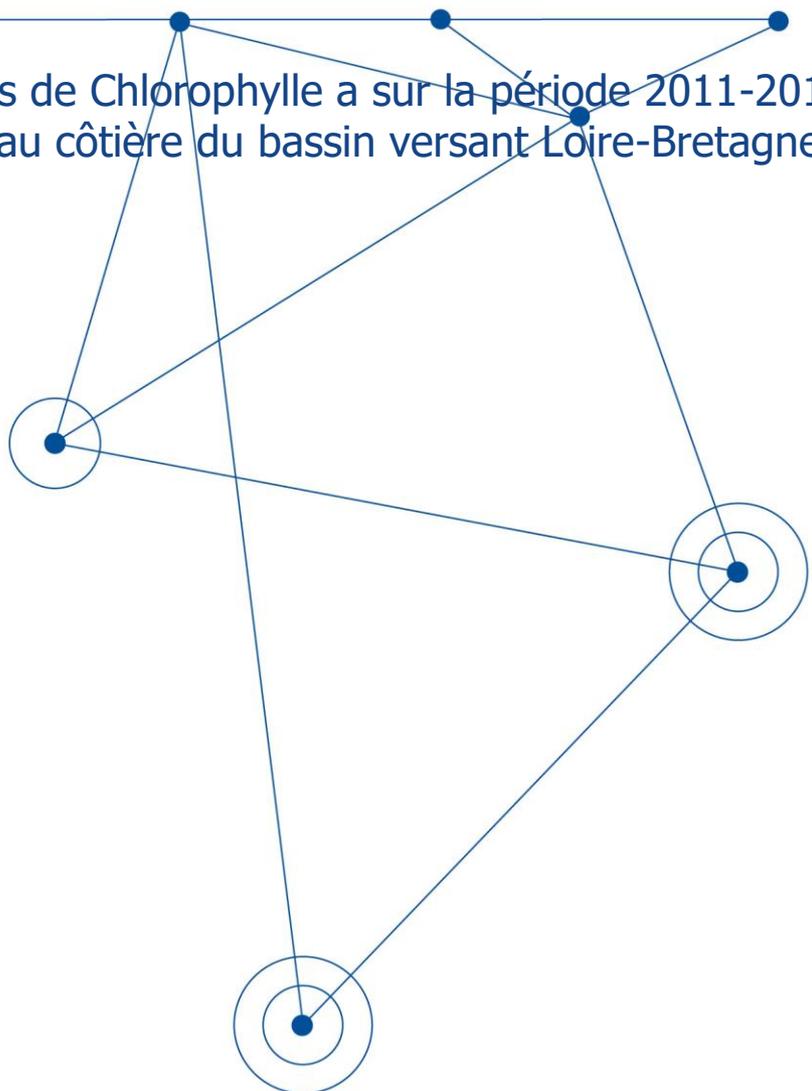


APPORT DES IMAGES SATELLITE A L'EVALUATION DE LA QUALITE DES MASSES D'EAU DCE

● ——— ● ——— ● ——— ● ——— ●
Analyse des données de Chlorophylle a sur la période 2011-2016
dans les masses d'eau côtière du bassin versant Loire-Bretagne



APPORT DES IMAGES SATELLITE A L'EVALUATION DE LA QUALITE DES MASSES D'EAU DCE

**Analyse des données de Chlorophylle *a* sur la période 2011-2016
dans les masses d'eau côtière du bassin versant Loire-Bretagne**



Eau colorée verte (*Lepidodinium chlorophorum*) – Port de Pornichet – août 2013 – Photo : Yves Le Medec (Minyvel Environnement)

Fiche documentaire

Titre du rapport : Apport des images satellite à l'évaluation de la qualité des masses d'eau DCE - Analyse des données de Chlorophylle <i>a</i> sur la période 2011-2016 dans les masses d'eau côtière du bassin versant Loire-Bretagne	
Référence interne : R.ODE/LITTORAL/LER/MPL/18.09	Date de publication : juillet 2018 Version : 1
Diffusion : <input checked="" type="checkbox"/> libre (internet) <input type="checkbox"/> restreinte (intranet) – date de levée d'embargo : AAA/MM/JJ <input type="checkbox"/> interdite (confidentielle) – date de levée de confidentialité : AAA/MM/JJ	Langue(s) : Français
Résumé/ Abstract : <p>Afin de répondre aux objectifs de la Directive Cadre sur l'eau, l'Ifremer met en œuvre, en appui à l'Agence de l'eau Loire Bretagne, la surveillance de l'élément de qualité phytoplancton. Le suivi sur des points fixes et à une fréquence mensuelle ne permet pas de suivre l'ensemble des masses d'eau du bassin Loire Bretagne. C'est pourquoi l'évaluation de l'indicateur phytoplancton a été complétée par une évaluation à partir des images satellite, notamment sur les masses d'eau non suivies.</p> <p>L'indice biomasse (représenté par le percentile 90 de la Chl-a) a pu être calculé à partir des données satellite pour la quasi-totalité des masses d'eau côtières RCS et non RCS, c'est-à-dire 34 masses d'eau sur 39. Pour les cinq masses d'eau restantes, les limites liées à l'acquisition des données (proximité et morphologie de la côte) n'ont pas permis l'évaluation de l'indice Chl-a à partir des données satellite.</p> <p>Deux méthodes de calcul de la métrique DCE à partir des données satellite ont été testées : la méthode globale et la méthode par pixel. Les résultats ont montré une bonne cohérence entre les deux méthodes de calcul de la métrique DCE à partir des données satellite ainsi qu'entre les données <i>in situ</i> et satellite. Les résultats ont montré, sur près de 20 ans de données, une bonne cohérence entre les données <i>in situ</i> et satellite sur deux stations Rephy utilisées pour la DCE (Men Er Roué et Ouest Loscolo).</p> <p>Les résultats satellite mettent en évidence une répartition spatiale hétérogène des concentrations en Chl-a de certaines masses d'eau. L'approche, qualitative et cartographique, utilisée dans cette étude, ne suffit pas pour remettre en cause les limites géographiques de la masse d'eau définies dans le cadre de la DCE. Elle devrait être complétée par une approche quantitative, temporelle et tenir compte de l'ensemble des paramètres suivis par la DCE.</p> <p>La bonne cohérence des résultats <i>in situ</i> / satellite montrée dans cette étude, nous encourage à poursuivre l'utilisation des données satellite Chl-a pour compléter les futures évaluations DCE des masses d'eau. Elles pourront aussi alimenter une éventuelle réflexion sur les limites géographiques de certaines masses d'eau.</p>	

<p>Mots-clés/ Key words : Images satellite – Directive Cadre sur l'eau – Indicateur Phytoplancton – Chlorophylle <i>a</i> - Indice Biomasse – Qualité des masses d'eau – Bassin Loire Bretagne</p>
<p>Comment citer ce document : Bizzozero L., Gohin F., Lampert L., Fortune M., Cochenec-Laureau N. (2018). Apport des images satellite à l'évaluation de la qualité des masses d'eau DCE. Analyse des données de Chlorophylle <i>a</i> sur la période 2011-2016 dans les masses d'eau côtière du bassin versant Loire-Bretagne. Rapport R.ODE/LITTORAL/LER/MPL/18.09.</p>
<p>Disponibilité des données de la recherche : Données <i>in situ</i> disponible dans Quadrige ² et dans Surval</p>
<p>DOI : Données du réseau Ifremer RePHY : http://doi.org/10.17882/47248</p>

Commanditaire du rapport : Agence de l'eau Loire- Bretagne	
Nom / référence du contrat : N°170517401	
<input type="checkbox"/> Rapport intermédiaire <input checked="" type="checkbox"/> Rapport définitif	
Projets dans lesquels ce rapport s'inscrit (programme européen, campagne, etc.) : Convention surveillance DCE Ifremer/AELB n°170517401.	
Auteur(s) / adresse mail	Affiliation / Direction / Service, laboratoire
Lucie Bizzozero	PDG-ODE-LITTORAL-LERMPL
Francis Gohin	PDG-ODE-DYNECO-PELAGOS
Luis Lampert	PDG-ODE-DYNECO-PELAGOS
Mireille Fortune	PDG-ODE-LITTORAL-LERMPL
Destinataire : Agence de l'eau Loire Bretagne	
Validé par : Nathalie Cochenec-Laureau ----- Relecture par : Françoise Bonneau	

Sommaire

LEXIQUE	6
1. Introduction	7
2. Imagerie satellite de la couleur de l'eau	8
2.1. Principe de l'imagerie satellite	8
2.2. Plateforme et camera satellite.....	8
2.3. Algorithme satellite	9
2.4. Limites pour l'utilisation des images satellite.	10
3. Comparaison des données Chl-a mesurées <i>in situ</i> et issues des images satellite.	11
3.1. Cycles annuels et variabilité de la Chlorophylle-a issue de mesures <i>in situ</i> et satellite à Ouest-Loscolo et Men er Roué.....	11
3.2. Evolution sur l'ensemble de la région et représentativité du point Ouest-Loscolo	19
4. Evaluation de la qualité des masses d'eau au sens de la DCE (données 2011-2016)	23
4.1. Méthodologie pour l'évaluation de la métrique Chl-a	23
4.1.1. Méthodologie pour l'évaluation de la métrique Chl-a à partir des images satellite.....	23
4.1.1.1. Méthode par pixel.....	24
4.1.1.2. Méthode globale	24
4.1.1.3. Limites de l'évaluation DCE à partir des images satellite.....	25
4.1.2. Méthodologie pour l'évaluation de la métrique Chl-a à partir des données <i>in situ</i>	25
4.2. Résultats.....	26
4.2.1. Résultats obtenus à partir des images satellite	26
4.2.1.1. Méthode par pixel.....	26
4.2.1.2. Méthode globale	29
4.2.1.1. Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes satellite	30
4.2.2. Résultats obtenus à partir des données <i>in situ</i>	32
4.2.3. Comparaison avec les résultats issus des données <i>in situ</i> et des images satellite.....	33
4.2.4. Proposition de qualité pour l'évaluation 2016	39
5. Conclusion.....	42
6. Perspective de suivi par satellite pour les années à venir.....	43

LEXIQUE

MET = masse d'eau de transition

MEC = masse d'eau côtière

RCS = réseau de contrôle de surveillance

MODIS = Moderate resolution imaging spectroradiometer

MERIS = Medium resolution imaging spectrometer instrument

Chl-a = Chlorophylle *a*

P90 DCE = percentile 90 calculer sur 6 ans de données sur la période productive (mars à octobre)

REPHY = réseau d'observation et de surveillance du phytoplancton et de l'hydrologie dans les eaux littorales

AELB = Agence de l'eau Loire Bretagne

NASA = National Aeronautics and Space Administration

ESA = European space agency

MES = matières en suspension

1. Introduction

La Directive Cadre sur l'eau 2000/60/CE (DCE) établit le cadre d'une politique communautaire dans le domaine de l'eau. Elle fixe comme objectif général l'atteinte d'un bon état écologique et chimique des masses d'eau. Dans ce cadre, l'Agence de l'eau Loire Bretagne est responsable de la surveillance de l'état des eaux du littoral Loire-Bretagne.

Le littoral du bassin Loire Bretagne, qui s'étend du Mont Saint-Michel à La Rochelle, est découpé en 39 masses d'eau côtière (MEC) et 30 masses d'eau de transition (MET).

L'évaluation de la qualité des masses d'eau côtière et de transition s'appuie sur le réseau de contrôle de surveillance (RCS) qui suit des éléments de qualité biologique, physico-chimique, et chimique. Le RCS n'a pas vocation à suivre l'ensemble des masses d'eau du littoral Loire-Bretagne. Ainsi 25 masses d'eau côtière (sur 39) et 16 masses d'eau de transition (sur 30) sont intégrées au RCS et font l'objet d'acquisition de données *in situ*.

Afin de répondre aux objectifs de la Directive Cadre sur l'eau, l'Ifremer met en œuvre, en appui à l'Agence de l'eau Loire Bretagne, la surveillance de l'élément de qualité phytoplancton. L'acquisition de données *in situ* (Chlorophylle *a* (Chl-*a*) et flore indicatrice) est réalisée dans les masses d'eau RCS via le réseau RePHY¹ (RePHY surveillance). Ces données permettent de calculer l'indicateur « phytoplancton ». Le calcul de l'indicateur repose actuellement sur deux métriques : le percentile 90 de Chl-*a* (biomasse) et le pourcentage d'échantillons en état de bloom (abondance). La métrique pour le paramètre composition est en cours de développement.

Lozac'h *et al* (2006) (in Saulquin *et al.*, 2007), puis Saulquin *et al*, (2007) ont mis en évidence l'intérêt de l'imagerie satellite en tant qu'outil opérationnel pour la surveillance des masses d'eau du littoral Loire Bretagne et leur classement selon le paramètre Chl-*a*. Le principal avantage de l'imagerie satellite est de pouvoir évaluer la qualité d'une masse d'eau hors RCS (ie non suivies *in situ*) pour le paramètre Chl-*a*. Des travaux visant à utiliser les données satellite pour évaluer la qualité des masses d'eau du bassin Loire Bretagne ont été réalisés par Saulquin *et al.* en 2007 sur les données 2001-2006, et par Francis Gohin et Philippe Bryère sur les données 2007-2012 (Belin, 2014). Des travaux similaires ont été menés en Méditerranée par Ganzin *et al* (2008) et en Guyane française par Lampert *et al.* (2015 et 2016).

L'objectif de cette étude est de compléter l'évaluation de la qualité des masses d'eau 2016 faite à partir de données *in situ* par les résultats obtenus grâce aux données satellite. Ce travail permet à la fois d'évaluer la qualité des masses d'eau côtière qui ne sont pas suivies dans le cadre du RCS et de comparer les résultats obtenus *in situ* et par satellite sur les masses d'eau du RCS. Les images satellite permettent de présenter la distribution spatiale de la Chl-*a* au sein d'une masse d'eau.

Nous rappellerons succinctement en première partie la méthodologie de traitement des images satellite de la couleur de l'eau utilisées dans cette étude. Ensuite nous étudierons la cohérence entre les données *in situ* et satellite en deux points RePHY suivis pour la DCE et pour le RePHY Observation (Figure 1) : Ouest Loscolo et Men er Roue. Enfin la troisième partie proposera une évaluation de la qualité des masses d'eau basée sur les données *in situ* et satellite pour l'année 2016 (jeu de données 2011-2016 en période productive). Cette étude est menée dans le cadre de la mise à jour de l'état des lieux 2019 et dans le cadre de la convention surveillance DCE Ifremer/AELB n°170517401.

¹ Le REPHY est composé de trois composantes :

- le REPHY Observation, qui a pour objectif de répondre à des questions de recherche, et dont une partie fait l'objet d'une demande de labellisation dans un cadre national (2 fois par mois)
- le REPHY Surveillance, qui complète le réseau d'Observation pour répondre aux directives européennes (DCE et DCSMM) pour le phytoplancton et l'hydrologie (1 fois par mois)
- le REPHY Sanitaire, qui complète les deux autres pour le déclenchement de prélèvements de coquillages effectués dans le cadre du REPHYTOX

2. Imagerie satellite de la couleur de l'eau

L'Ifremer traite les images satellite de la Couleur de l'Eau (réflectance marine) depuis 1998 suite au lancement du capteur SeaWiFS (NASA). Les premiers travaux appliqués à la DCE, basés sur SeaWiFS, puis MERIS (ESA) et MODIS (NASA), ont été publiés en 2007 (Saulquin *et al.*) et 2008 (Gohin *et al.*). Ceux-ci furent poursuivis en 2009 et étendus à l'ensemble des masses d'eau côtières françaises (Gohin *et al.*, 2009). Enfin, afin de dresser l'état initial au démarrage de la surveillance DCSMM, un atlas de la turbidité, température et Chlorophylle *a* du plateau continental français et de ses abords fut établi à partir des données des satellites (Gohin *et al.*, 2010). Depuis, l'équipe Ifremer a continué à développer des méthodes de traitement des données satellite de la Couleur de l'Eau, en particulier dans le cadre de la recherche et développement du projet européen de surveillance Copernicus. D'autres capteurs comme VIIRS (NASA) et bientôt OLCI (Sentinel3/Copernicus) ont été ou vont être ajoutés à la base de données. On dispose ainsi d'une base de données quotidiennes depuis début 1998 projetée sur l'Ouest européen à la résolution d'environ 1 km.

2.1. Principe de l'imagerie satellite

L'estimation par satellite des paramètres de couleur de l'eau s'appuie sur des mesures optiques à la surface de l'océan. Les capteurs mesurent le signal solaire réfléchi (réflectance) à la surface de la mer, après diffusion et absorption dans la couche de surface. Ce signal varie selon les propriétés optiques de l'eau de mer qui dépendent de sa composition (Chl-*a*, MES, ...).

Les composantes optiquement actives de l'océan du large sont l'eau de mer pure, dont les propriétés optiques sont bien connues. Le phytoplancton est, lui, caractérisé par son contenu en Chlorophylle-*a* qui a un pigment absorbant fortement dans le bleu (pic majeur à 443 nm) et dans le rouge (second pic d'absorption à 665 nm). Du fait de l'absorption dans le bleu, la concentration en Chlorophylle *a* est inversement proportionnelle au rapport des réflectances Bleu/Vert. Les eaux riches en phytoplancton apparaissent vertes car les rayonnements bleus et rouges sont préférentiellement absorbés et ne ressortent que partiellement de l'eau. Dans les eaux côtières, le milieu est optiquement complexe car les matières minérales remises en suspension par le courant de marée et les tempêtes, ou apportées par les fleuves, ainsi que les substances organiques dissoutes colorées (ou substances jaunes) véhiculées dans le panache des fleuves vont ajouter leurs effets à l'eau pure et au phytoplancton. Les images brutes doivent donc être traitées par un algorithme approprié pour calculer la concentration en Chl-*a* (paragraphe 2.3).

2.2. Plateforme et camera satellite

Sur la période 2011-2016 les capteurs MODIS (NASA) et MERIS (ESA) ont été utilisés pour fournir des images à 1 km de résolution. Les caractéristiques des caméras utilisées sont présentées dans le Tableau 1.

Les surfaces des masses d'eau côtière en Loire Bretagne, varient entre 20 et 1000 pixels environ, ainsi l'ensemble est couvert par environ 10 000 pixels de 1km (Tableau 2).

Les données utilisées sont calculées chaque jour par krigeage, ce qui représente un traitement d'environ 4 millions de données par année sur l'ensemble des MEC bretonnes. Le krigeage est utilisé pour interpoler des images complètes malgré la présence de nuages qui obèrent l'observation directe.

Tableau 1. Caractéristiques des caméras utilisées pour les données « couleur de l'eau »

Données	Période utilisée pour l'évaluation DCE	Résolution	Origine
MODIS	2011-2016	1km	ESO/NASA
MERIS	2011-2016	1km	Envisat/ESA

MERIS = Medium resolution imaging spectrometer instrument

MODIS = Moderate resolution imaging spectroradiometer

Tableau 2. Couverture en pixels des caméras utilisées

	MEC
Surface	≈ 10 000 km ²
Nbre de pixel disponibles – MODIS 1km	≈ 10 000 pixels ¹
Nbre de pixel disponibles – MERIS 1km	≈ 10 000 pixels ¹

1 : Annexe 1

2.3. Algorithme satellite

Le rapatriement des images acquises par les satellites MODIS et MERIS a été effectué via internet (FTP). Ces images sont au niveau dit L2, c'est-à-dire après corrections atmosphériques et géoréférencement par la NASA et l'ESA. L'algorithme OC5, développé à Ifremer (Gohin et al. 2002) a ensuite été appliqué. Il a permis d'obtenir la valeur journalière de Chl-a par pixel (niveau L3) à partir des données des deux satellites. Il modifie l'algorithme standard de la NASA OC4 (Ocean Color 4 bands Algorithme) en corrigeant l'estimation de la Chlorophylle *a* des effets des substances organiques dissoutes colorées et surtout des matières en suspension (MES) dans les eaux de l'Atlantique et de la Manche. Ceci se fait par l'utilisation des canaux à 412 nm (pour les substances organiques dissoutes colorées) et 555 nm (pour les MES). La Chl-a est exprimée en mg/m³ ou en µg/L. Sans correction, la présence de MES ou de substances jaunes en milieu côtier peut conduire à une surestimation de la Chl-a (car absorbant les longueurs d'ondes proches de celle absorbées par la Chl-a).

Les données ont ensuite été interpolées par une méthode basée sur la géostatistique afin de fournir des données quotidiennes multi-capteur (krigeage). Le krigeage consiste à compléter la valeur éventuellement manquante d'un pixel du jour J à partir des données proches mais aussi des données acquises les 5 jours précédant (J-5) et les 5 jours suivant le jour considéré (J+5) selon la méthode décrite par Saulquin et al (2010). L'interpolation permet ainsi d'une part de procurer l'information manquante sous les nuages, avec certes une qualité dégradée, et d'autre part de fournir une base de données équilibrée temporellement et spatialement lors du calcul de moyennes mensuelles ou annuelles. (Gohin, 2002, Gohin, 2010, Lampert, 2016).

Ce sont ces images journalières obtenues après traitement OC5 et interpolation qui ont permis de calculer les Percentiles 90 (P90) Chl-a par les méthodes « par pixel » et « globale ».

Ces dernières images traitées contiennent les paramètres avec les données en Chlorophylle-a et en concentration de matières en suspension non-algales (essentiellement minérales) corrigées et géoréférencées. Elles se présentent sous des formats différents :

- GeoTIF : format type raster géoréférencé. Il s'adapte bien aux traitements des données et SIG,
- JPG ou PNG : format type raster de faible taille qui permet une rapide visualisation des données ; idéal pour des pages web ou des présentations.

La méthodologie de calcul du P90 selon les critères DCE est présentée au paragraphe 4.1.

2.4. Limites pour l'utilisation des images satellite.

La qualité des images obtenues par les caméras embarquées sur les plateformes satellite est sujette à différents problèmes liés à la composition de l'atmosphère (présence d'aérosols), à la complexité optique du milieu marin (MES, substances jaunes et turbidité), à la morphologie des côtes ou à la couverture nuageuse.

La morphologie de la côte (baie fermée, semi-fermée ou encaissée) modifie la réflectance du signal marin par interaction dans l'atmosphère des photons issus de pixels terrestres voisins. La couverture nuageuse empêche l'acquisition des données. Enfin l'efficacité du traitement du signal par l'algorithme OC5 pour corriger les effets liés à la présence de matières en suspension et de substances jaunes dans l'eau, peut varier en fonction de la composition de l'eau et de l'atmosphère. Son efficacité augmente en s'éloignant de la côte. Ainsi dans certaines masses d'eau très enclavées (ex : Golfe du Morbihan), très encaissées (ex : Rade de Brest) ou dont les concentrations en MES ou substances jaunes sont trop élevées (ex : masse d'eau de transition), la mesure de la Chl-a à partir des images satellite n'est pas toujours fiable.

Par ailleurs la résolution des capteurs utilisés dans cette étude est trop faible (pixel de 1 km) pour mesurer la Chl-a à partir des images satellite dans les masses d'eau de transition. Une plus forte résolution, comme celle de MERIS et OLCI à 300 m permettrait d'obtenir des meilleurs résultats dans les MET (Lampert, Bryère et Gohin 2016 et 2017).

La suite de l'étude porte donc uniquement sur les masses d'eau côtière (MEC). Les MEC concernées par les limites de la méthode sont détaillées au paragraphe 4.1.

3. Comparaison des données Chl-a mesurées *in situ* et issues des images satellite.

3.1. Cycles annuels et variabilité de la Chlorophylle-a issue de mesures *in situ* et satellite à Ouest-Loscolo et Men er Roué

Dans un premier temps l'adaptation des données satellite à la représentation de la variabilité naturelle de la chlorophylle-a dans le milieu a été vérifiée. Pour cela les cycles moyens saisonniers obtenus par les données satellite et *in situ* ont été comparés sur deux stations à la fois REPHY et DCE qui présentent des niveaux d'eutrophisation différents. L'une se situe en baie de Vilaine dans une zone fortement eutrophisée : Ouest-Loscolo. L'autre se situe à proximité de la presqu'île de Quiberon dans une zone moins touchée par l'eutrophisation (Figure 1). La variabilité interannuelle et sur 6 ans, par satellite et *in situ*, a ensuite été étudiée sur ces stations de 1998 à 2016.

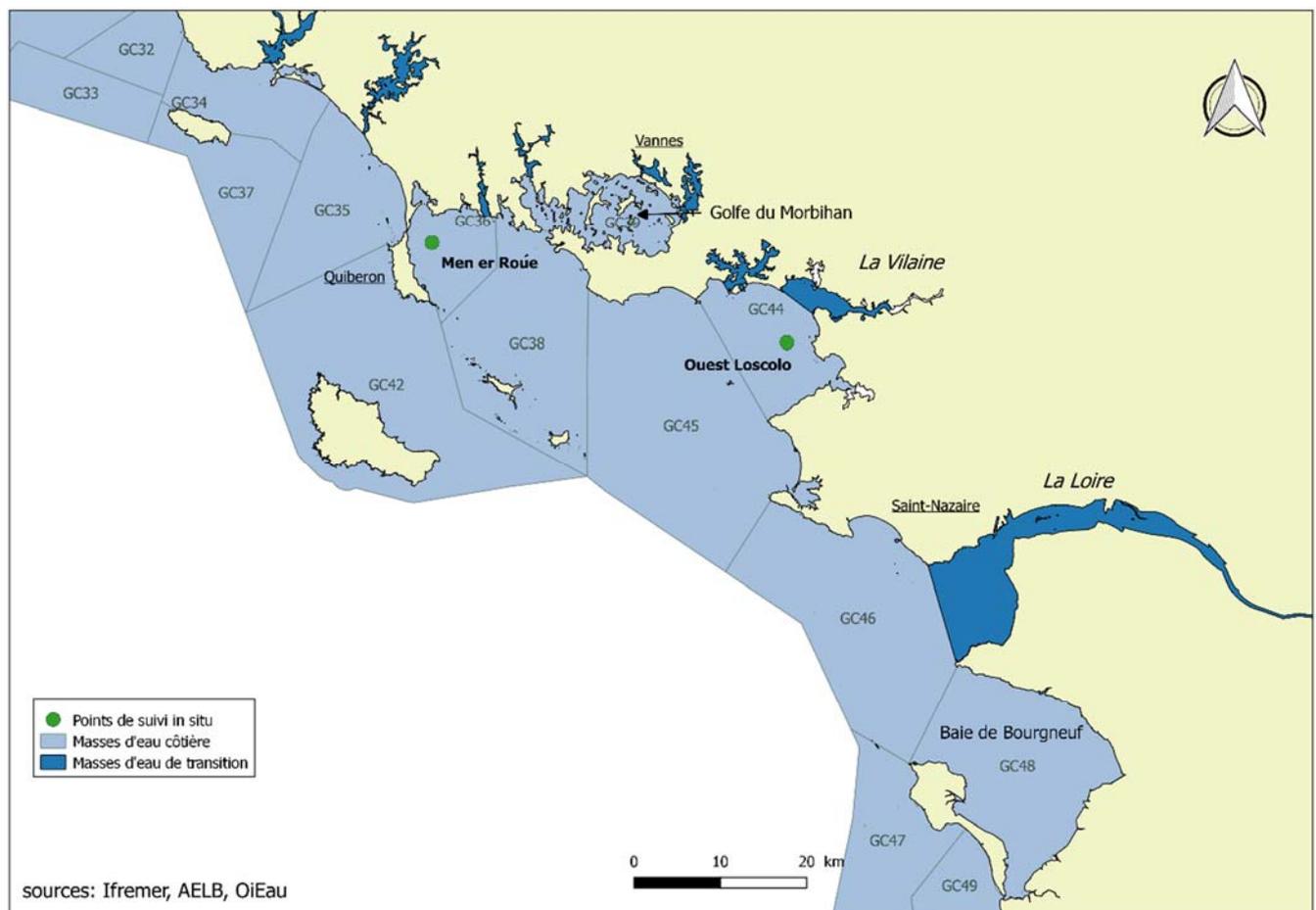
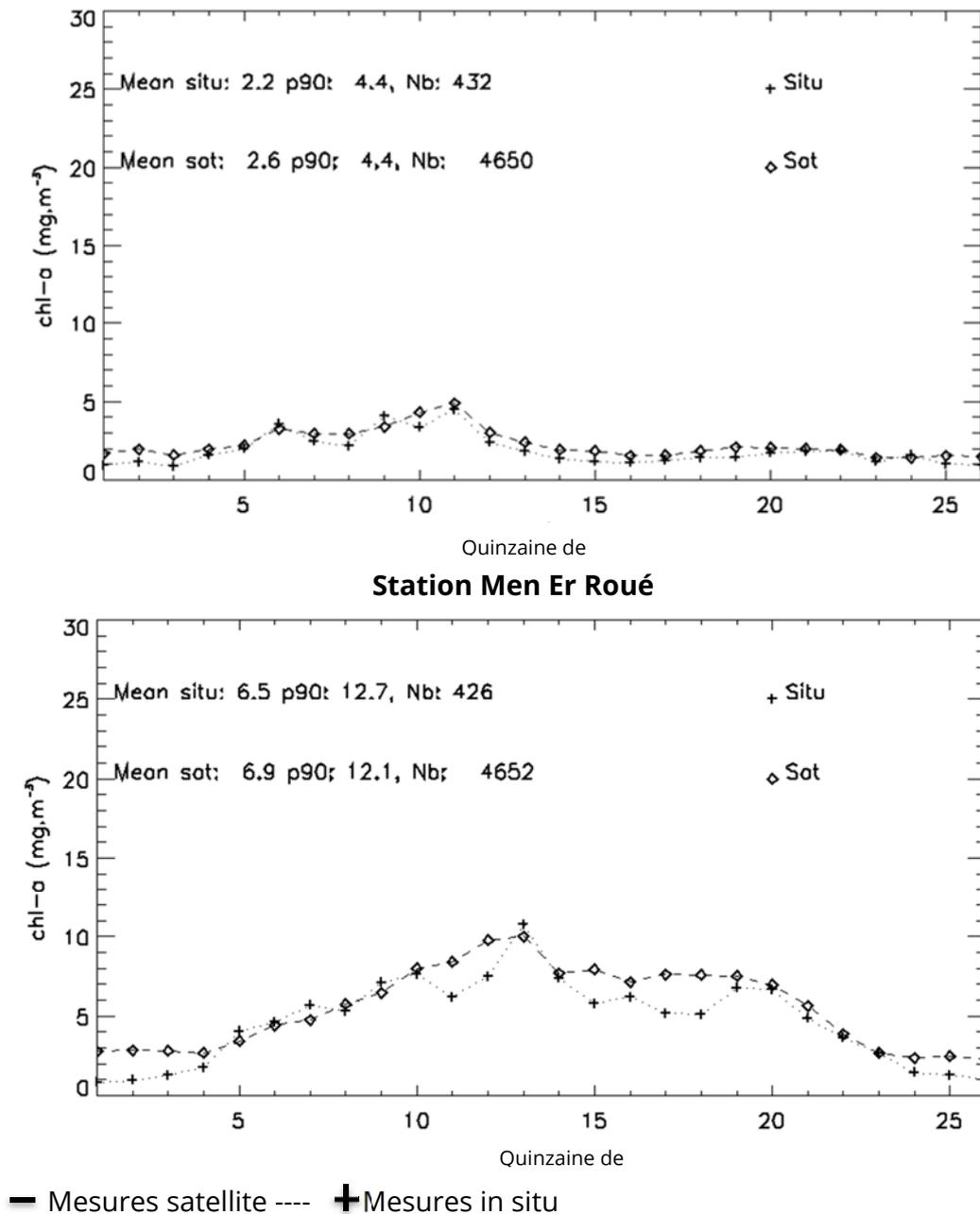


Figure 1. Localisation des stations Ouest-Loscolo (située dans la GC44) et Men er Roué (située dans la GC36).

La Figure 2 présente les cycles saisonniers moyens, sur la période 1998-2016, calculés en groupant l'ensemble des mesures par période de quinze jours, soit 26 périodes par an. Les courbes moyennes satellite et *in situ* sont très proches pour chacune des stations. Cette bonne correspondance était attendue car les stations de Men er Roué et Ouest Loscolo font partie de la vingtaine de stations de référence issues des réseaux REPHY/Ifremer et SOMLIT/CNRS utilisées pour calibrer la méthode Ifremer dite OC5. Cette bonne concordance entre les analyses *in situ* et satellite permet aussi de vérifier que sur une longue période il n'apparaît pas de biais dû au changement de capteurs. Une étude de la variabilité temporelle des moyennes et des P90 au cours des années de la période 1998-2016 va nous permettre d'aller plus loin dans l'analyse conjointe que les simples comparaisons de cycles moyens satellite et *in situ*.



Station Ouest Loscolo

Figure 2. Cycles saisonniers moyens par période de quinze jours observés *in situ* et de l'espace sur la période 1998-2016. Les nombres de mesures indiqués correspondent aux observations effectuées lors de la période productive mars-octobre sur laquelle ont été calculés les moyennes et percentile 90 indiqués sur le graphe.

La Figure 3 montre les moyennes annuelles satellite et *in situ*. On note une variabilité plus forte à partir des mesures *in situ*. Ceci était attendu du fait de leur nombre relativement faible et aussi du volume prélevé qui est sans commune mesure avec celui sondé de l'espace. Dans la baie de Vilaine (Ouest-Loscolo), les moyennes annuelles les plus élevées sont obtenues en 2007, 2008 et 2009 avec les données satellites et en 2007 et 2008 avec les données *in situ*. La valeur maximale est observée *in situ* en 2007 (moyenne affectée par une mesure très forte qui augmente la variance) et par satellite en 2008.

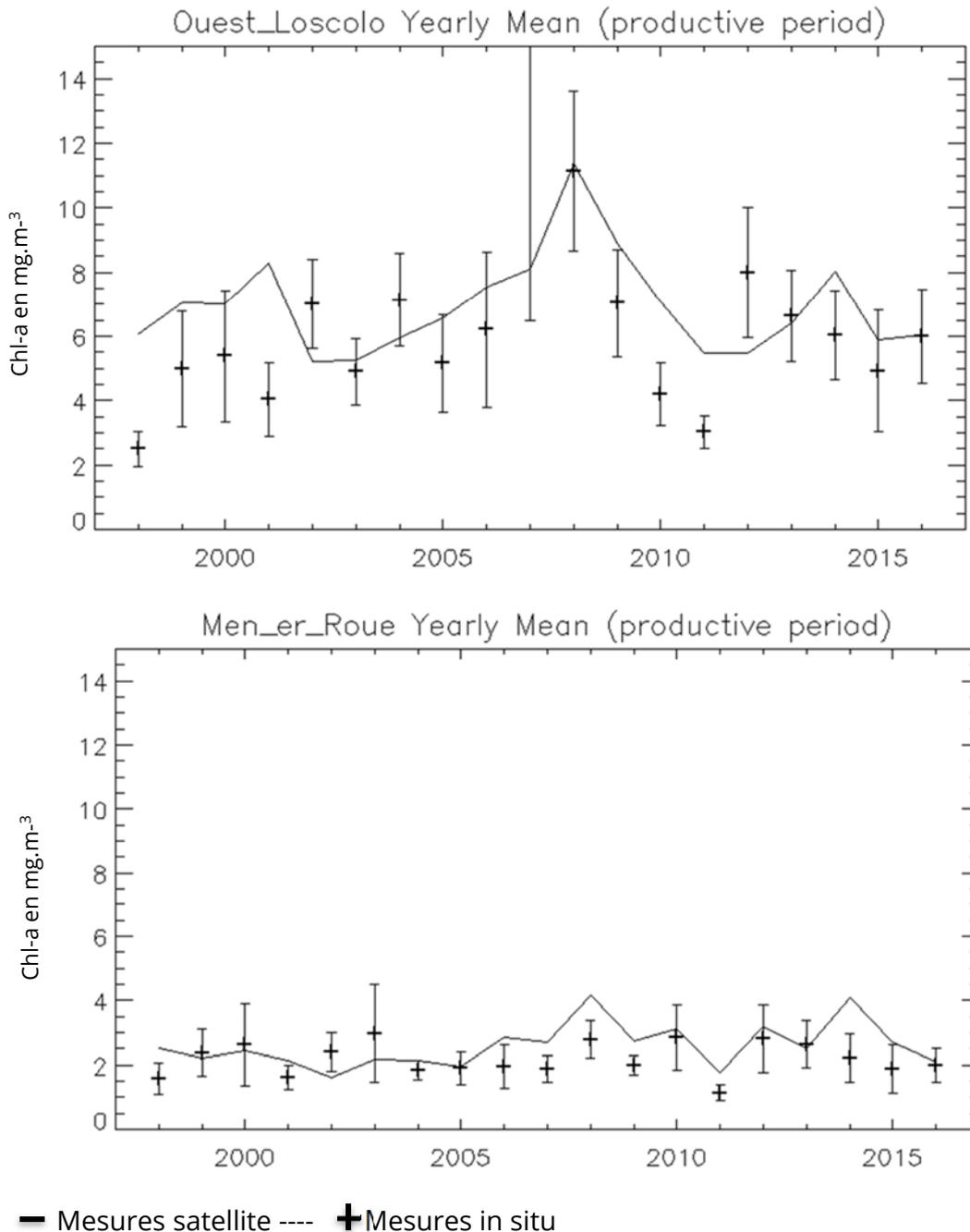


Figure 3. Variation de la moyenne de la Chlorophylle a de la période productive (mars à octobre, en mg m^{-3}) au cours des années aux deux stations de référence. Les barres autour de la moyenne *in situ* correspondent à ± 1.65 l'écart type calculé sur l'année, pour indication de la variabilité. L'équivalent satellite n'est pas présenté car l'écart-type calculé est très faible du fait du nombre élevé d'observations utilisées pour le calcul de la moyenne (environ 245 par an).

La Figure 4 montre les cycles annuels de la Chlorophylle *a* lors des années 2008 (maximum satellite sur la période 1998-2016), 2014 (maximum satellite sur la période 2011-2016) et 2011 (minimum satellite sur la période 2011-2016) sur le point Ouest Loscolo. Une très forte variabilité interannuelle est observée. Les pics relativement étalés dans le temps, du jour 100 (début mai) au jour 280 (octobre), suggèrent une évolution des blooms en lien avec les apports en nutriments de la Loire et de la Vilaine.

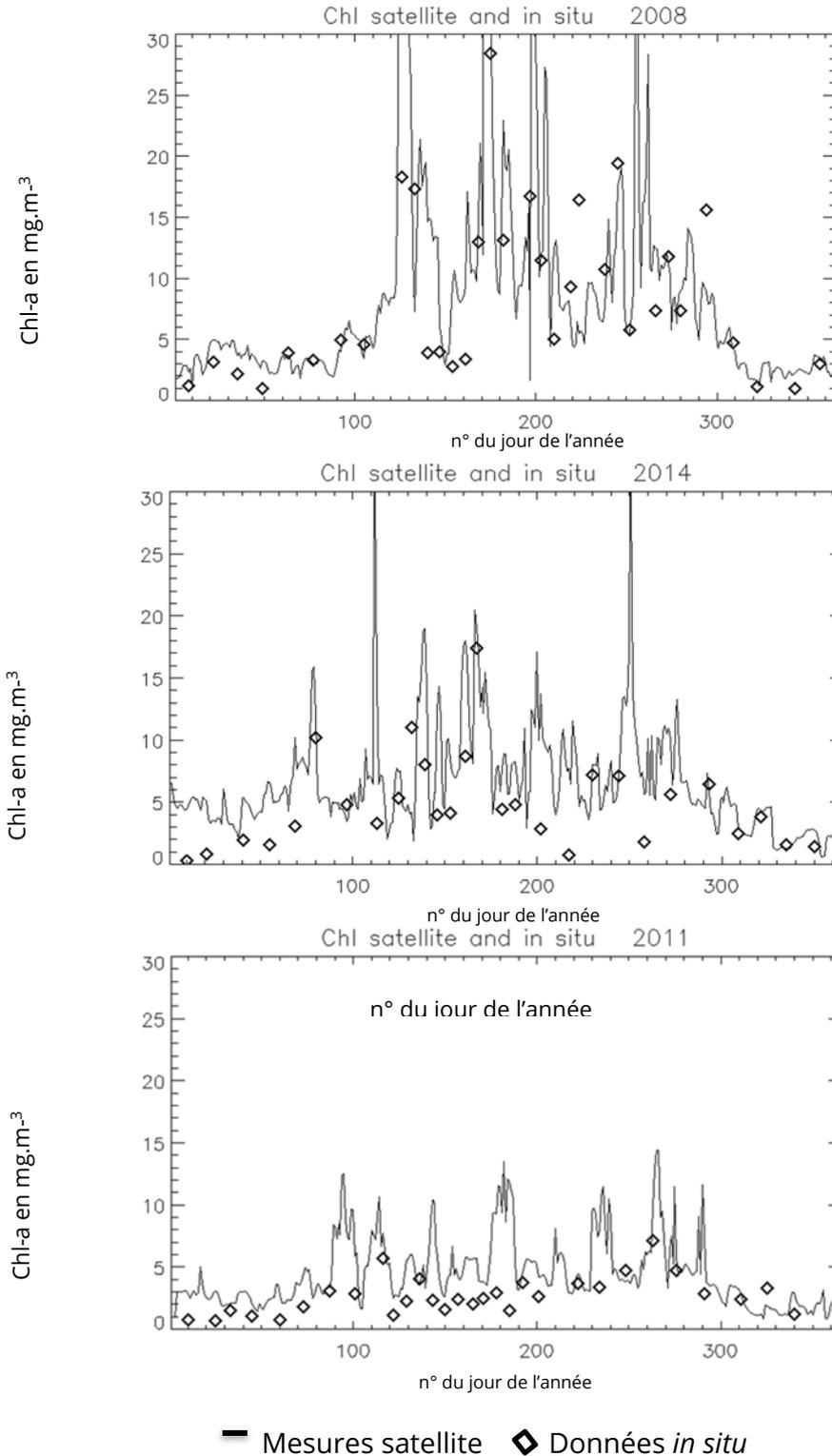


Figure 4. Cycles annuels de la Chlorophylle sur le point Ouest Loscolo lors des années 2008 (maximum satellite sur la période 1998-2016), 2014 (maximum satellite sur la période 2011-2016) et 2011 (minimum satellite sur la période 2011-2016).

La DCE a adopté l'utilisation du percentile 90 (P90) pour la métrique de la Chl-a. Il est calculé sur une période de 6 ans pendant la période productive (mars à octobre). Dans la suite du document, nous le nommerons **P90 DCE**.

La Figure 5 et la Figure 6 présentent l'évolution de la moyenne mobile (calculée sur 6 ans) et du P90 DCE de 1998 à 2016 aux stations de Men er Roué et Ouest-Loscolo

Sur la station Men er Roué, on constate une relative stabilité de la moyenne et du P90 DCE sur la période étudiée. Une légère tendance à l'augmentation est observée cependant sur le P90 DCE, à la fois *in situ* et par satellite à partir de 2008.

Sur Ouest-Loscolo, la variabilité des résultats est plus importante et certainement corrélée aux débits printaniers et estivaux de la Vilaine et de la Loire. En effet, cette station est sensible aux fluctuations du panache de ces deux fleuves (Souchu *et al*, 2012). On constate en particulier l'effet des trois années déjà signalées puisque l'accroissement de la Chlorophylle *a* de 2007 à 2009 fait augmenter le P90 DCE dès 2008. En dehors des fluctuations annuelles, on note une tendance à l'augmentation de la moyenne glissante sur 6 ans de Chl-a au cours de la période 1998-2016 ainsi que du P90 DCE. Ces observations sont confirmées par les deux jeux de données (satellite et *in situ*). A titre d'exemple, les données de Chl-a ont été comparées aux données des débits de la Vilaine ayant une influence directe sur Ouest-Loscolo (Figure 7). On observe pour l'année exceptionnelle 2007, le débit annuel moyen maximal de la période étudiée en cohérence avec le pic de Chl-a observée *in situ* en 2007 (Figure 3). La tendance observée pour le Chl-a est comparable à la tendance observée sur le débit annuel moyen (glissant sur 6 ans) et le P90 du débit (glissant sur 6 ans) de la Vilaine, notamment pour le P90 entre 2007 et 2014 (Figure 6 et Figure 7).

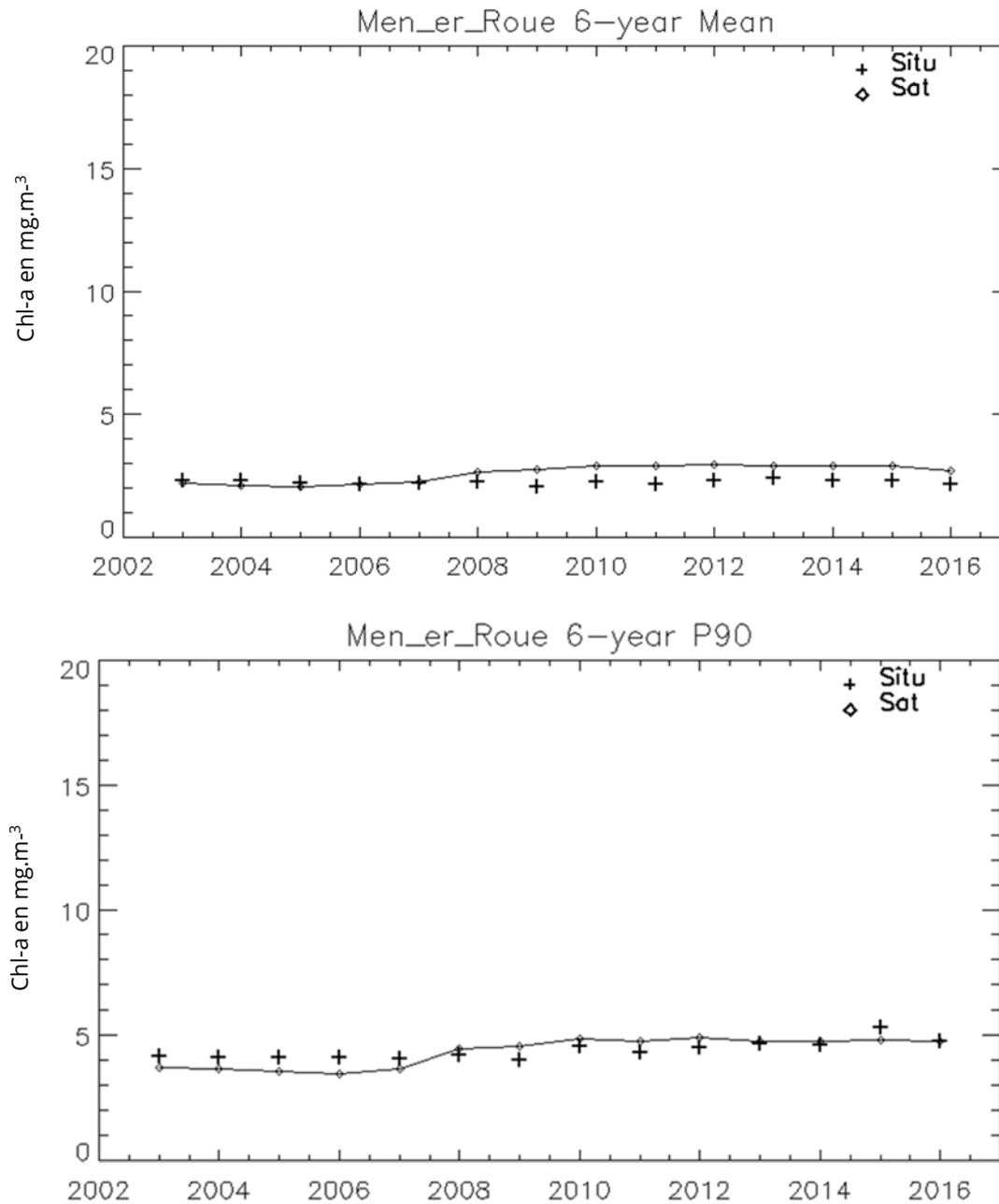


Figure 5. Variation de la moyenne et du percentile 90 de la Chlorophylle a de la période productive calculée sur une période mobile de 6 ans (P90 DCE) au cours des années (en mg m⁻³) à la station de Men er Roué - Données 1998-2016.

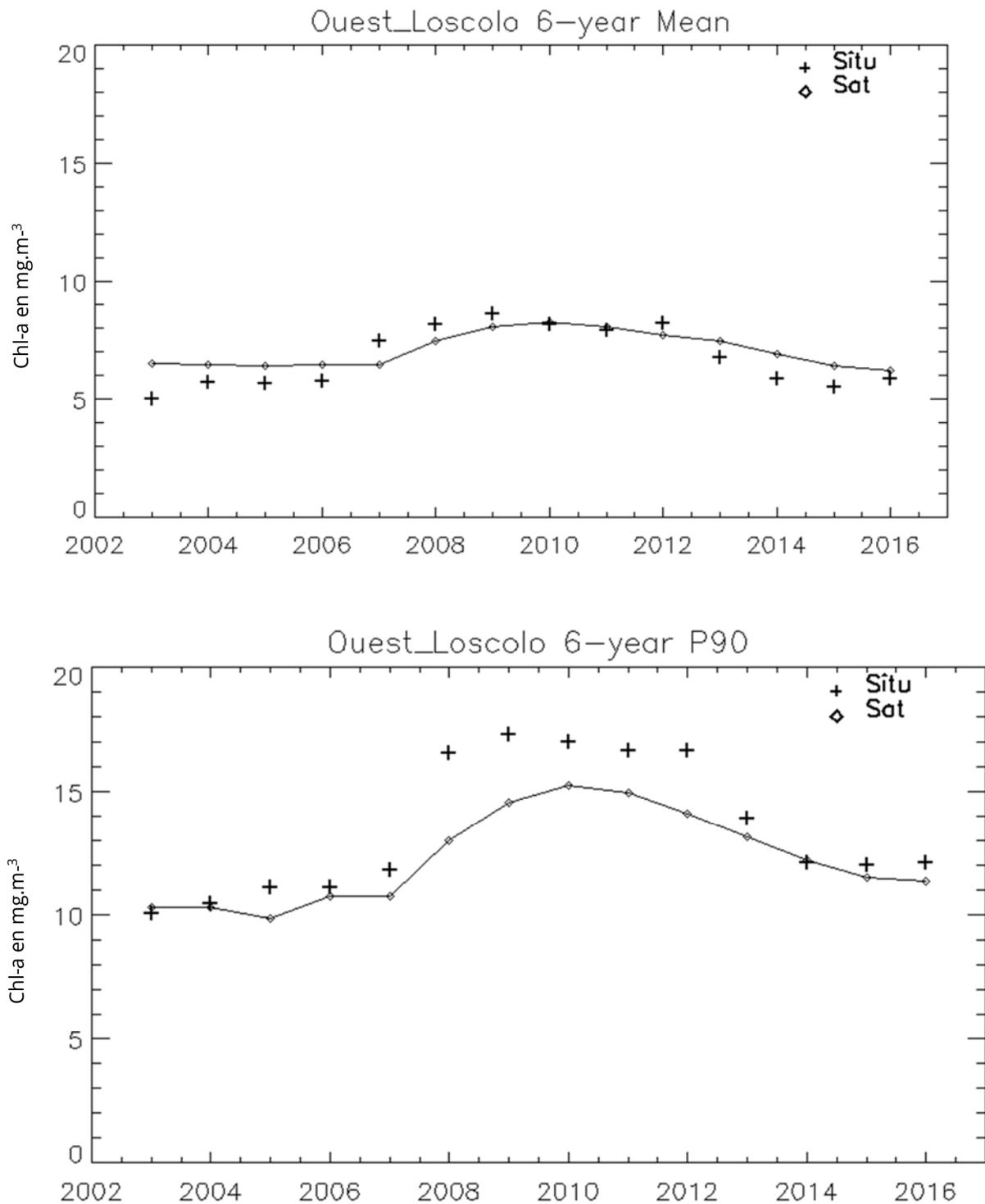
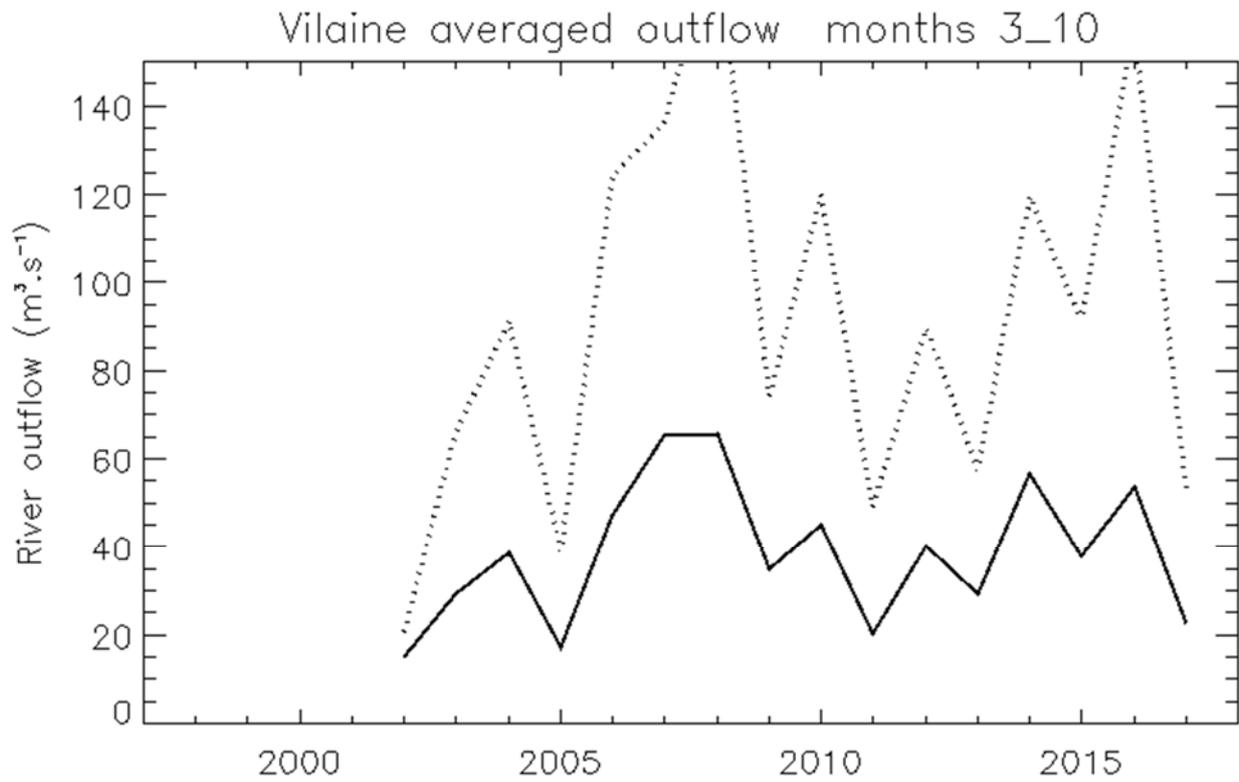
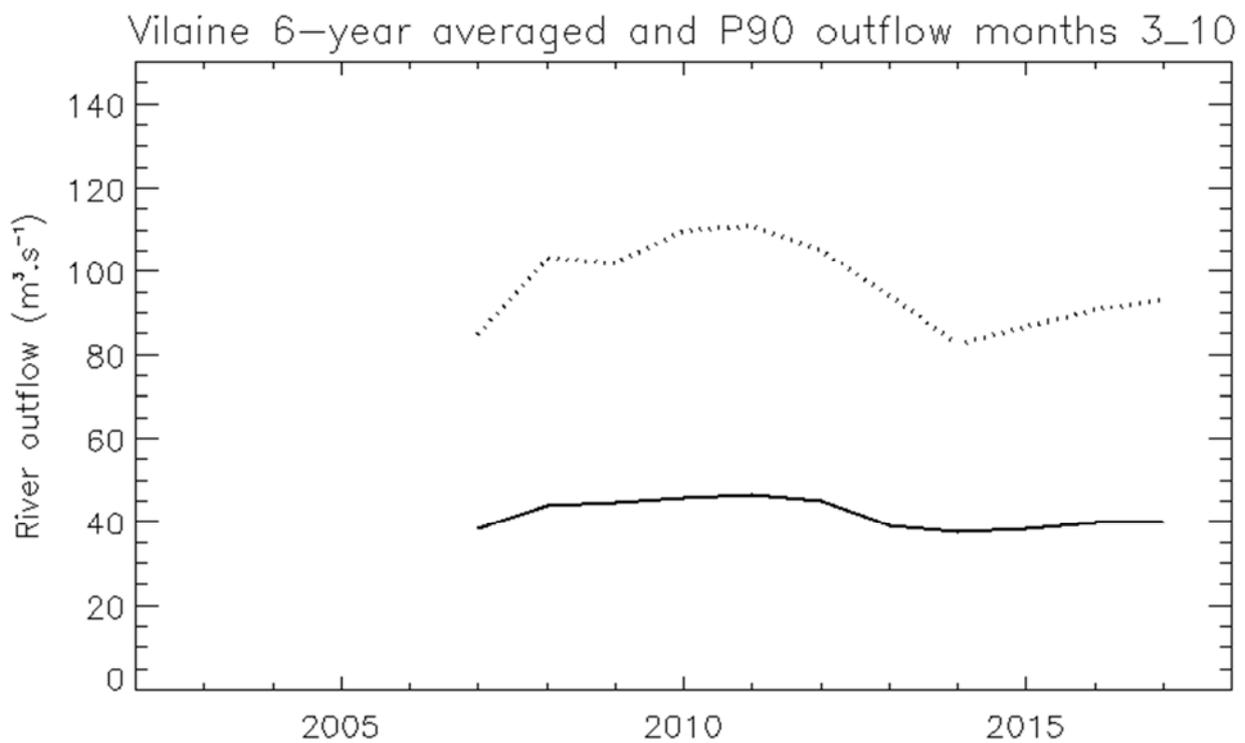


Figure 6. Variation de la moyenne et du percentile 90 de la Chlorophylle a de la période productive calculée sur une période mobile de 6 ans (P90 DCE) au cours des années (en mg m⁻³) à la station de Ouest Loscolo - Données 1998-2016



(a)



(b)

— moyenne - - - - - P90

Figure 7. Débit de la Vilaine de 2002 à 2017, (a) moyenne annuelle et P90 de la période productive - (b) Moyenne et P90 intégré sur 6 ans, lors de la période productive.

3.2. Evolution sur l'ensemble de la région et représentativité du point Ouest-Loscolo

Dans le souci d'évaluer la représentativité du point de Ouest-Loscolo au niveau de l'ensemble des masses d'eau sous l'influence de la Vilaine et de la Loire, nous avons réalisé les cartes des P90 de la Chlorophylle a lors des périodes productives de 2007 (année « riche ») à 2017 (Figure 8 a, b, c). On note clairement que les fluctuations interannuelles décelées sur le graphe des moyennes et P90 DCE à Ouest Loscolo (Figure 5 et Figure 6) sont observées sur tout le littoral sud de la région Bretagne et sur le littoral du Pays de la Loire. Le point Ouest-Loscolo est bien représentatif de la variabilité interannuelle observée dans cette zone sous l'influence des deux fleuves côtiers. Sur les cartes des Figure 8 à Figure 10, on retrouve les années « riches » de 2007, 2008, 2009 et 2014 et l'année « basse » de 2011. On pourra aussi noter dans les années « basses » l'année 2017 dont le niveau est comparable à celui de l'année 2011.

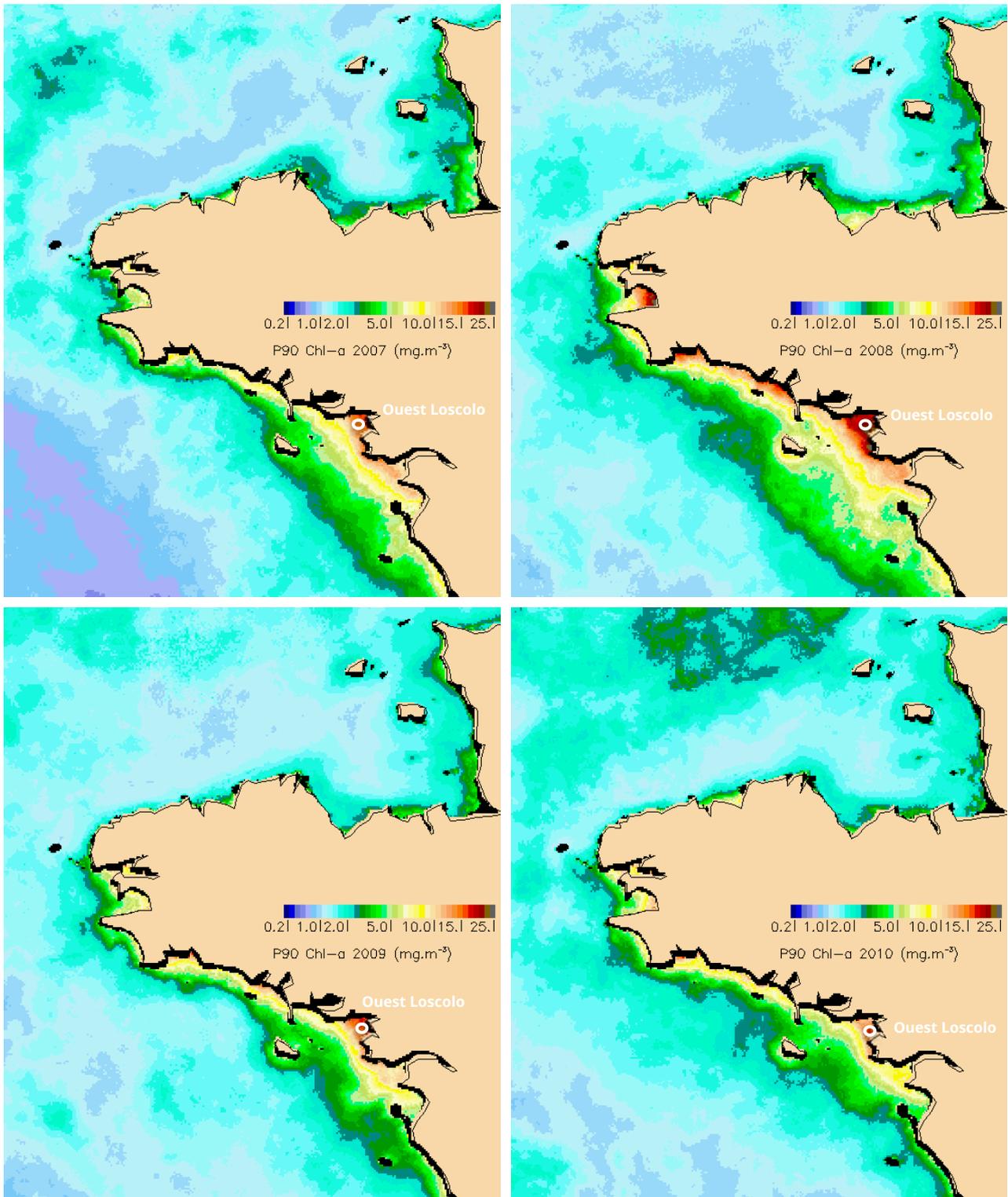


Figure 8. Percentile 90 de la période productive de 2007 à 2010.

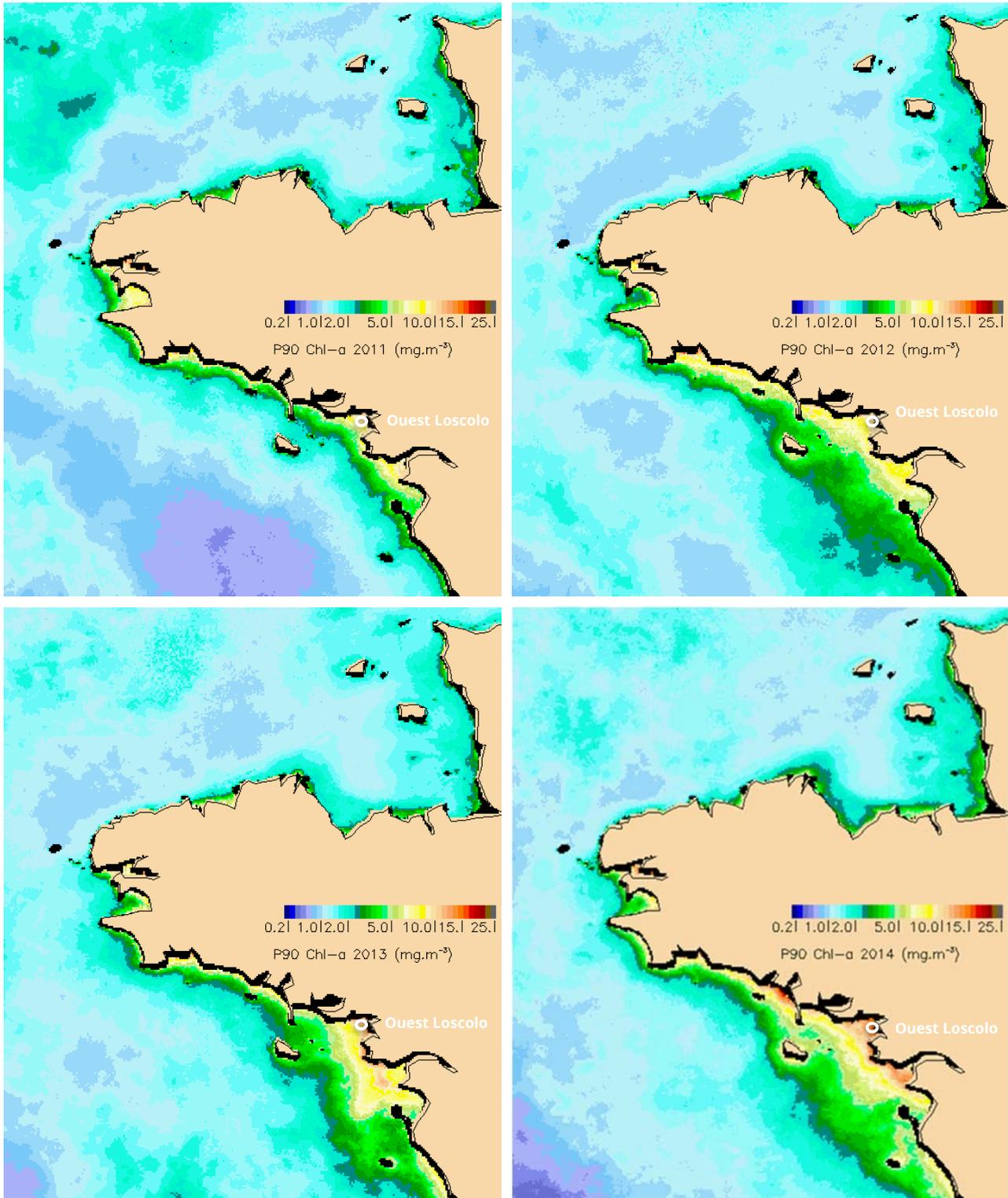


Figure 9. Percentile 90 de la période productive de 2011 à 2014.

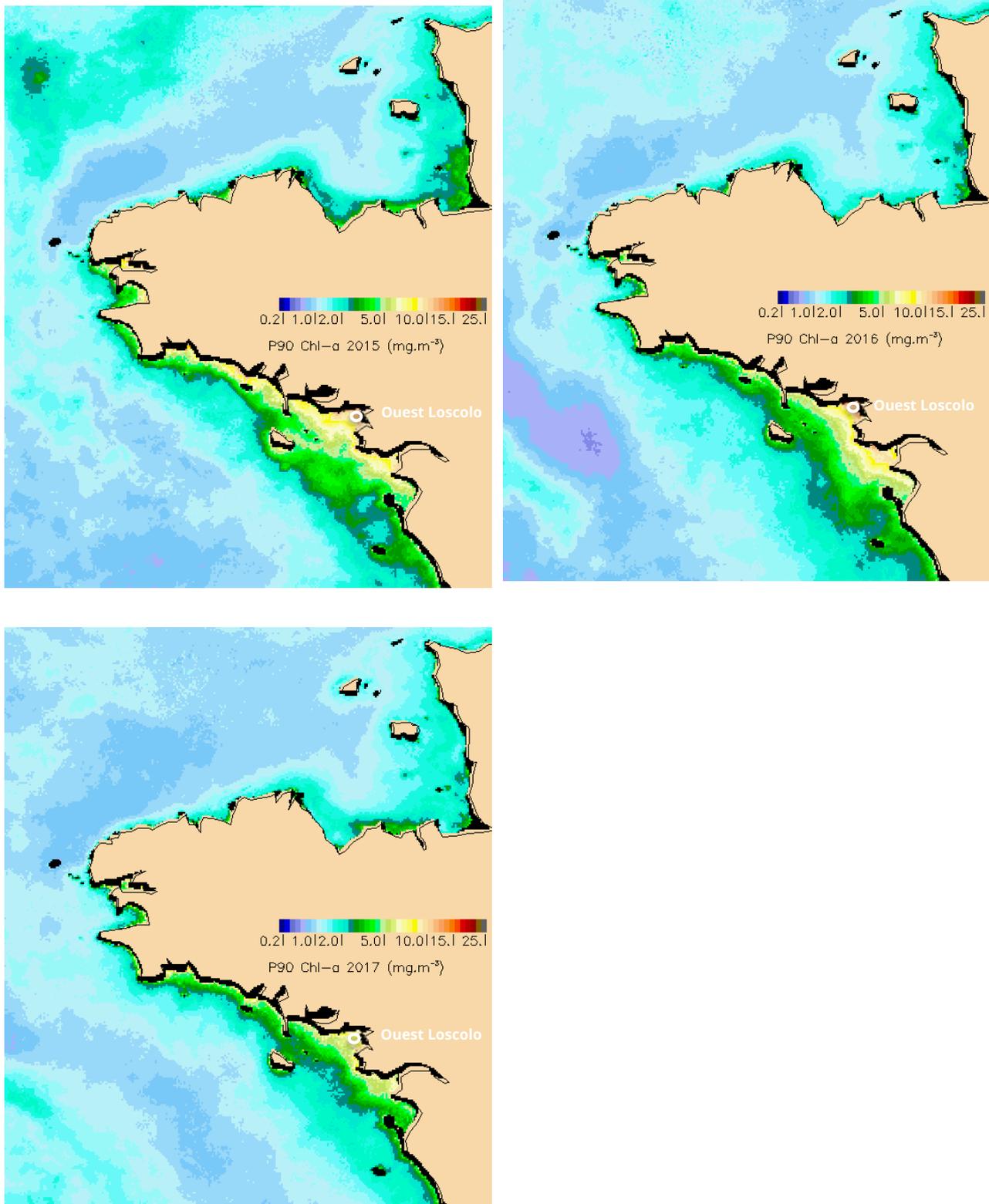


Figure 10. . Percentile 90 de la période productive de 2015 à 2017.

4. Evaluation de la qualité des masses d'eau au sens de la DCE (données 2011-2016)

4.1. Méthodologie pour l'évaluation de la métrique Chl-a

4.1.1. Méthodologie pour l'évaluation de la métrique Chl-a à partir des images satellite

La DCE a adopté l'utilisation du **percentile 90 (P90) pour la métrique de la Chl-a**. Sur une série de valeurs, il correspond à la valeur où 90 % des valeurs de la série sont inférieures. Il élimine ainsi l'influence des données extrêmes qui peuvent avoir eu lieu lors de l'acquisition des données. Les P90 ont vocation à être calculés à l'échelle de la masse d'eau sur la série de valeurs enregistrées sur un plan de gestion DCE de 6 ans (2011-2016) et pendant la période productive (c'est-à-dire de mars à octobre). Pour rappel, il est nommé P90 DCE dans ce rapport.

En Loire Bretagne, les masses d'eau sont suivies sur une ou deux stations générant au maximum 96 données *in situ* à traiter pour calculer la métrique.

Les satellites permettent d'obtenir des données à un pas de temps réduit (journalier) générant ainsi un très grand volume de données. Calculer le P90 DCE, de l'ensemble des données acquises par les satellites, sur une masse d'eau pendant 6 ans sur la période productive, prendrait un temps de calcul trop important pour imaginer utiliser cette méthode en routine. Deux méthodes de calculs différentes, avec des temps raisonnables de calcul, ont été testées et comparées pour évaluer ce P90 DCE. Il s'agit de la « méthode par pixel » et de la « méthode globale » qui sont décrites ci-dessous.

Pour les deux méthodes les données utilisées sont celles acquises entre 2011 et 2016 pendant la période productive (mars à octobre).

Les seuils utilisés pour l'interprétation des résultats sont les seuils DCE présentés dans le Tableau 3.

La valeur de référence utilisée pour calculer les EQR est celle du type Manche-Atlantique égale à 3,33µg/L.

Tableau 3 : Seuil DCE – P90 et Ecological quality ratio (EQR)

Classe de qualité DCE	P90 (µg/l)	EQR
Très bon	[0-4,4]	[1-0,76]
Bon]4,4-10]]0,76-0,33]
Moyenne]10-20]]0,33-0,17]
Médiocre]20-40]]0,17-0,08]
Mauvais	>40]0,08-0]

EQR = rapport de valeur impliquant la valeur de référence et la valeur de la métrique ou de l'indice et permettant d'évaluer la qualité d'une masse d'eau pour un élément de qualité. Ici : EQR = valeur de référence / P90.

4.1.1.1. Méthode par pixel

Les images utilisées, annuelles ou pluriannuelles du P90, sont réalisées pixel par pixel. La valeur en Chl-a de l'image est le P90 de toutes les données sur ce même pixel calculé à partir des images journalières disponibles (Figure 11). Le percentile 90 est calculé sur chaque pixel à partir de l'ensemble des observations disponibles sur 6 ans de mars à octobre, soit environ 1450 données par pixel. Il est ainsi créé une image composite avec les valeurs du P90 sur les 6 ans pour chaque pixel. Afin d'obtenir le P90 de tout un secteur (MEC par exemple), la moyenne des valeurs P90 de la carte sur ce secteur est calculée. Avec la méthode 'par pixel', chaque pixel aura une valeur différente de son pixel voisin. On dispose alors de la distribution spatiale du P90.

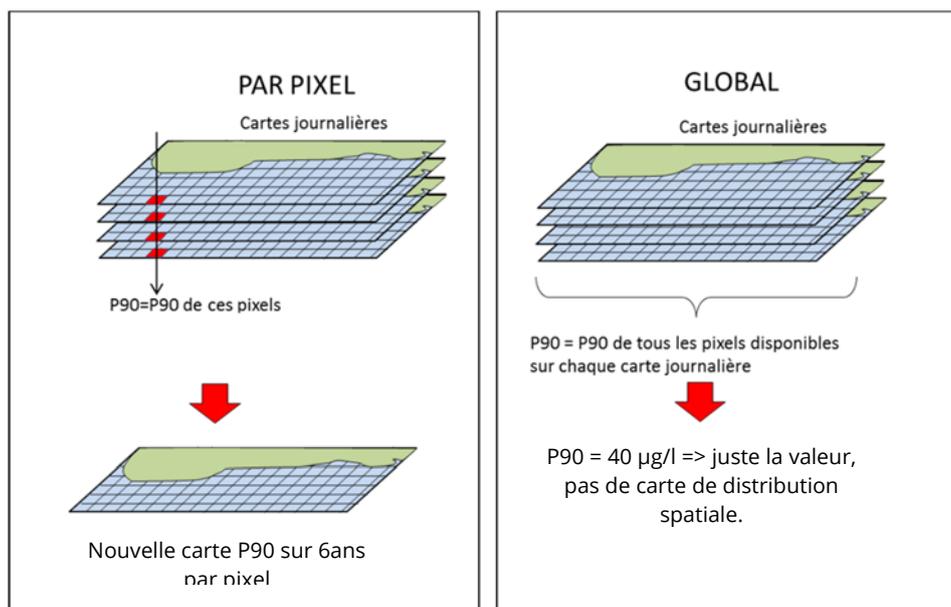


Figure 11 : Méthode de calcul du P90, par pixel ou globale (inspiré de Lampert, Bryère et Gohin, 2017)

4.1.1.2. Méthode globale

De la même manière qu'avec les données *in situ*, toutes les valeurs disponibles sur un secteur ainsi que l'ensemble des images journalières disponibles sont utilisées pour calculer le P90 DCE. Les valeurs obtenues sont comparables à celles obtenues avec la méthode du P90 par pixel, notamment au large des côtes (données plus homogènes).

Une seule valeur globale pour tout le secteur géographique est calculée, comme le calcul fait à partir des données *in situ*. Pour chaque masse d'eau, il y a donc une seule valeur de P90 à l'échelle de la masse d'eau. Cette méthode ne permet pas de produire des cartes de distribution spatiale du P90 pixel par pixel.

L'application de cette méthodologie implique l'utilisation d'une très grande quantité de valeurs et peut parfois générer des fichiers de plus de 500 000 données. Dans le cadre de cette étude, le volume de données à traiter serait trop élevé ce qui nécessiterait un temps de calcul trop important. Ainsi un P90 annuel par masse d'eau est d'abord calculé pour chaque année de la période de 6 ans. Puis pour obtenir le P90 DCE sur 6 ans, la moyenne de ces 6 P90 annuel est réalisé.

4.1.1.3. Limites de l'évaluation DCE à partir des images satellite

Dans un premier temps, il a été vérifié que le nombre de données satellite acquises par masse d'eau sur la période étudiée était suffisant. La masse d'eau disposant du nombre de données minimum utilisées (à l'exception du Golfe de Morbihan pour lequel aucune évaluation n'est possible) est la Baie de Lannion avec 24 900 données utilisées pour le calcul du P90 DCE avec la méthode globale. Ce résultat montre bien que le nombre de données satellite utilisées à l'échelle d'une masse d'eau pour le calcul du P90 DCE est largement supérieur au nombre minimum de données attendues avec le suivi *in situ* qui est de 48 données.

Si le nombre de données rend l'évaluation du P90 plus robuste, la qualité des données acquises doit aussi être vérifiée. En effet, comme mentionné au paragraphe 2.4, la mesure de la Chl-a à partir des images satellite présente des limites liées à l'acquisition de la donnée ou au traitement du signal. La qualité de l'image et des données dépend fortement de la zone étudiée. Cinq masses d'eau sont concernées : Baie de Lannion (GC10), Baie de Morlaix (GC11), Rade de Brest (GC16), Baie de Concarneau (GC29) et Golfe du Morbihan (GC39). Ce sont des masses d'eau assez fermées ou encaissées ou avec une côte découpée. Il est probable que la morphologie de ces masses d'eau perturbe la réflectance du signal dans la bande côtière entraînant une incertitude importante sur le calcul de la Chl-a, quand il est possible, pour certains pixels côtiers. Le P90 DCE, à l'échelle de la masse d'eau, a donc été considéré comme non fiable pour ces masses d'eau.

Le nombre de pixels composant chaque masse d'eau et le nombre de pixels utilisés pour le calcul par la méthode pixel est présenté en Annexe 1.

4.1.2. Méthodologie pour l'évaluation de la métrique Chl-a à partir des données *in situ*

La qualité des masses d'eau pour l'élément phytoplancton est évaluée à partir des métriques biomasse et abondance :

- la métrique biomasse correspond au percentile 90 des mesures de chlorophylle-a sur 6 ans en période productive et en µg/L
- la métrique abondance correspond au pourcentage d'échantillons d'eau avec un bloom d'un taxon unique, sur 6 ans.

La métrique pour l'indicateur intégré phytoplancton correspond à la moyenne des EQR des deux indices biomasse et abondance.

Le contrôle de surveillance n'a pas vocation à s'exercer sur toutes les masses d'eau, mais sur un nombre suffisant de masses d'eau par typologie pour permettre une évaluation générale de l'état écologique et chimique des eaux à l'échelle du bassin hydrographique. En Loire-Bretagne, le choix des masses d'eau suivies s'est fait sur la base de plusieurs critères (type de masse d'eau, répartition nord/sud, nature des pressions anthropiques exercées).

25 masses d'eau côtière sur 39 ont été retenues pour le contrôle de surveillance DCE (Tableau 5), Parmi ces 25 masses d'eau côtière, 23 sont suivies pour le phytoplancton. En Loire Bretagne, 16 masses d'eau côtière ne sont donc pas suivies par des mesures *in situ* pour le phytoplancton (14 masses d'eau côtière non RCS et deux masses d'eau côtière RCS identifiées comme « qualité inconnue » dans le Tableau 5)

4.2. Résultats

4.2.1. Résultats obtenus à partir des images satellite

4.2.1.1. Méthode par pixel

Les résultats du P90 à l'échelle des pixels mettent en évidence la différence de concentration en Chl-a de surface entre la Manche et l'Atlantique (Figure 12). Afin d'avoir une meilleure précision sur la répartition de la Chl-a au sein de la masse d'eau des sous-classes de qualité arbitraires ont été définies à l'intérieur de chaque grande classe de qualité DCE (très bonne, bonne, moyenne, médiocre et mauvaise). La carte propose donc un dégradé de couleur pour les classes très bonnes et bonnes, majoritaires à l'échelle du bassin Loire Bretagne.

Le P90 est plus faible en Bretagne nord, où la qualité des pixels est en majorité en très bon état selon les seuils DCE.

Le P90 est plus élevé sur la partie sud du bassin Loire-Bretagne notamment dans le Finistère sud, le Morbihan et la Loire Atlantique. La qualité, au sens DCE des pixels, varie sur ce secteur de médiocre à très bonne. Les résultats font ressortir la zone la plus productive du bassin qui se situe en baie de Vilaine et au large de la Loire. Dans ce secteur, le phytoplancton profite des apports de la Loire et de la Vilaine.

Sur l'ensemble du bassin la concentration en Chl-a décroît de la côte vers le large pour atteindre des concentrations très faibles (inférieure à 1 µg/L) au large des masses d'eau côtière.

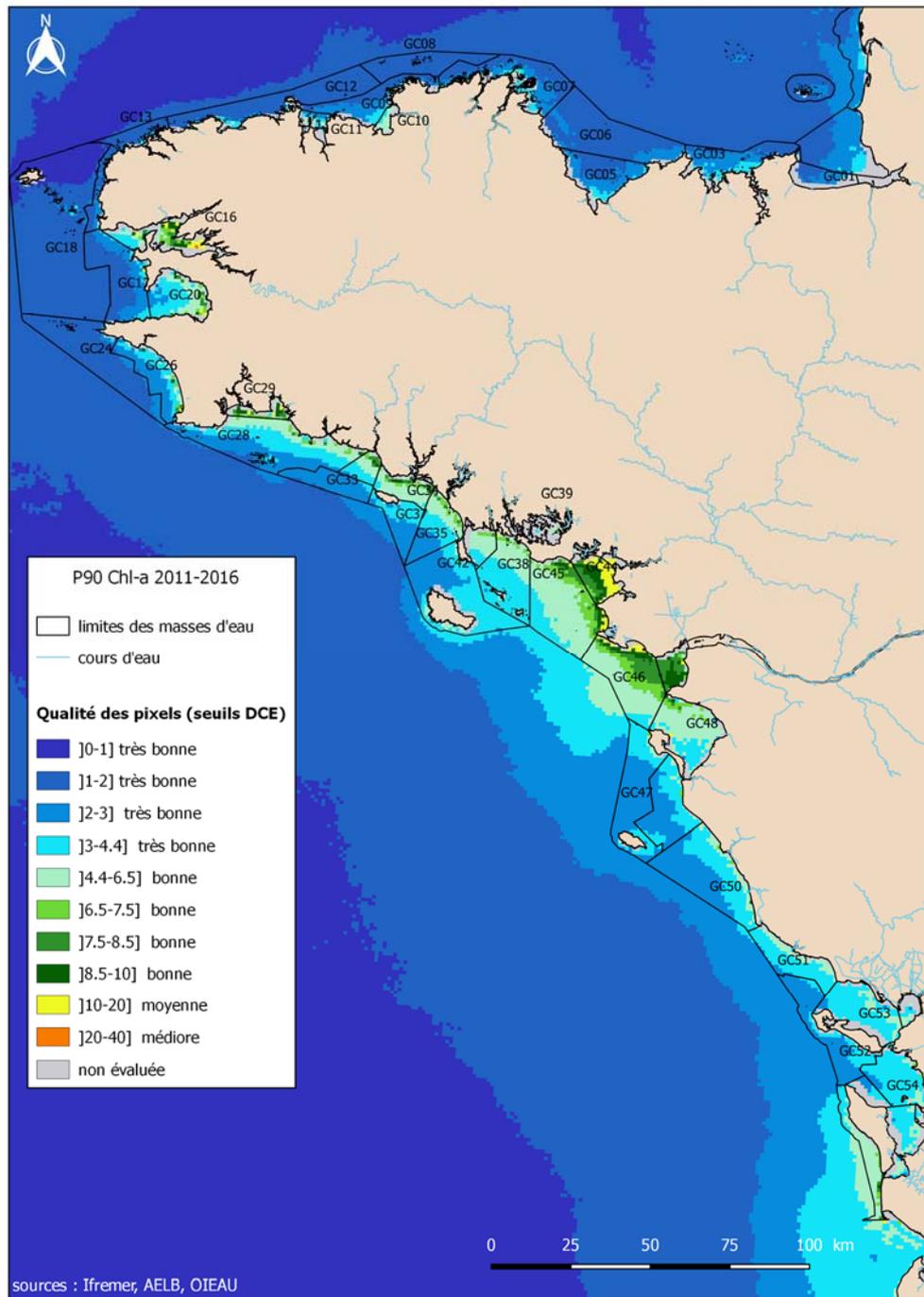


Figure 12. Représentation du P90 DCE satellite par pixel 2011-2016 – Bassin Loire Bretagne – Dégradé selon les classes de qualité DCE

Le P90 DCE satellite (méthode pixel) a été calculé à l'échelle de la masse d'eau et est représenté sur la Figure 13. La qualité des masses d'eau est très bonne sur l'ensemble des masses d'eau de la Bretagne nord ainsi qu'en Vendée. En Bretagne Sud et Loire-Atlantique, la qualité varie entre bonne à très bonne. La comparaison avec les données *in situ* est présentée au paragraphe 4.2.3.

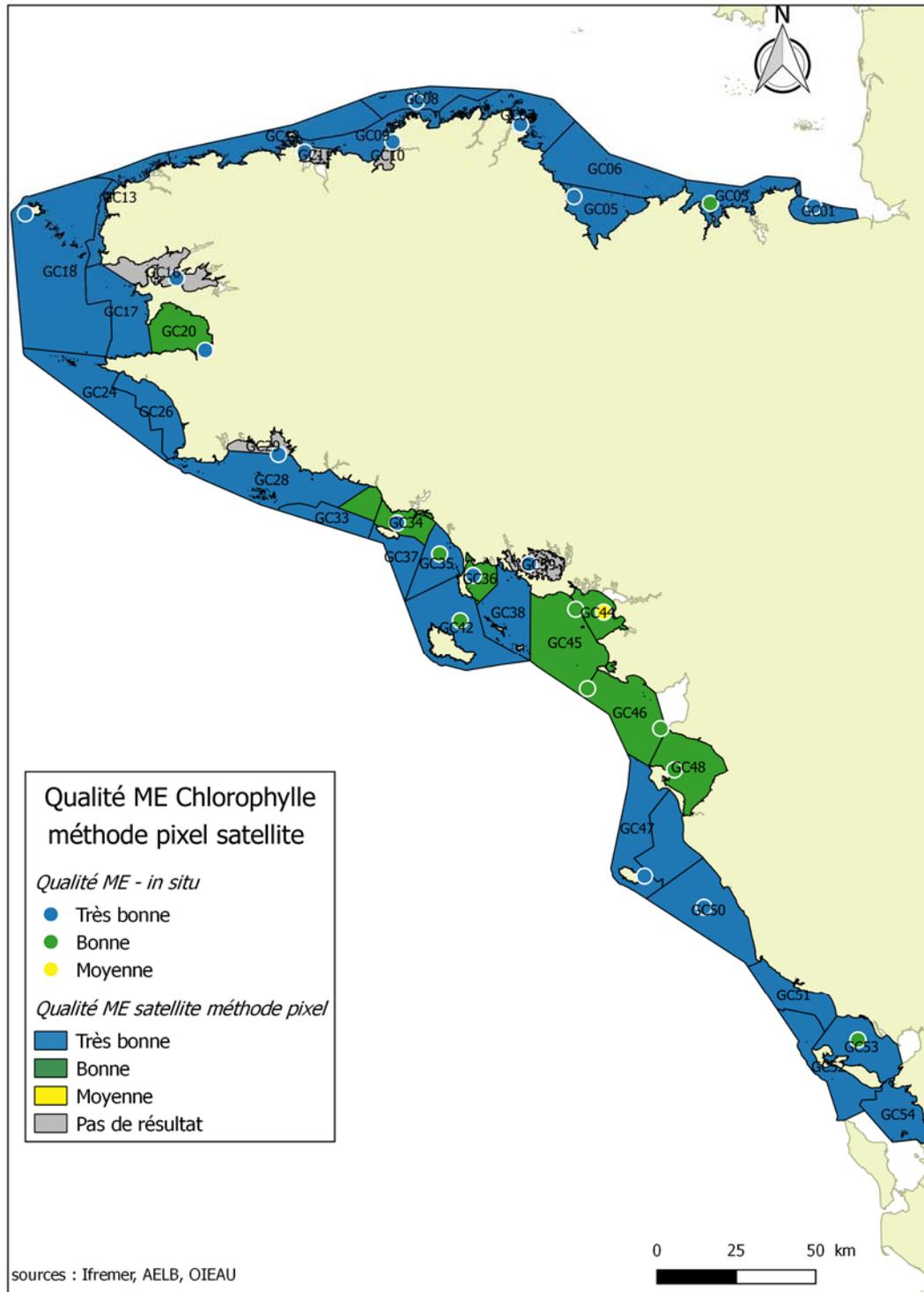


Figure 13. Qualité des masses d'eau pour la métrique Chlorophylle a, calculée à partir des résultats satellite avec la méthode pixel

4.2.1.2. Méthode globale

La méthode globale ne fournit pas un P90 à l'échelle des pixels. Elle fournit un P90 uniquement à l'échelle de la masse d'eau. Les résultats obtenus sont présentés sur la Figure 14.

Comme avec la méthode pixel, la qualité des masses d'eau est très bonne sur l'ensemble des masses d'eau de la Bretagne nord ainsi qu'en Vendée. En Bretagne Sud et Loire Atlantique, la qualité varie entre bonne à très bonne. Toutefois les résultats sont légèrement différents de ceux obtenus avec la méthode pixel, puisque la qualité est évaluée à « bonne » sur une bande côtière continue allant de la baie de Bourgneuf à la Laïta. La comparaison des deux méthodes est détaillée au paragraphe suivant. La comparaison avec les données *in situ* est présentée au paragraphe 4.2.3.

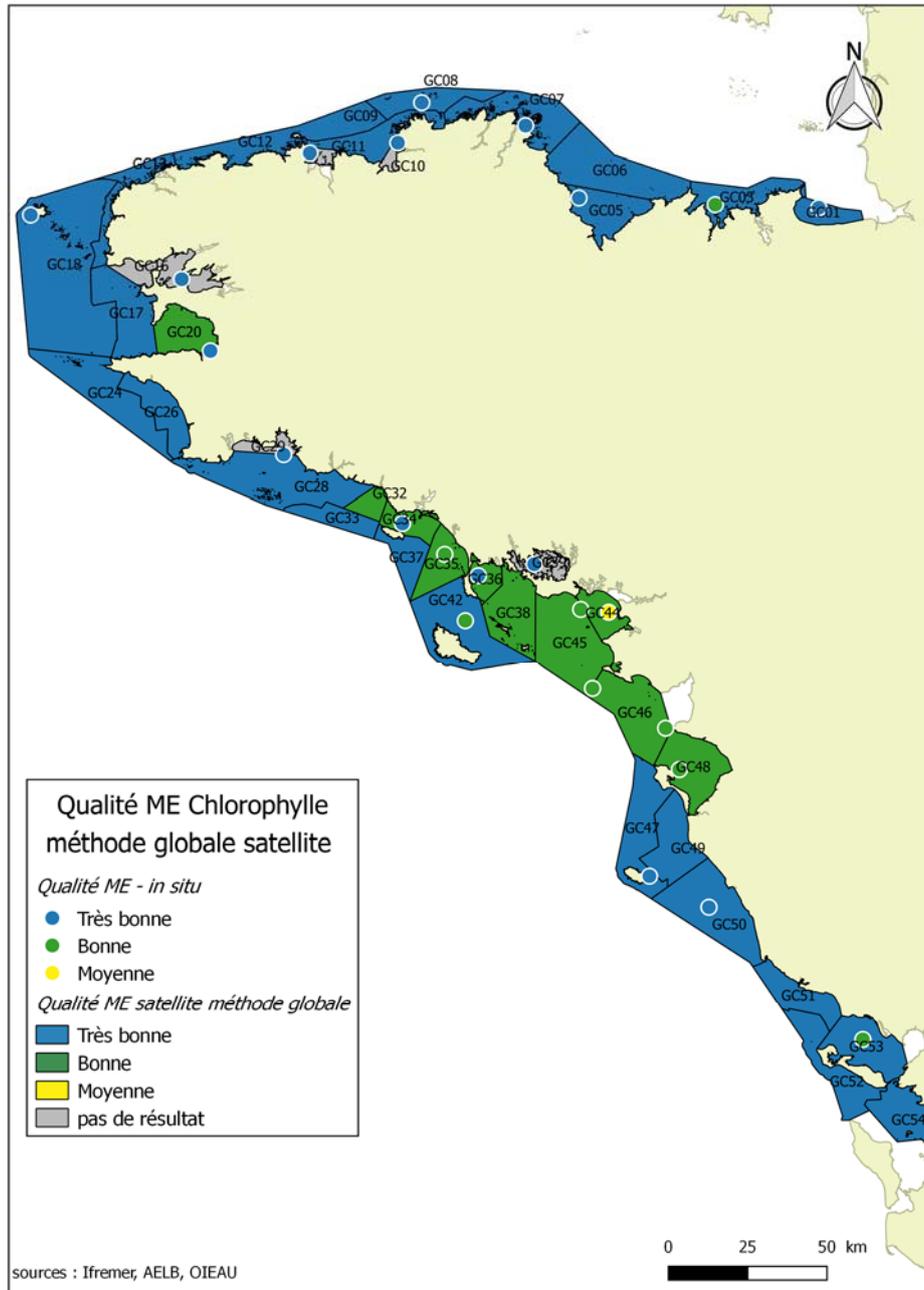


Figure 14. Qualité des masses d'eau pour la métrique Chlorophylle a, calculée à partir des résultats satellite avec la méthode globale

4.2.1.1. Comparaison des résultats obtenus par les deux méthodes satellite

Les résultats P90 DCE obtenus entre les deux méthodes aboutissent à la même classe de qualité pour la majorité des masses d'eau, à l'exception de deux masses d'eau pour lesquelles la classe de qualité diffère. La différence moyenne du P90 entre les deux méthodes est de 5% avec un minimum de 0% et un maximum de 13%.

Le P90 DCE aboutit à une classe de qualité différente en fonction de la méthode utilisée pour deux masses d'eau, la baie d'Etel (GC35) et le Golfe du Morbihan (Large) (GC38). Cette différence de classement s'explique par des P90 DCE calculés qui sont très proches du seuil séparant le bon état et le très bon état. La différence des P90 calculés selon les deux méthodes est de 13 % pour la GC35, avec un nombre de pixels utilisables de 175, et de 5% pour la GC38 avec un nombre de pixels utilisables de 266.

En Loire Bretagne, les écarts du P90 DCE entre la méthode de calcul par pixel ou globale sont faibles, comme ceux constatés dans les eaux guyanaises par Lampert et al (2016) et donnent du bon ou très bon état.

Très bon	MEC RCS
Bon	MEC non RCS
Moyenne	

Tableau 4. Résultats du P90 satellite par masse d'eau – méthode pixel et globale

Code ME	Nom ME	Méthode Globale		Méthode pixel		Différence (%)
		P90 Chla GLOBALE (arrondi)	EQR Global	P90 Chla PIXEL (arrondi)	EQR pixel	
FRGC01	Baie du Mont-Saint-Michel	2,05	1	2,02	1	-1
FRGC03	Rance-Fresnaye	2,66	1	2,51	1	-6
FRGC05	Fond Baie de Saint-Brieuc	2,38	1	2,20	1	-8
FRGC06	Saint-Brieuc (large)	1,79	1	1,75	1	-2
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec	2,47	1	2,28	1	-8
FRGC08	Perros-Guirec (large)	1,42	1	1,37	1	-4
FRGC09	Perros-Guirec - Morlaix (large)	2,30	1	2,15	1	-7
FRGC10	Baie de Lannion	5,36	0,621	4,94	0,674	NA
FRGC11	Baie de Morlaix	3,79	0,879	3,39	0,982	NA
FRGC12	Léon - Trégor (large)	1,56	1	1,53	1	-2
FRGC13	Les Abers (large)	1,69	1	1,58	1	-7
FRGC16	Rade de Brest	8,15	0,409	7,30	0,456	NA
FRGC17	Iroise - Camaret	2,24	1	2,13	1	-5
FRGC18	Iroise (large)	1,26	1	1,24	1	-2
FRGC20	Baie de Douarnenez	4,72	0,706	4,48	0,743	-5
FRGC24	Audierne (large)	1,56	1	1,55	1	0
FRGC26	Baie d'Audierne	3,47	0,960	3,26	1	-6
FRGC28	Concarneau (large)	3,69	0,902	3,54	0,941	-4
FRGC29	Baie de Concarneau	8,65	0,385	7,83	0,425	NA
FRGC32	Laïta - Pouldu	5,38	0,619	4,80	0,694	-12
FRGC33	Laïta (large)	2,46	1	2,34	1	-5
FRGC34	Lorient - Groix	6,55	0,508	5,79	0,575	-13
FRGC35	Baie d'Étel	4,58	0,727	4,05	0,822	-13
FRGC36	Baie de Quiberon	5,50	0,605	5,03	0,662	-10
FRGC37	Groix (large)	3,04	1	2,91	1	-4
FRGC38	Golfe du Morbihan (large)	4,42	0,753	4,21	0,791	-5
FRGC39	Golfe du Morbihan	NA	NA	NA	NA	NA
FRGC42	Belle-Ile	3,27	1	3,16	1	-3
FRGC44	Baie de Vilaine (côte)	9,82	0,339	9,68	0,344	-1
FRGC45	Baie de Vilaine (large)	5,81	0,573	5,70	0,584	-2
FRGC46	Loire (large)	6,72	0,496	6,57	0,507	-2
FRGC47	Ile d'Yeu	3,12	1	3,00	1	-4
FRGC48	Baie de Bourgneuf	5,25	0,634	5,16	0,645	-2
FRGC49	La Barre-de-Monts	3,28	1	3,14	1	-4
FRGC50	Nord Sables d'Olonne	3,41	0,977	3,26	1	-5
FRGC51	Sud Sables d'Olonne	4,01	0,830	3,86	0,863	-4
FRGC52	Ile de Ré (large)	2,85	1	2,82	1	-1
FRGC53	Pertuis breton	4,01	0,830	3,89	0,856	-3
FRGC54	La Rochelle	3,70	0,900	3,69	0,902	0
				Moyenne différence		5

Différence méthode = (P90 pixel – P90 globale) / P90 pixel*100.

NA = Non applicable.

EQR = valeur de référence manche atlantique / P90 ; valeur de référence = 3,3µg/L. Si ce rapport est supérieur à 1, il est ramené à 1 pour la valeur de l'EQR.

4.2.2. Résultats obtenus à partir des données *in situ*

Le Tableau 5 présente les classes de qualité résultant du calcul de chaque métrique ainsi que la classe de qualité de l'indicateur phytoplancton. Il précise le P90 et l'EQR pour la biomasse afin de pouvoir comparer les résultats à ceux obtenus à partir des données satellite. En Loire Bretagne, 16 masses d'eau côtière ne sont pas suivies par des mesures *in situ* pour le phytoplancton, la qualité n'a donc pas pu être évaluée à partir des données *in situ* (qualité inconnue du Tableau 5).

Tableau 5. Résultat de l'indicateur phytoplancton à partir de données *in situ* 2011-2016 - Bassin Loire Bretagne.

Très bon	MEC RCS
Bon	MEC non RCS
Moyenne	

Code ME	Nom ME	Biomasse			Abondance	Phytoplancton
		Qualité	P90	EQR	Qualité	Qualité
FRGC01	Baie du Mont-Saint-Michel	1	2,3	1,00	1	1
FRGC03	Rance-Fresnaye	2	4,8	0,69	2	2
FRGC05	Fond Baie de Saint-Brieuc	1	1,9	1,00	1	1
FRGC06	Saint-Brieuc (large)	inconnu				
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec	1	2,0	1,00	2	1
FRGC08	Perros-Guirec (large)	1	1,2	1,00	1	1
FRGC09	Perros-Guirec - Morlaix (large)	inconnu				
FRGC10	Baie de Lannion	1	3,6	0,92	2	2
FRGC11	Baie de Morlaix	1	1,9	1,00	1	1
FRGC12	Léon - Trégor (large)	inconnu				
FRGC13	Les Abers (large)	inconnu				
FRGC16	Rade de Brest	1		1,00	2	1
FRGC17	Iroise - Camaret	inconnu				
FRGC18	Iroise (large)	1	2,2	1,00	1	1
FRGC20	Baie de Douarnenez	1	3,8	0,88	2	2
FRGC24	Audierne (large)	inconnu				
FRGC26	Baie d'Audierne	inconnu				
FRGC28	Concarneau (large)	1	2,3	1,00	2	2
FRGC29	Baie de Concarneau	inconnu				
FRGC32	Laïta - Pouldu	inconnu				
FRGC33	Laïta (large)	inconnu				
FRGC34	Lorient - Groix	1	3,0	1,00	2	2
FRGC35	Baie d'Étel	2	4,8	0,69	3	2
FRGC36	Baie de Quiberon	1	4,2	0,79	2	2
FRGC37	Groix (large)	inconnu				
FRGC38	Golfe du Morbihan (large)	inconnu				
FRGC39	Golfe du Morbihan	1	3,3	1,00	2	1
FRGC42	Belle-Ile	2	4,7	0,71	2	2
FRGC44	Baie de Vilaine (côte)	3	11,2	0,30	3	3
FRGC45	Baie de Vilaine (large)	2	7,3	0,46	2	2
FRGC46	Loire (large)	2	8,0	0,42	2	2
FRGC47	Ile d'Yeu	1	3,5	0,95	1	1
FRGC48	Baie de Bourgneuf	2	6,0	0,56	3	2
FRGC49	La Barre-de-Monts	inconnu				
FRGC50	Nord Sables d'Olonne	1	2,8	1,00	1	1
FRGC51	Sud Sables d'Olonne	inconnu				
FRGC52	Ile de Ré (large)	inconnu				
FRGC53	Pertuis breton	2	5,8	0,57	2	2
FRGC54	La Rochelle	inconnu				

4.2.3. Comparaison avec les résultats issus des données *in situ* et des images satellite

Les classes de qualité obtenues à partir des P90 DCE des deux méthodes satellite et *in situ* ont été comparées sur les 23 masses d'eau faisant l'objet d'un suivi *in situ*. Le P90 DCE satellite n'a pu être évalué ou est considéré comme non fiable pour 4 de ces masses d'eau (GC 10 – Baie de Lannion, GC11 Baie de Morlaix, GC16 – Rade de Brest, GC39 – Golfe du Morbihan ; cf paragraphe 4.1.1.3). Onze masses d'eau présentent une classe de qualité identique que celle-ci soit évaluée à partir des données *in situ* ou des deux méthodes satellite. Huit masses d'eau présentent une qualité différente entre l'évaluation faite à partir des données *in situ* et l'évaluation faite par l'une ou les deux méthodes satellite (répertoriées dans le Tableau 6).

Les valeurs des P90, des EQR et les classes de qualité associées ont été comparés pour les masses d'eau dont les classes de qualité obtenues avec les données satellite ou *in situ* sont différentes. Trois masses d'eau (GC 20 – Baie de Douarnenez, GC 34 – Lorient - Groix, GC 36 – Baie de Quiberon) présentent un P90 DCE satellite plus élevé pour les deux méthodes que le P90 DCE *in situ*, soit une bonne qualité, alors que la qualité est évaluée très bonne selon les données *in situ*. Trois masses d'eau (GC 03 – Rance Fresnaye, GC 42 – Belle-île, GC 53 – Pertuis Breton) présentent un P90 DCE satellite plus faible pour les deux méthodes (globale et pixel) que le P90 DCE *in situ*, soit une qualité très bonne alors que la qualité est évaluée à bonne avec les données *in situ*. La masse d'eau (GC 35- Baie d'Étel) présente une qualité *in situ* identique à celle obtenue par la méthode satellite globale (bonne) mais différente de la méthode satellite (très bonne). La masse d'eau (GC 44- Baie de Vilaine) présente un P90 DCE satellite plus faible avec une qualité bonne alors que la qualité est évaluée à moyenne selon les données *in situ*.

Tableau 6. Comparaison des résultats *in situ* et satellite pour les masses d'eau dont les résultats *in situ* et satellite sont différents.

Très bon	MEC RCS
Bon	MEC non RCS
Moyenne	

Code ME	Nom ME	IN SITU		SATELLITE - Globale		SATELLITE - Pixel	
		P90	EQR	P90 Chl-a GLOBALE	EQR Global	P90 Chl-a PIXEL	EQR pixel
GC03	Rance-Fresnaye	4,8	0,69	2,66	1	2,51	1
GC20	Baie de Douarnenez	3,8	0,88	4,72	0,706	4,48	0,743
GC34	Lorient - Groix	3,0	1,00	6,55	0,508	5,79	0,575
GC35	Baie d'Étel	4,8	0,69	4,58	0,727	4,05	0,822
GC36	Baie de Quiberon	4,2	0,79	5,50	0,605	5,03	0,662
GC42	Belle-Ile	4,7	0,71	3,27	1	3,16	1
GC44	Baie de Vilaine (côte)	11,2	0,30	9,82	0,339	9,68	0,344
GC53	Pertuis breton	5,8	0,57	4,01	0,830	3,89	0,856

Pour ces huit masses d'eau, la qualité obtenue au niveau de la station de suivi par les données *in situ* a été comparée à celle obtenue avec la méthode satellite pixel. Les cartes (Figure 15 et Figure 16, zooms présentés en Annexe 2) permettent de vérifier si l'ensemble des pixels de la masse d'eau sont de qualité équivalente au sens de la DCE. D'une manière générale les données satellite des pixels trop proches de la côte ne peuvent pas être exploitées à cause des effets côtiers mentionnés précédemment (encaissement, enclavement, substances jaunes, ...).

Cette comparaison fait ressortir trois cas :

- le premier concerne les masses d'eau plutôt homogènes au regard des résultats par pixel du P90 satellite mais dont le point de suivi *in situ* donne une qualité différente. Il s'agit des masses d'eau GC03 (Rance-Fresnaye), GC34 (Lorient – Groix), GC42 (Belle-Ile), et GC53 (Pertuis breton).
- le deuxième concerne les masses d'eau hétérogènes au regard des résultats par pixel du P90 satellite. On observe dans ces masses d'eau une bande côtière ou un fond de baie de bonne qualité et une zone plus au large de la masse d'eau de très bonne qualité. Dans certains cas le résultat *in situ* de la station de suivi est cohérent avec les résultats des pixels situés à proximité (GC35 – Baie d'Étel et GC44 – Baie de Vilaine).
- le troisième concerne les masses d'eau dont le résultat *in situ* diffère du résultat issu des données satellite dans les pixels alentours (GC 20 – Baie de Douarnenez et GC36 – Baie de Quiberon).

Le cas de la Baie de Vilaine (GC44) montre une bonne cohérence entre les résultats satellite et *in situ* à l'échelle des pixels. Il confirme ainsi la cohérence des données *in situ* et satellite au niveau du point de suivi Ouest Loscolo, démontrée au paragraphe 3 (Figure 17). En revanche, le calcul de la métrique biomasse (Chl-a) à l'échelle de la masse d'eau diffère. La qualité des indices biomasse et abondance de la baie de Vilaine est évaluée à moyen d'après les données *in situ*. D'après les données satellite, l'indice biomasse pourrait être classé en bon pour la masse d'eau (Tableau 6). La Figure 17 montre pour la biomasse, un fond de baie de qualité moyenne et la partie plus au large de la masse d'eau de bonne qualité. Le programme de recherche DIETE² (Souchu *et al* (2017)) confirme que la baie de Vilaine, sous l'influence des apports de la Loire et de la Vilaine, est soumise aux processus d'eutrophisation. Les résultats de ce programme sont donc cohérents avec une qualité moyenne de l'indicateur phytoplancton pour cette masse d'eau.

Finalement les résultats obtenus sur les données 2011-2016 montrent à l'échelle du bassin Loire Bretagne une bonne cohérence entre les résultats *in situ* et les images satellite. La majorité des masses d'eau présente une qualité de l'indice biomasse identique, qu'elles soient évaluées à partir des données *in situ* ou satellite. Pour les masses d'eau présentant une différence, elle oscille entre une bonne ou une très bonne qualité, à l'exception du cas particulier de la Baie de Vilaine. Les images satellite ne remettent donc pas en cause la bonne qualité de ces masses d'eau pour l'indice biomasse.

Les résultats satellite mettent toutefois en évidence une répartition spatiale hétérogène des concentrations en Chl-a de certaines masses d'eau. L'approche qualitative et cartographique, utilisée dans cette étude, ne suffit pas pour remettre en cause les limites géographiques de la masse d'eau définies dans le cadre de la DCE. Elle devrait être complétée par une approche quantitative, temporelle et tenir compte de l'ensemble des paramètres suivis par la DCE. Les données satellites sont un bon outil pour approfondir cette question concernant l'indice biomasse.

Le cas de la baie de Vilaine montre bien la complémentarité de l'approche satellite et *in situ*. Les données acquises *in situ* et l'expertise du terrain mettent en évidence les phénomènes d'eutrophisation dans la Baie de Vilaine alors que l'approche satellite, sur la base du paramètre Chl-a, suggérerait que les phénomènes d'eutrophisation ne sont pas homogènes sur toute la masse d'eau. Les données satellite ne peuvent donc pas se substituer au suivi *in situ* et à la connaissance du terrain sur l'ensemble des masses d'eau. Elles permettent par contre de compléter l'acquisition des données *in situ*, notamment pour les masses d'eau non suivies. Il est important de garder à l'esprit que leur fiabilité diminue lorsque l'on s'approche de la côte ou lorsque la couverture nuageuse augmente.

Compte tenu de ces résultats, il est donc proposé d'utiliser les données satellites dans le paragraphe suivant pour compléter l'évaluation de la qualité de l'indicateur phytoplancton dans les masses d'eau du bassin Loire-Bretagne.

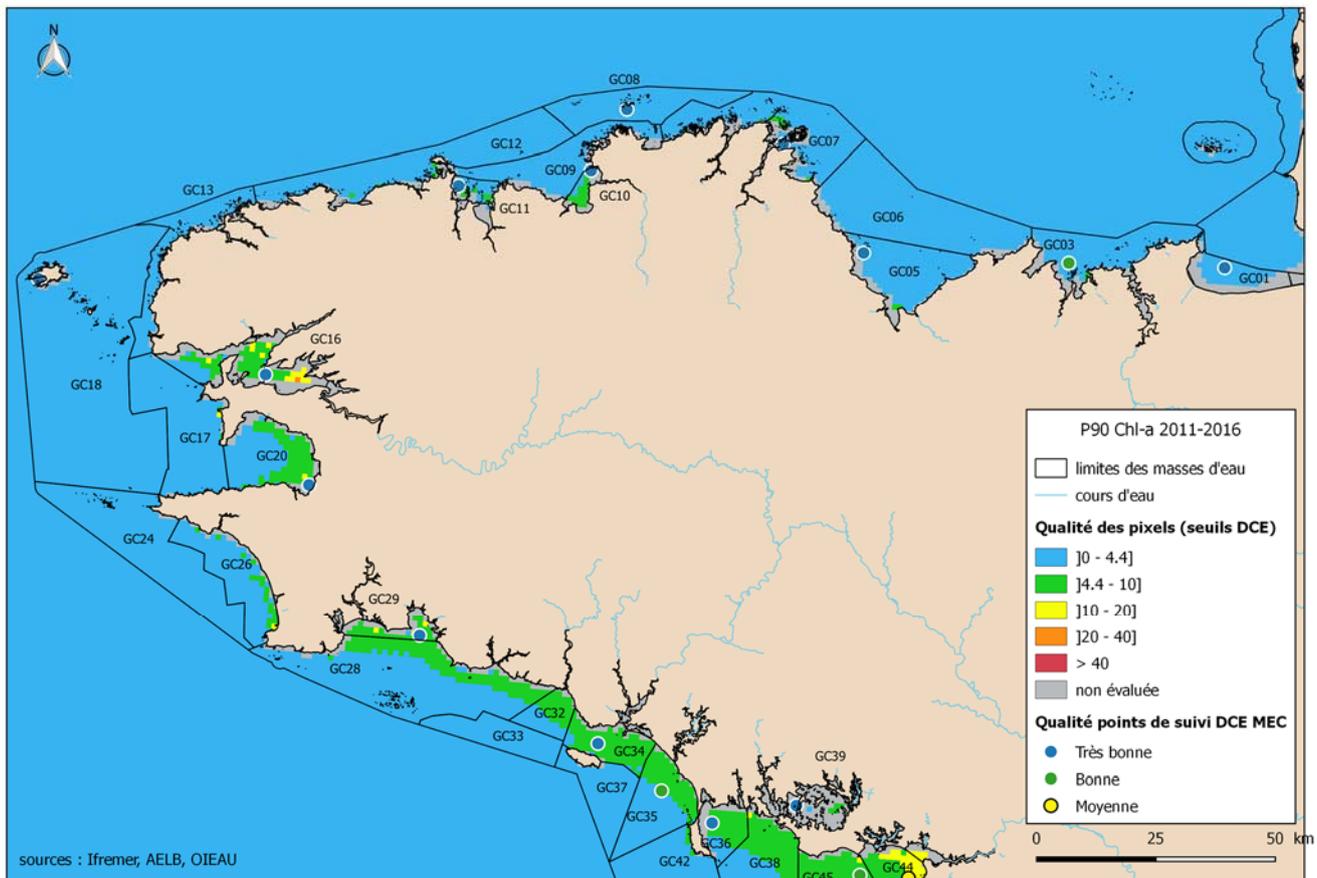
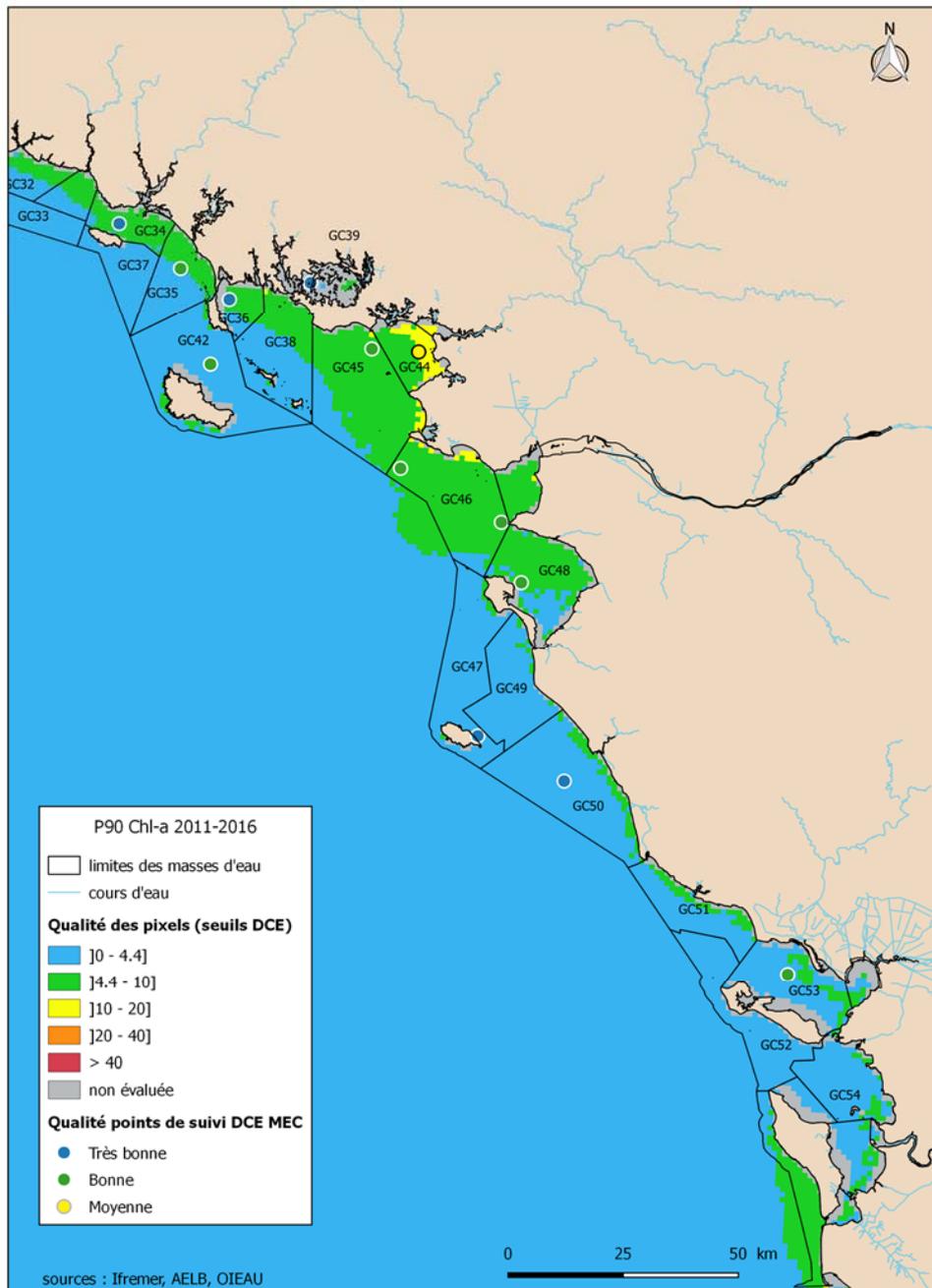


Figure 15 : Qualité des pixels selon les données satellite et résultats DCE in situ – Chl-a – 2011-2016 – Bassin Loire Bretagne nord.



Rmq : compte tenu de la méthode pour traiter les données, lorsque la masse d'eau est suivie par deux stations, la qualité indiquée sur la carte est celle de la masse d'eau et non celle de chaque point de suivi.

Figure 16 : Qualité des pixels selon les données satellite et résultats DCE in situ - Chl-a - 2011-2016 - Bassin Loire Bretagne sud.

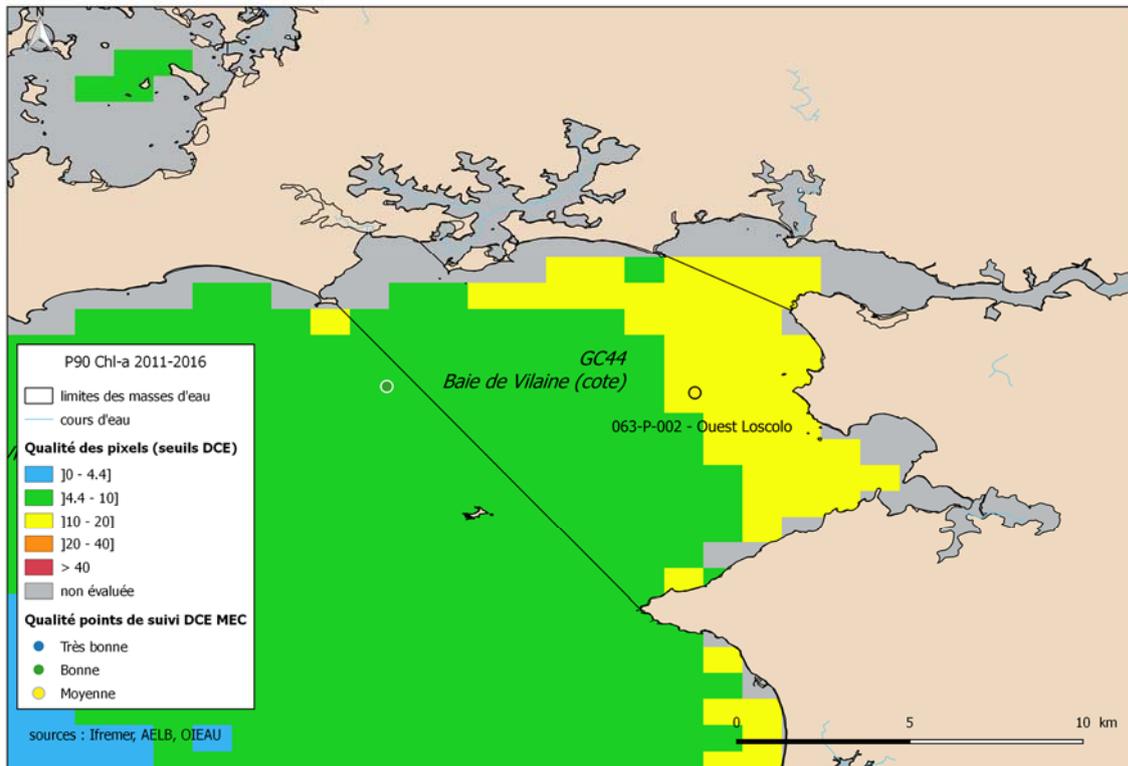


Figure 17 : Qualité des pixels selon les données satellite et résultats DCE in situ – Chl-a – 2011-2016 – Zoom sur la baie de Vilaine.

Tableau 7 : Commentaires par masse d'eau concernant les différences de résultats *in situ* / satellite

Code ME	Nom ME	Commentaire cartes
GC03	Rance-Fresnaye	D'après les données <i>in situ</i> la classe de qualité est bonne alors que la majorité des pixels de la masse d'eau est de très bonne qualité d'après les données satellite.
GC20	Baie de Douarnenez	La qualité des pixels valides* est hétérogène avec un fond de baie en bon état et le reste de la masse d'eau en très bon état. On note la présence de deux pixels de qualité moyenne localisés à proximité du point de suivi <i>in situ</i> . D'après les données <i>in situ</i> , la classe de qualité est très bonne.
GC34	Lorient - Groix	D'après les données <i>in situ</i> , la classe de qualité est très bonne alors que la majorité des pixels de la masse d'eau est de bonne qualité d'après les données satellite.
GC35	Baie d'Etel	La qualité des pixels valides* est hétérogène avec une bande côtière en bon état et le reste de la masse d'eau en très bon état. D'après les données <i>in situ</i> la classe de qualité est bonne. Le point de suivi est situé entre la zone évaluée en bonne qualité et celle évaluée en très bonne qualité.
GC36	Baie de Quiberon	La qualité des pixels valides* est hétérogène avec une bande côtière en bon état et le reste de la masse d'eau en très bon état. D'après les données <i>in situ</i> la classe de qualité est très bonne. Le point de suivi se situe au sein des pixels évalués en bon état d'après les données satellite.
GC42	Belle-Ile	D'après les données <i>in situ</i> , la classe de qualité est bonne alors que la majorité des pixels de la masse d'eau est de très bonne qualité d'après les données satellite.
GC44	Baie de Vilaine (côte)	La qualité des pixels valides* est hétérogène avec un fond de baie en état moyen et le reste de la masse d'eau en bon état. D'après les données <i>in situ</i> , la classe de qualité est moyenne. Le point de suivi se situe au sein des pixels évalués en état moyen d'après les données satellite. Cette masse d'eau est connue pour être soumise au phénomène d'eutrophisation comme le montre le projet DIETE (Souchu <i>et al.</i> (2017)).
GC53	Pertuis breton	La qualité des pixels valides* est hétérogène avec une majorité de pixel en très bon état et des pixels en bon état. D'après les données <i>in situ</i> la classe de qualité est bonne. Le point de suivi se situe au sein des pixels évalués en très bon état d'après les données satellite.

* : pixel valide = pixel présentant suffisamment de données pour que le calcul du P90 puisse être réalisé.

Masse d'eau plutôt homogène
Masse d'eau plutôt hétérogène

4.2.4. Proposition de qualité pour l'évaluation 2016

Les résultats précédents montrent une bonne cohérence et complémentarité des données satellite et des données *in situ* à l'échelle du bassin Loire Bretagne pour l'indice biomasse. Il est donc proposé, que les données satellite soient utilisées pour compléter l'évaluation de la qualité des masses d'eau non suivies (hors RCS) pour cet indice. Les masses d'eau du RCS sont évaluées, selon les règles précisées dans l'arrêté surveillance³, c'est-à-dire à partir des données *in situ* uniquement. Cette évaluation est complétée par les images satellite lorsque le nombre de données acquises *in situ* est trop faible.

L'indicateur phytoplancton des masses d'eau RCS est évalué à partir des résultats des indices biomasse et abondance, eux-mêmes calculés à partir des données *in situ*. Comme mentionné précédemment, l'évaluation de l'indice biomasse peut s'appuyer sur les données satellites lorsque le nombre de données *in situ* acquis est trop faible.

L'indicateur phytoplancton des masses d'eau non RCS (non suivies) est évalué à partir de l'indice biomasse (paramètre Chl-a) calculé à partir des données satellite quand cela est possible.

Une échelle de confiance à accorder au résultat a été définie en tenant compte des règles de l'arrêté surveillance³. Elles sont précisées dans le Tableau 8.

La proposition de qualité de chaque masse d'eau est présentée dans le Tableau 9.

Tableau 8 : Echelle de confiance du résultats pour l'indicateur phytoplancton

Niveau 3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i> avec un nombre suffisant (> 90% de la planification)
Niveau 2	Evaluation à partir des données <i>in situ</i> avec un nombre insuffisant et une confirmation à dire d'expert ou par les données satellite
	Evaluation à partir des données satellites avec un nombre de pixel valide suffisant (> 48) Données en nombre suffisant pour le calcul ; réserve des experts sur le résultat
Niveau 1	Données en nombre insuffisant pour le calcul ; doute des experts
Niveau 0	Pas d'évaluation car aucune donnée et pas d'avis d'expert

³ Arrêté surveillance de 2018, en cours de rédaction

Tableau 9 : Proposition pour la qualité de l'indicateur phytoplancton pour les masses d'eau du bassin Loire Bretagne – 2011-2016

TB = Très bon – B= Bon – I = inconnu

Numéro ME	Nom ME	Biomasse	Abondance	Phytoplancton	Conf	Commentaires
FRGC01	Baie du Mont-Saint-Michel	1	1	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC03	Rance-Fresnaye	2	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC05	Fond Baie de Saint-Brieuc	1	1	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC06	Saint-Brieuc (large)	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec	1	2	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC08	Perros-Guirec (large)	1	1	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC09	Perros-Guirec - Morlaix (large)	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC10	Baie de Lannion	1	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC11	Baie de Morlaix	1	1	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC12	Léon - Trégor (large)	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC13	Les Abers (large) à	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC16	Rade de Brest	1	2	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC17	Iroise - Camaret	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC18	Iroise (large)	1	1	1	2	Le calcul de la métrique biomasse à partir des données <i>in situ</i> se base sur un nombre de données trop faibles (<50%). Les résultats issus des données satellite confirment le calcul basé sur les données <i>in situ</i> pour la biomasse (TB).
FRGC20	Baie de Douarnenez	1	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC24	Audierne (large)	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC26	Baie d'Audierne	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC28	Concarneau (large)	1	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC29	Baie de Concarneau	I	I	I	0	Nombre insuffisant de pixels valides pour qualifier la masse d'eau
FRGC32	Laïta - Pouldu	I	I	2	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)

Apport des images satellite à l'évaluation de la qualité des masses d'eau DCE – Bassin Loire-Bretagne – Données 2011-2016 – Version 1 – juillet 2018

Numéro ME	Nom ME	Biomasse	Abondance	Phytoplancton	Conf	Commentaires
FRGC33	Laïta (large)	U	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC34	Lorient - Groix	1	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC35	Baie d'Etel	2	3	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC36	Baie de Quiberon	1	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC37	Groix (large)	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC38	Golfe du Morbihan (large)	I	I	2	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse). Les deux méthodes de calcul basées sur les images satellite donne un résultat différent pour la métrique biomasse (méthode globale : B, méthode pixel : TB). Les valeurs du P90 DCE obtenu pour chacune des méthodes (respectivement 4,4 et 4,2) sont très proches du seuil B/TB, il est donc retenu la qualité bonne.
FRGC39	Golfe du Morbihan	1	2	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC42	Belle-Ile	2	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC44	Baie de Vilaine (côte)	3	3	3	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC45	Baie de Vilaine (large)	2	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC46	Loire (large)	2	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC47	Ile d'Yeu	1	1	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC48	Baie de Bourgneuf	2	3	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC49	La Barre-de-Monts	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC50	Nord Sables d'Olonne	1	1	1	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC51	Sud Sables d'Olonne	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC52	Ile de Ré (large)	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)
FRGC53	Pertuis breton	2	2	2	3	Evaluation à partir des données <i>in situ</i>
FRGC54	La Rochelle	I	I	1	2	Evaluation faite à dire d'expert sur la base des données satellite (indice biomasse)

5. Conclusion

Afin de répondre aux objectifs de la Directive Cadre sur l'eau, l'Ifremer met en œuvre, en appui à l'Agence de l'eau Loire Bretagne, la surveillance de l'élément de qualité phytoplancton. L'acquisition de données *in situ* (Chlorophylle a (Chl- a) et flore indicatrice) est réalisée dans vingt-trois masses d'eau du réseau de contrôle de surveillance. Ce suivi stationnel et mensuel ne permet pas de suivre l'ensemble des masses d'eau du bassin Loire Bretagne.

L'indice biomasse a pu être calculé à partir des données satellite pour la quasi-totalité des masses d'eau côtières RCS et non RCS, c'est-à-dire 34 masses d'eau sur 39. Pour les cinq masses d'eau restantes, les limites liées à cette technique (couverture nuageuse, morphologie de la côte) et à leur traitement (substances jaunes et MES), n'ont pas permis l'évaluation de l'indice Chl- a à partir des données satellite.

Deux méthodes de calcul de la métrique DCE à partir des données satellites ont été testées : la méthode globale et la méthode par pixel.

La cohérence entre les données satellite et *in situ* a d'abord été étudiée sur près de 20 ans de données (1998-2016) sur deux points de suivis REPHY, utilisés pour la DCE, et situés dans le Mor Braz. Les résultats montrent une très bonne cohérence avec une tendance plutôt stable sur Mer Er Roué et une tendance à l'augmentation de la Chl- a sur Ouest Loscolo.

La comparaison des résultats entre les deux méthodes de calcul de la métrique DCE à partir des données satellite, ainsi qu'entre les données *in situ* et satellite a montré une bonne cohérence. Les résultats satellite mettent toutefois en évidence une répartition spatiale hétérogène des concentrations en Chl- a de certaines masses d'eau. Les approches qualitative et cartographique utilisées dans cette étude ne suffisent pas pour remettre en cause les limites géographiques de la masse d'eau définies dans le cadre de la DCE. Elles devraient être complétées par une approche quantitative, temporelle et tenir compte de l'ensemble des paramètres suivis par la DCE.

Les résultats de cette étude et notamment le cas particulier de la baie de Vilaine illustrent bien la complémentarité des données *in situ* et satellite ainsi que l'importance de continuer l'acquisition des données *in situ* (réalité terrain, acquisition d'autres paramètres que Chl- a). La connaissance du terrain met en évidence la présence de phénomènes d'eutrophisation dans la Baie de Vilaine alors que l'approche satellite suggérerait, sur la base du paramètre Chl- a , que les phénomènes d'eutrophisation ne sont pas homogènes sur toute la masse d'eau.

La bonne cohérence des résultats *in situ*/satellite mise en évidence dans cette étude, encourage à poursuivre l'utilisation des données satellite Chl- a pour compléter les futures évaluations DCE des masses d'eau. Elles pourront aussi alimenter une éventuelle réflexion sur les limites géographiques de certaines masses d'eau.

6. Perspective de suivi par satellite pour les années à venir

Les capteurs évoluent et changent. Il faut donc être capable d'anticiper ces évolutions afin d'assurer la continuité dans le traitement des données de réflectance marine provenant des capteurs de la Couleur de l'Eau. Dans cette étude le capteur MODIS de la NASA⁴ est utilisé alors qu'un nouveau capteur OLCI est déjà présent sur le satellite SENTINEL-3 du projet européen Copernicus. Le satellite sentinel-3 a été lancé en février 2016 par l'Agence Spatiale Européenne. Les données validées sont disponibles depuis peu et sont fournies par EUMETSAT. Les réflectances marines d'OLCI seront intégrées fin 2018 dans la chaîne de traitement Ifremer afin de collecter les données nécessaires au projet Sentinel-3-EUROHAB. S3-EUROHAB est un projet INTEREG Manche visant à suivre au niveau opérationnel la qualité de l'eau de la Manche et du nord du Golfe de Gascogne jusqu'à la baie de Vilaine. Il vise notamment à mettre en place un système d'alerte des efflorescences de plancton nuisible (Harmful Algal Bloom). Le projet s'étend sur 4 ans, 2017-2021 et associe PML/UK (Plymouth Marine Laboratory) et Ifremer/Brest/Port-En-Bessin/Boulogne.

On notera aussi l'existence du projet EUNOSAT (Joint Monitoring Programme of the Eutrophication of the North Sea with Satellite data, 2017-2019) visant à utiliser les données satellite en complément des mesures conventionnelles *in situ* pour évaluer le risque d'eutrophisation à l'échelle de la DCSMM de la manche Mer du Nord.

JMP EUNOSAT et S3 EUROHAB sont des projets européens permettant de consolider l'utilisation du satellite dans le suivi de l'environnement à l'échelle DCE et DCSMM mais aussi quotidiennement dans l'observation des blooms nuisibles.

⁴ Le capteur VIIRS est destiné à remplacer MODIS.

Références

Belin C. (2014) DCE Phytoplancton, Etat des lieux et derniers résultats, présentation journées REPHY 2014 à Nantes

Gohin F., Druon J. N., et Lampert L. (2002). « A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters ». *International Journal of Remote Sensing* 23 (8): 1639-61.

Gohin F., Druon J., Lampert L. (2002). A five channel chlorophyll concentration algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters. *International Journal Of Remote Sensing*, 23(8), 1639-1661

Gohin F., Saulquin B., Bryere P. (2010). Atlas de la Température, de la concentration en Chlorophylle et de la Turbidité de surface du plateau continental français et de ses abords de l'Ouest européen. Ifremer. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00057/16840/>

Gohin F., Saulquin B., Bryere P. (2010). Atlas de la Température, de la concentration en Chlorophylle et de la Turbidité de surface du plateau continental français et de ses abords de l'Ouest européen. Ifremer. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00057/16840/>

Gohin F., Saulquin B., Oger-Jeanneret H., Lozac' h L, Lampert L., Lefebvre A., Riou P., Bruchon F (2008). Towards a better assessment of the ecological status of coastal waters using satellite-derived chlorophyll-a concentrations. *Remote Sensing of Environment*, 112(8), 3329-3340. Publisher's official version: <http://doi.org/10.1016/j.rse.2008.02.014> , Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00000/4501/>

Gohin F., Trabelsi A., Danielou M., (2010). Mise au point de méthodes pour la surveillance du phytoplancton : Cartographie des biomasses phytoplanctoniques par télédétection - Convention 2009 - Action 11. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00019/13006/>

Lampert L., Bryere P., Gohin F. (2016). Etude de la variation des paramètres biomasse (Chla) et turbidité sur plus de 10 années dans les eaux marines guyanaises par imagerie satellite. - Phase 2 : utilisation de la résolution à 300 m. Action 16, Livrables 1 et 2.

Lampert, L., Philippe B. et Francis G. (2015). Etude de la variation des paramètres température, biomasse et turbidité sur plus de 10 années dans les eaux marines guyanaises par imagerie satellite. Expertise Onema. Brest, France: IFREMER. <http://archimer.ifremer.fr/doc/00294/40531/>.

Lampert, L., Philippe B. et Francis G. (2017). Mesures de turbidité satellitaire des eaux fortement chargées en MES - Utilisation de l'algorithme OC5-HT en Guyane française, <http://archimer.ifremer.fr/doc/00373/48427/>.

Saulquin B., Gohin F., Garrello R. (2010, Regional objective analysis for merging high-resolution MERIS, MODIS/Aqua and SeaWiFS Chlorophyll-a Data from 1998 to 2008 ont the european atlantic shelf, *IEEE Transaction on geosciences and remote sensing*.

Saulquin B., Oger-Jeanneret H. et Francis G. (2007). Directive Cadre sur l'Eau: Apports de l'imagerie satellite pour la surveillance des masses d'eau côtières du bassin Loire-Bretagne, 9 pp. <http://oaidoc.eau-loire-bretagne.fr/exl-doc/IID6795.pdf>

Souchu P., Le Magueresse A., Lassus P., Sechet V., Oger-Jeanneret H. (2012). DINOPHAG. Janvier 2011 - Juin 2012. Programme de recherche sur Dinophysis dans les eaux littorales des Pays de la Loire . Rapport final.

Annexe 1 - Détails des pixels par masse d'eau

Code ME	Nom ME	Nombre de pixels composant la masse d'eau	Nombre de pixels utilisés pour la méthode pixel
FRGC01	Baie du Mont-Saint-Michel	114	58
FRGC03	Rance - Fresnaye	244	182
FRGC05	Fond Baie de Saint-Brieuc	249	186
FRGC06	Saint-Brieuc (large)	445	410
FRGC07	Paimpol - Perros-Guirec	339	263
FRGC08	Perros-Guirec (large)	177	177
FRGC09	Perros-Guirec - Morlaix (large)	217	173
FRGC10	Baie de Lannion	38	22
FRGC11	Baie de Morlaix	44	29
FRGC12	Leon- Tregor (large)	371	333
FRGC13	Les Abers (large)	177	156
FRGC16	Rade de Brest	247	94
FRGC17	Iroise - Camaret	317	301
FRGC18	Iroise (large)	1098	1077
FRGC20	Baie de Douarnenez	230	171
FRGC24	Audierne (large)	397	392
FRGC26	Baie d'Audierne	211	182
FRGC28	Concarneau (large)	529	464
FRGC29	Baie de Concarneau	92	36
FRGC32	Laita - Pouldu	71	65
FRGC33	Laita (large)	130	130
FRGC34	Lorient - Groix	116	92
FRGC35	Baie d'Etel	186	175
FRGC36	Baie de Quiberon	89	55
FRGC37	Groix (large)	137	128
FRGC38	Golfe du Morbihan (large)	282	266
FRGC42	Belle-Ile	472	365
FRGC44	Baie de Vilaine (cote)	127	104
FRGC45	Baie de Vilaine (large)	429	412
FRGC46	Loire (large)	343	325
FRGC47	Ile d'Yeu	350	308
FRGC48	Baie de Bourgneuf	304	233
FRGC49	La Barre-de-Monts	243	236
FRGC50	Nord Sables-d'Olonne	427	413
FRGC51	Sud Sables-d'Olonne	194	164
FRGC52	Ile de Re (large)	252	222
FRGC53	Pertuis Breton	326	202
FRGC54	La Rochelle	195	163
	Total	10209	8764
	Moyenne	269	231
	Max	1098	1077
	Min	38	22

Annexe 2 -

Zoom sur la qualité des pixels de certaines masses d'eau

