CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

MANCHE - MER DU NORD

CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

MANCHE - MER DU NORD

JUIN 2012

ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE

Caractéristiques chimiques

Répartition spatio-temporelle de la chlorophylle a

Francis Gohin (Ifremer, Brest).
Avec la participation de
Felipe Artigas (ULCO),
Pascal Claquin (Université de Caen),
Stéphane L'Helguen (IUEM),
Alain Lefèbvre
et Alain Ménesguen (Ifremer, Brest).

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie
Agence des aires marines protégées
Ifremer

La chlorophylle est le pigment photosynthétique des végétaux marins et terrestres autotrophes. C'est l'indicateur de biomasse le plus utilisé pour les algues microscopiques du phytoplancton et de l'épiphyton qui peuplent respectivement le milieu pélagique et benthique.

Les cartes proposées dans cette étude sont basées sur les données des capteurs optiques embarqués sur satellite et privilégient donc l'observation de la chlorophylle-*a* de la couche de surface (premiers centimètres à mètres, selon la turbidité). Toutefois, dans les eaux de la Manche, brassées par la marée et la houle, le mélange turbulent est suffisant pour que la concentration en chlorophylle *a* de surface soit généralement représentative de la situation sur toute la colonne d'eau, à l'exception des baies et grands estuaires. La principale région se situant en dehors de ce schéma est l'entrée de la Manche, l'été, lorsque la stratification thermique se met en place vers 20 à 30 m. Par ailleurs, si les données issues des satellites présentent l'immense avantage de couvrir l'ensemble de la zone étudiée, elles montrent généralement une qualité déclinante à proximité des côtes, sur une distance variant entre 1 et 2 km, pour tout un ensemble de raisons liées à la méthode.

De façon à visualiser les erreurs possibles localement, nous proposerons, à titre d'illustration, un certain nombre de cycles annuels de la chlorophylle *a* de surface obtenus aussi bien à partir des données satellite que de mesures *in situ* récoltées sur des stations côtières appartenant aux réseaux Somlit et Rephy, auxquels sont associés les réseaux régionaux RHLN (Réseau hydrologique du littoral normand) et SRN (Suivi régional des nutriments) (voir le chapitre 4.1, « Communautés phytoplanctoniques »).

1. MÉTHODOLOGIE D'ESTIMATION DE LA CONCENTRATION DE SURFACE EN CHLOROPHYLLE PAR SATELLITE

Depuis 1978 et le lancement du capteur Coastal Zone Color Scanner à bord du satellite *Nimbus-7* par la NASA, les premières données de la couleur de l'eau (réflectance) ont été mises à la disposition de la communauté scientifique pour mieux connaître le développement du phytoplancton et son rôle dans le cycle global du carbone. Cependant, c'est depuis 1997 et le lancement du capteur SeaWiFS que les applications des méthodes optiques spatiales sont devenues véritablement opérationnelles. En 2002, MODIS/*Aqua* et MERIS/*ENVISAT* furent lancés à quelques mois d'intervalle par la NASA et l'Agence Spatiale Européenne.

La méthode d'estimation de la chlorophylle *a* à partir de la réflectance marine de la lumière solaire est basée sur la propriété du pigment chlorophyllien d'absorber préférentiellement la lumière bleue pour la photosynthèse.

De fait, les eaux riches en phytoplancton apparaissent vertes car une grande partie de la lumière solaire bleue qui pénètre dans l'océan n'en ressort pas. Le milieu côtier est cependant optiquement beaucoup plus complexe que celui du large. C'est pourquoi, parallèlement à la mise en place des méthodes de traitement spécifiques [1] [2] permettant d'évaluer les concentrations en chlorophylle *a* sur les eaux côtières de l'ouest européen, l'Ifremer, dans le cadre des projets MarCoast, ECOOP et MyOcean, a pratiqué des validations systématiques sur les mesures des réseaux *in situ* conventionnels.

2. CARACTÉRISATION DE LA RÉPARTITION SPATIO-TEMPORELLE DE LA CHLOROPHYLLE A

La variation saisonnière de la concentration en chlorophylle *a* de surface observée par satellite est présentée en figure 1. On constate que la production phytoplanctonique démarre très tôt – février – dans la partie peu profonde du nord-est de la Manche, puis se développe progressivement à l'ouest et en mer du Nord au fur et à mesure que la lumière disponible augmente.

En été, la production en zone côtière, limitée par les éléments nutritifs, ne demeure véritablement importante qu'à proximité d'estuaires comme celui de la Seine, voire des baies des Veys ou de la Somme. Des niveaux élevés, trop brefs cependant pour avoir une signature sur les cartes bimensuelles, peuvent aussi être observés l'été en entrée de Manche lors de la mise en place de la stratification thermique.

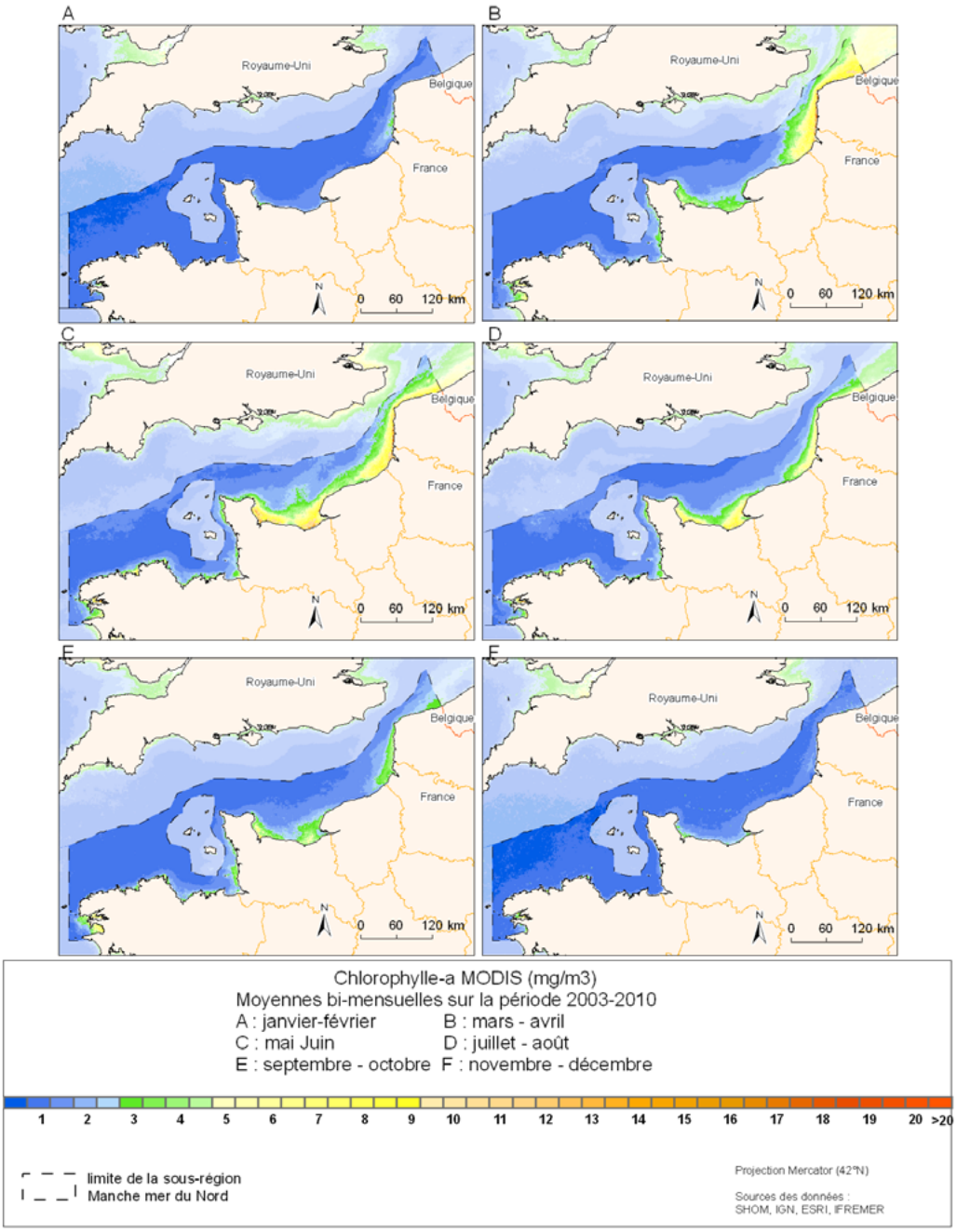

Figure 1 : Variation saisonnière de la concentration en chlorophylle, moyennes bimensuelles (Sources : SHOM, IGN, ESRI, Ifremer, 2011).

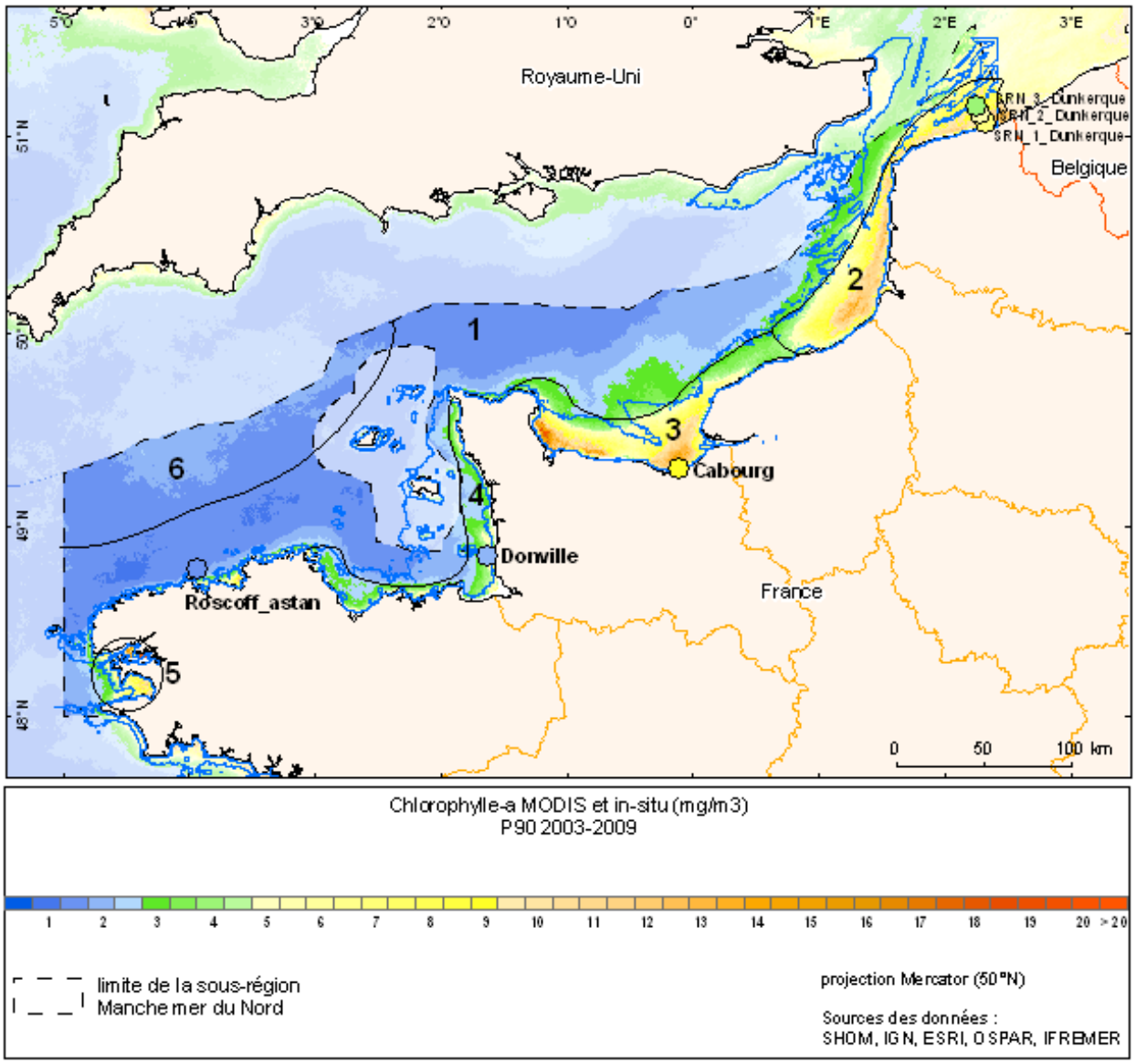

Figure 2 : Le percentile 90 de la distribution de la chlorophylle a lors de la période productive, (mars à octobre de 2003-2009) et une délimitation approximative de 6 zones homogènes. Les percentiles mesurés *in situ* sur un certain nombre de stations de référence REPHY, SRN et SOMLIT, permettant de contrôler les estimations satellite, sont indiqués par des disques de couleur. L'isobathe 20 mètres, tracée en bleu, joue un rôle déterminant dans le niveau de la chlorophylle de surface, car elle correspond à la zone euphotique (Sources : SHOM, IGN, ESRI, OSPAR, Ifremer, 2011).

La figure 2 présente le percentile 90 de chlorophylle *a* lors de la période productive s'étendant de mars à octobre, telle que définie dans le cadre de la mise en œuvre de la DCE (directive cadre Eau – 2000/60/CE), s'étendant de mars à octobre. Le percentile 90 indique le niveau en dessous duquel se situent 90% des observations. Seulement 10% des observations étant supérieures au percentile 90, celui-ci est donc un bon indicateur des niveaux élevés, sans donner trop de poids aux événements extrêmes, et est une des métriques pour le calcul de l'indicateur phytoplancton pour les masses d'eau littorales, dans le cadre la DCE. Sur cette image, six zones, aux contours définis à titre indicatif pour cette étude, ont été tracées.

- La **zone 1** correspond à la zone du large, profonde et brassée, ainsi qu'à la zone côtière de Bretagne Nord et d'Iroise. Dans cette région, la lumière est très majoritairement le facteur limitant. La chlorophylle *a* y atteint rarement des valeurs élevées mais, intégrée verticalement, elle représente une biomasse relativement importante pendant la période productive puisqu'elle est généralement répartie de manière homogène de la surface jusqu'au fond. Le brassage par l'effet de la marée favorise l'activité microbienne et la mise à disposition de nutriments, permettant une intense régénération [3]. Le cycle annuel de la station Roscoff-Astan du réseau SOMLIT peut être considéré comme représentatif de cette région (figure 3a).
- La **zone 2**, de Dieppe à la mer du Nord, correspond à une zone peu profonde et enrichie en éléments nutritifs dans sa partie sud par le « fleuve côtier ». L'expression fleuve côtier [4] est attribuée à l'ensemble des eaux côtières s'étendant de la baie de Seine au Pas-de-Calais, caractérisé par des apports importants des

fleuves (voir le chapitre 1.4 « Débits fluviaux ») et des courants résiduels moyens orientés parallèlement à la côte et dirigés vers le nord-est.

• Une forte concentration en éléments nutritifs et une faible profondeur vont favoriser les efflorescences précoces (figure 3b-d). Dès que les jours rallongent, en janvier, la production augmente, s'accélérant en mars pour atteindre un niveau maximal en avril ou mai. Bien qu'elle soit la plus froide des sous-régions marines françaises en hiver, c'est dans cette région que se développe le plus précocement le phytoplancton, et cela de façon continue pendant plusieurs semaines (figure 4). Généralement, le pic printanier de chlorophylle *a* est dû en première partie aux diatomées [5] [6] puis à des espèces de plus petite taille comme *Phaeocystis globosa* qui est considérée comme une espèce perturbant l'environnement (production de mousse) et les activités de pêche (colmatage des filets). En effet, l'accumulation de matière organique, suite à la sénescence des colonies, nuit au bon fonctionnement de l'écosystème en induisant une surconsommation d'oxygène pouvant entraîner une anoxie. Un second pic est visible en automne, mais beaucoup moins important et non systématique. Les graphes des stations côtières du transect SRN de Dunkerque, particulièrement celui du large (figure 3d), présentent cette allure typique avec un pic de printemps très marqué.

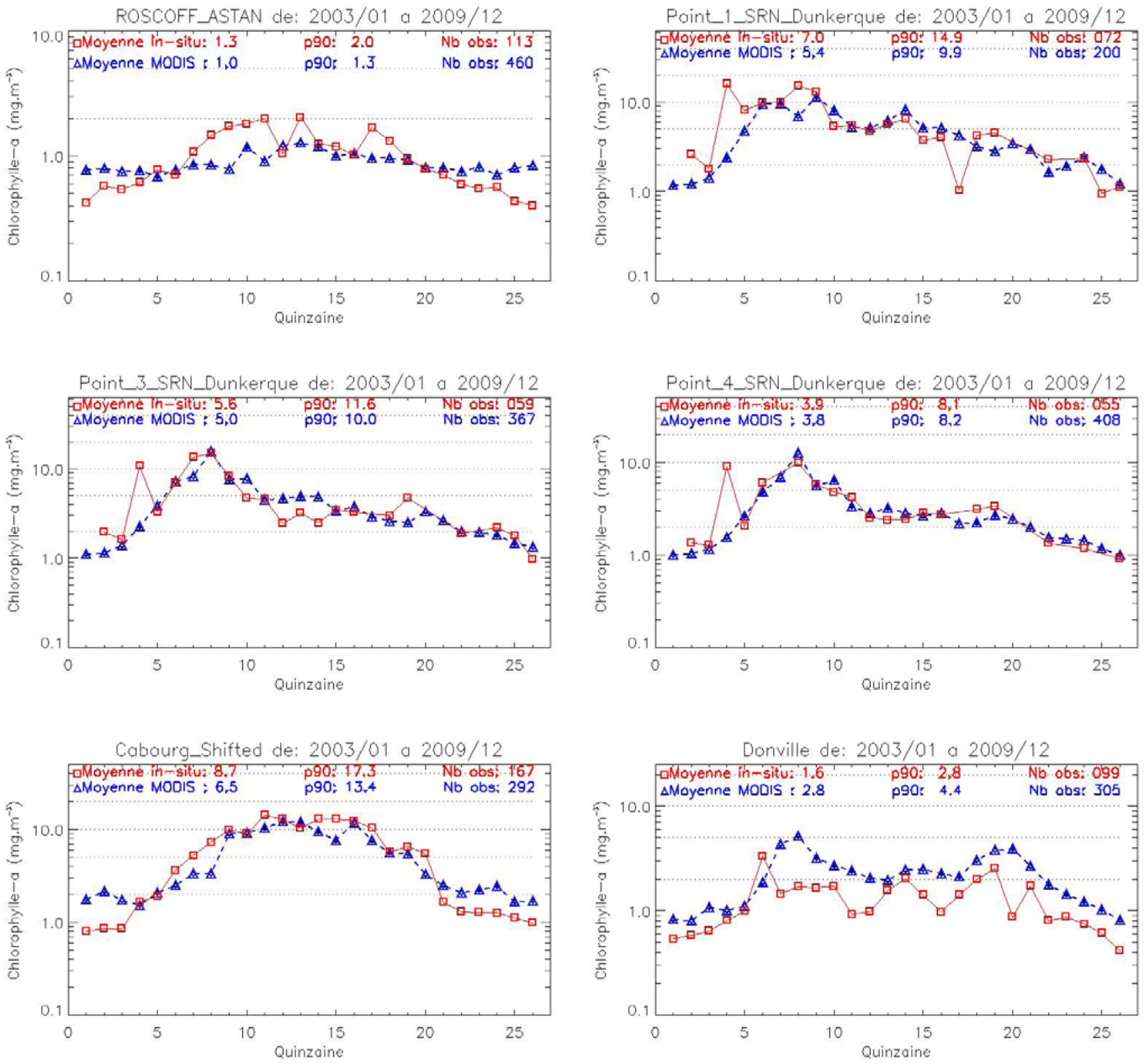

Figure 3 : Cycles saisonniers moyens de la zone 1 du large (a), le long du transect SRN (Suivi Régional des Nutriments) de Dunkerque dans la zone 2 (b-d), au large de Cabourg (e), zone 3, et à Donville (f) dans le golfe Normand-Breton, zone 4 (Sources : Ifremer, 2011).

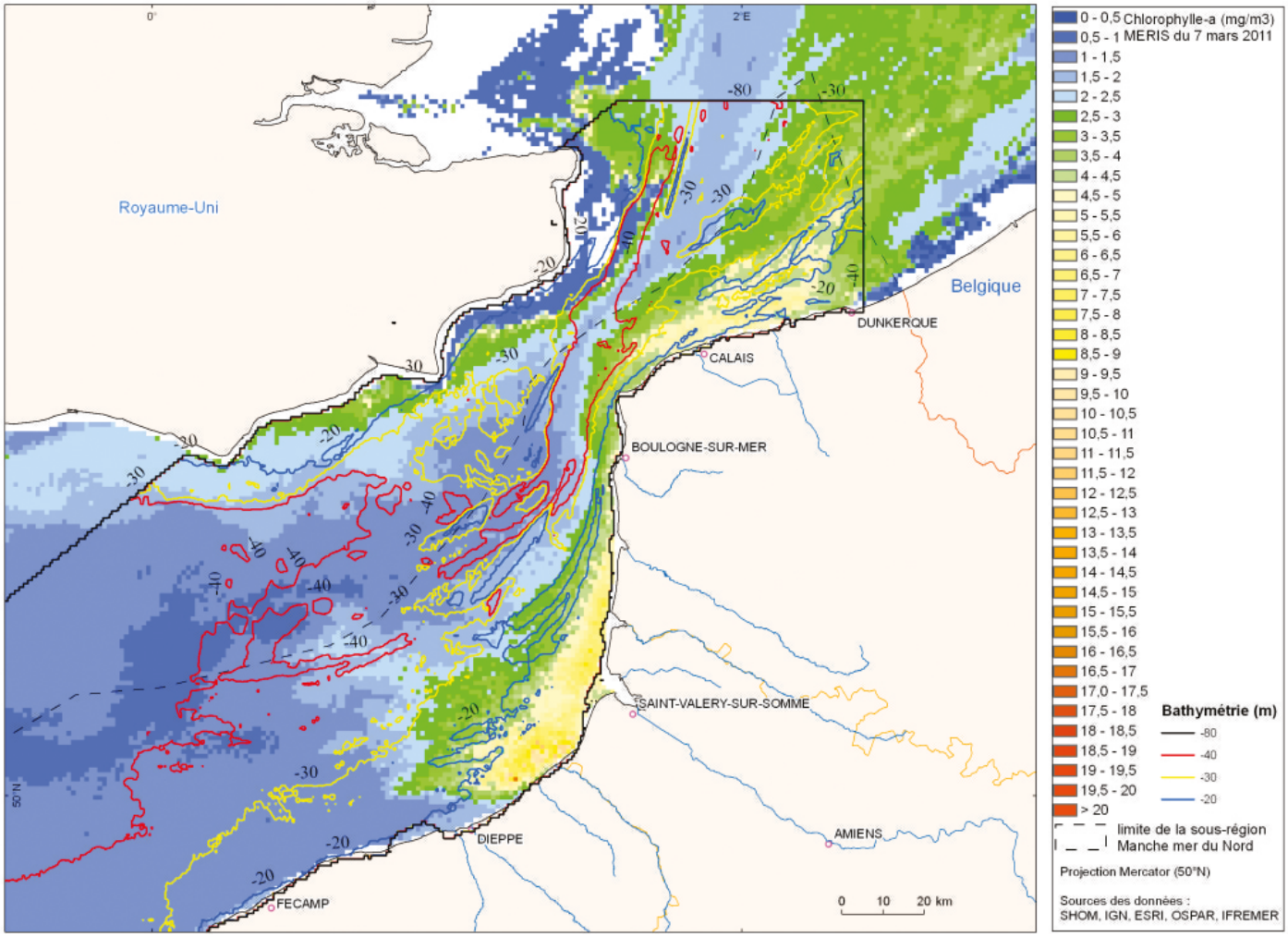

Figure 4 : Image de la chlorophylle (MERIS) le 7 mars 2011 sur la région nord-est (2). La production débute très tôt dans la région 2 caractérisée par une profondeur relativement faible, 15 m en moyenne (Sources : SHOM, IGN, ESRI, OSPAR, Ifremer, 2011).

• La **zone 3** correspond à la zone côtière turbide et brassée de la baie de Seine au sens large et de la côte du pays de Caux. Bien que les eaux du panache de la Seine soient entraînées vers l'est par les courants moyens, le développement du phytoplancton suit un schéma commun sur l'ensemble de la zone. La production est limitée par la lumière au départ, soit du fait de la profondeur, soit de celui de la turbidité suivant les endroits, et est globalement plus tardive que dans la zone 2. En revanche, elle se prolonge tout le long de l'été dans le panache de la Seine en raison des apports continus en nutriments. Le graphe annuel de la station de Cabourg montre une allure en cloche, typique des panaches de fleuves avec une production estivale continue, parfois très importante (figure 3e). En cas de forts blooms, des eaux colorées, parfois toxiques, peuvent apparaître l'été à la côte. Toutefois, grâce au fort courant de marée, la concentration en oxygène de fond n'atteint pas de niveaux considérés comme signes d'une hypoxie ou d'une anoxie.

• La **zone 4** est la zone côtière du golfe Normand-Breton. La chlorophylle suit un cycle annuel montrant une allure et un niveau moyens. Le second pic de printemps est parfois bien visible, comme à Donville (figure 3f).

• La **zone 5** regroupe la rade de Brest et la baie de Douarnenez. Les eaux de la rade de Brest n'étant pas confinées en fond de rade, mais rapidement mélangées sur une zone plus profonde allant jusqu'à la mer d'Iroise, les pics de chlorophylle *a* n'atteignent pas des niveaux très élevés. L'inverse est vrai en baie de Douarnenez, où le confinement en fond de baie et la marée moins forte qu'en Manche autorisent une stratification thermique estivale, favorable à la prolifération de dinoflagellés se nourrissant en partie des nutriments amenés jusque là par le panache de la Loire sous forme organique régénérée [7].

• La **zone 6** est la zone du large où la stratification apparaît progressivement en cours d'été. Bien que profonde et très exposée à l'effet des houles hivernales d'ouest, et donc proche des caractéristiques de la zone 1, cette région est moins turbulente que les zones centrales ou du nord-Bretagne plus affectées par le courant de marée. La diminution du vent l'été va favoriser la création plus ou moins tardive, d'ouest en est, d'une couche de surface de l'ordre de 20 m favorisant le développement du phytoplancton à des niveaux qui peuvent être très élevés, comme en juillet 2003, situation présentée en figure 5 (efflorescence de *Karenia mikimotoi*, un dinoflagellé responsable de marées rouges toxiques pour la faune) [8].

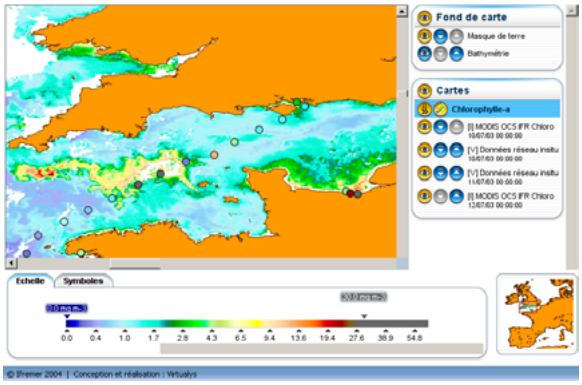

Figure 5 : Bloom de *Karenia mikimotoi* sur la région stratifiée du large en mi-juillet 2003. Image de chlorophylle-*a* extraite du serveur Nausicaa/MarCoast de l'Ifremer. Les mesures *in situ* des stations côtières et les données du FERRY (courtoisie Southampton Oceanographic Center) sont aussi indiquées (Sources : Ifremer, SOC, 2011).

3. OBSERVATION DE LA CHLOROPHYLLE-A ET OCÉANOGRAPHIE CÔTIÈRE OPÉRATIONNELLE

Les observations des satellites de la couleur de l'eau peuvent aujourd'hui être utilisées de façon opérationnelle, conjointement avec les mesures *in situ* obtenues à partir des réseaux conventionnels d'observation – comme le réseau SOMLIT de l'INSU – et de surveillance – (comme le réseau REPHY de l'Ifremer – ou des prises d'échantillons à bord des ferries comme le montre la figure 5. Les stations automatiques équipées d'un fluorimètre, comme les bouées MAREL, fournissent aussi des produits particulièrement adaptés aux « vérité mer » et à la surveillance nécessaire pour la mise en œuvre de la DCSMM. La figure 6 montre, sur une année, entre mars 2010 et mars 2011, l'évolution de la chlorophylle déduite de la fluorescence *in situ* et des réflectances de MERIS et MODIS aux abords du port de Boulogne. Dans cette région brassée et au gradient côte-large croissant et régulier en chlorophylle, les observations des satellites et les mesures des fluorimètres, plus ponctuelles mais à haute fréquence temporelle, sont concordantes.

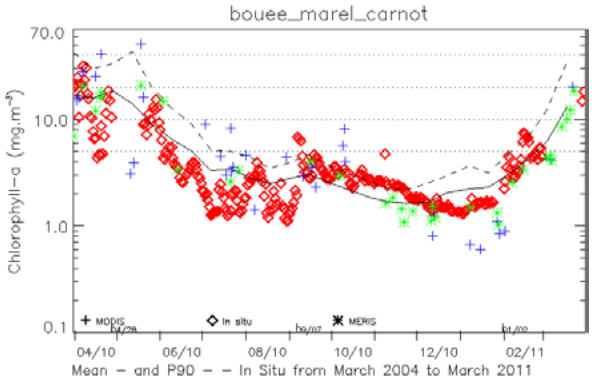

Figure 6 : Graphe annuel, mars 2010-mars 2011, de la chlorophylle déduite de la fluorescence *in situ* et des réflectances satellite à la position de la station MAREL/Carnot dans le port de Boulogne. Bien que des données *in situ* manquent une partie de mars 2011, les observations de MERIS et MODIS montrent un développement du phytoplancton conforme à la moyenne *in situ*. On constate aussi que la concentration en chlorophylle *a* et la fluorescence augmentent au fur et à mesure que l'irradiance solaire journalière croît en février et mars.

Le potentiel des modèles biogéochimiques est aussi considérable pour la compréhension du rôle des éléments nutritifs et de la lumière dans les variations du phytoplancton de la Manche [9]. Compte tenu de la limitation importante de la production de phytoplancton en Manche par la lumière, le devenir des matières en suspension sous l'action de la marée, du vent et de la houle est aussi à incorporer dans les modèles de l'océanographie côtière opérationnelle. Ce sont en effet les matières en suspension qui déterminent en grande partie la lumière disponible dans la couche de mélange.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Gohin F., Druon J.N. et Lampert L., 2002. A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWiFS data processed by SeaDAS in coastal waters, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 23 , 8, pp 1639-1661.

[2] Gohin F., Saulquin B., Oger-Jeanneret H., Lampert L., Lefèbvre A., Riou P. et Bruchon F., 2008. Towards a better assessment of the ecological status of coastal waters using satellite-derived chlorophyll-a concentration. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3329-3340.

[3] L'Helguen S., Madec C. et Le Corre P., 1996. Nitrogen uptake in permanently well-mixed temperate coastal waters. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 42, 803-818.

[4] Brylinski J.M., Brunet C., Bentley D., Thoumelin G. et Hilde D., 1996. Hydrography and phytoplankton biomass in the Eastern English Channel in spring 1992. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 43: 507-519.

[5] Brunet C., Brylinski J.M., Bodineau L., Thoumelin G., Bentley D. et Hilde D., 1996. Phytoplankton dynamics during the spring bloom in the South-eastern English Channel. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 43, 469-483.

[6] Breton E., Brunet C., Sautour B. et Brylinski J.M., 2000. Annual variations of phytoplankton biomass in the Eastern English Channel: comparison by pigment signatures and microscopic counts. J. Plankton Res., 22, 8, 1423-1440.

[7] Birrien L., Wafar V.M., Le Corre P. et Riso R., 1991. Nutrients and primary production in a shallow stratified ecosystem in the Iroise Sea. J. Plankton Res., 13, 721-742.

[8] Vanhoutte-Brunier A., Fernand L., Ménesguen A., Lyons S., Gohin F. et Cugier P., 2008. Modelling the *Karenia mikimotoi* bloom that occurred in the western English Channel during summer 2003. *Ecological Modelling* 210, 351-376.

[9] Ménesguen A. et Gohin F., 2006. Observation and modelling of natural retention structures in the English Channel, *J. Marine Syst.,* 63 (3-4) 244-256.