CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

GOLFE DE GASCOGNE

CARACTÉRISTIQUES ET ÉTAT ÉCOLOGIQUE

GOLFE DE GASCOGNE

JUIN 2012

ÉTAT PHYSIQUE ET CHIMIQUE

Caractéristiques chimiques

Répartition spatio-temporelle de la chlorophylle *a*

Francis Gohin (Ifremer, Brest).
Avec la participation de
Nathalie Niquil (Université de La Rochelle).

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

Le phytoplancton est une composante essentielle du milieu marin : premier maillon de la chaîne alimentaire, il est indispensable à la vie marine.

Cependant, son excès peut être redouté, lorsque l'espèce dominante émet des toxines ou lorsque la biomasse atteint de tels niveaux que l'équilibre du milieu est en jeu : on parle alors d'eutrophisation.

Le pigment chlorophyllien, qui caractérise les végétaux en permettant la photosynthèse, est un indicateur de la biomasse du phytoplancton. Les cartes proposées dans cette étude sont essentiellement basées sur les données des capteurs optiques embarqués sur satellite et privilégient donc l'observation de la chlorophylle *a* (*chla*) de la couche de surface. Il est à noter que cette approche de surface est moins représentative de la situation en trois dimensions du phytoplancton dans le golfe de Gascogne qu'en Manche car le brassage par la marée y est, de façon générale, moins important. Si l'intensité du mélange est forte en hiver, du fait de l'exposition du golfe aux tempêtes d'ouest, des stratifications halines ou thermiques peuvent contribuer en maints endroits à isoler la couche de surface de celle du fond.

Par ailleurs, si les données issues des satellites présentent l'immense avantage de couvrir l'ensemble de la zone étudiée, leur qualité peut décliner à proximité des côtes, sur une distance variant entre un et deux kilomètres. Il est ainsi

difficile d'observer efficacement le bassin d'Arcachon à partir des seuls capteurs satellite. De façon à évaluer la pertinence des données satellite dans des secteurs très côtiers, nous confronterons, à titre d'illustration, un certain nombre de cycles annuels de la chlorophylle de surface obtenus à partir des données satellite ou de mesures *in situ* récoltées sur des stations côtières du réseau REPHY de l'Ifremer.

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 est présentée en figure 1. On constate sur ces cartes que la production ne démarre véritablement qu'en mars-avril en sud-Bretagne. Ceci est toutefois à nuancer car nous verrons que certaines efflorescences hivernales dans les panaches distaux des fleuves peuvent être très intenses. Le caractère épisodique et la localisation variable de ces efflorescences, plus influencées par les panaches des fleuves que par la bathymétrie, ne permettent cependant pas d'observer leurs effets sur les cartes moyennes.

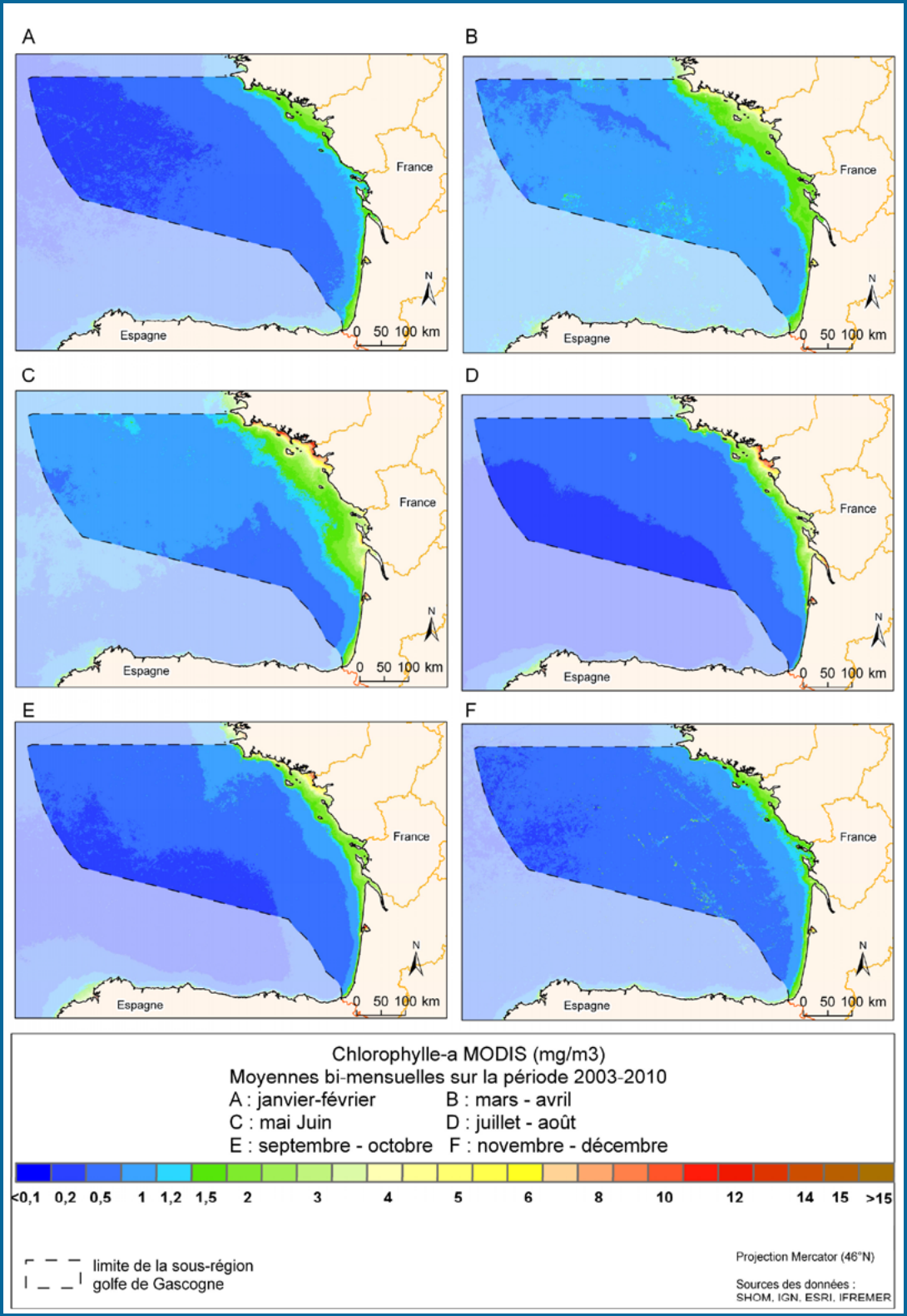

Figure 1 : Variation saisonnière de la concentration en chlorophylle (moyennes bimensuelles) (Sources : SHOM, IGN, ESRI, Ifremer, 2011).

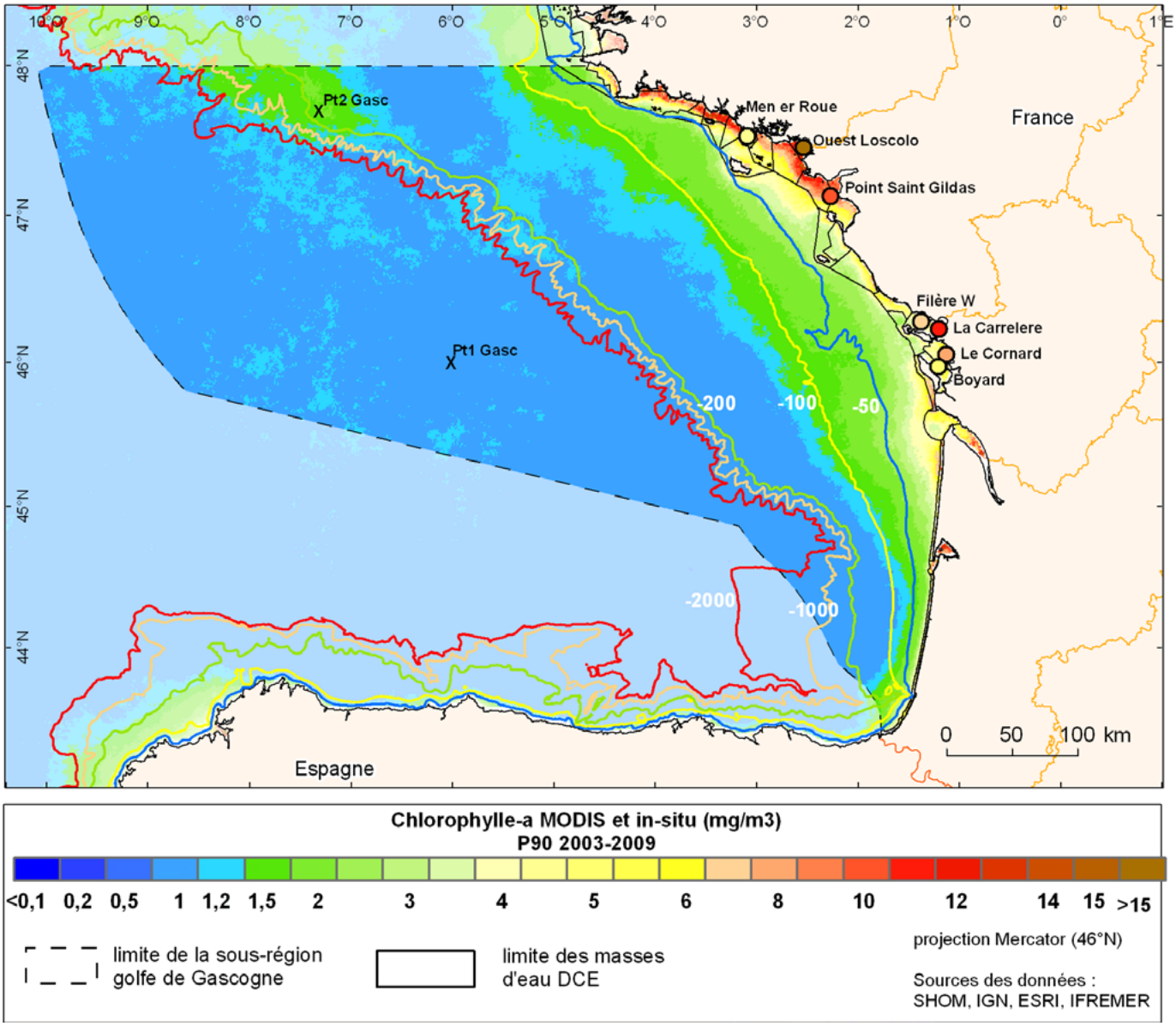

Figure 2 : Percentile 90 de la distribution de la chlorophylle a lors de la période productive (2003-2009). Les percentiles mesurés in situ sur un certain nombre de stations de référence REPHY, permettant de contrôler les estimations satellite, sont indiqués par des disques de couleur (Sources : SHOM, IGN, ESRI, OSPAR, Ifremer, 2011).

La figure 2 présente le percentile 90 de chlorophylle *a* lors de la période productive, au sens 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. 10 % seulement des observations étant supérieures au percentile 90, celui-ci est donc un bon indicateur des niveaux élevés, sans donner toutefois trop de poids aux événements extrêmes, et il a donc été choisi pour la DCE comme métrique de l'indicateur phytoplancton [3].

La croissance du phytoplancton est contrôlée par la lumière et les nutriments. Ces derniers évoluent de façons différentes au cours des saisons, du large à la côte, dans ou à l'extérieur des panaches. À partir du simple indicateur de la bathymétrie, on peut cependant distinguer trois grandes zones dans la ZEE du golfe de Gascogne : la zone côtière sous l'influence des fleuves, le talus et la zone du large, à l'extérieur du plateau continental.

La figure 3 présente les graphes annuels de la concentration en chlorophylle *a* sur certaines des stations REPHY sélectionnées présentées en figure 2 (mesures satellite et *in situ*) ainsi qu'en deux points situés au large et sur le talus (uniquement à partir des mesures satellite). La concentration en matières en suspension (MES) minérale est aussi indiquée sur les graphes des points du large et de talus (figures 3f et 3g). Cette MES est due aux plaquettes de carbonate de calcite constituant le squelette des coccolithophoridés. Elle est donc un bon indicateur de l'abondance de ce type particulier de phytoplancton.

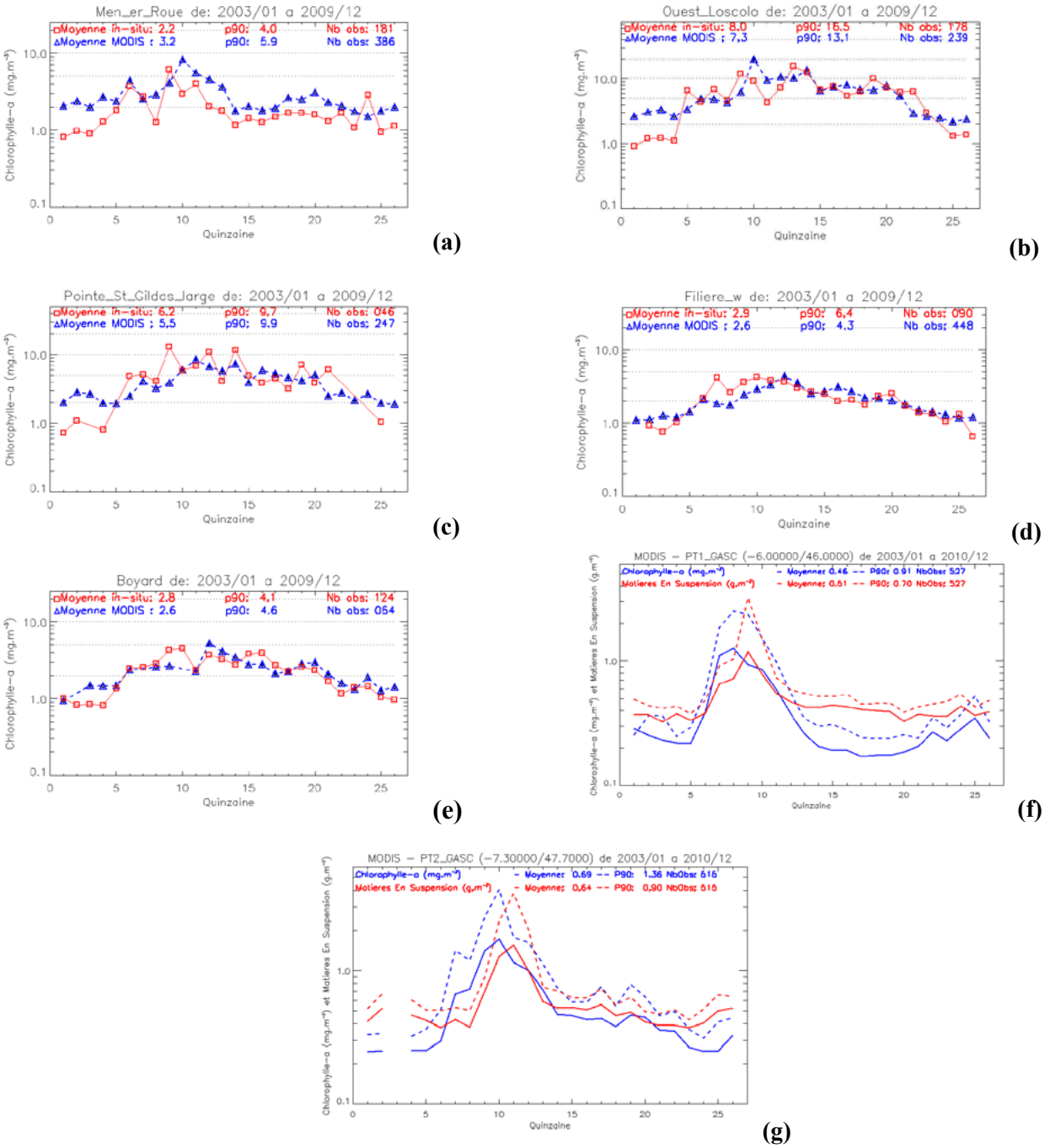

Figure 3 : Cycles saisonniers moyens à certaines stations REPHY sélectionnées (Chl-a satellite (MODIS) et in-situ) et en deux points sur les zones du large et du talus (Chl-a et MES satellite (f-g)). Les graphes moyens issus des mesures in-situ de chlorophylle ne sont représentés (en bleu) que pour les stations REPHY. Les graphes des deux stations du large présentent les courbes moyennes en traits continus et les courbes du percentile 90 en pointillé (par période de 15 jours), à la fois pour les concentrations en Chl-a et en -MES (Source : Ifremer, 2011).

La zone du large : Non soumises à une influence directe des fleuves, les conditions hydrologiques de la zone du large sont très dépendantes de la turbulence induite par le vent. La croissance du phytoplancton ne débutera que lorsque la colonne d'eau de surface dans laquelle il se déplace recevra suffisamment de lumière au cours du cycle journalier. Cette condition n'apparaît au large du plateau continental qu'au début du printemps, lorsque la stratification thermique se met en place. Progressivement, suivant le vent et l'ensoleillement, cette stratification va isoler une couche de surface dont l'épaisseur variera entre vingt et quarante mètres du printemps au début de l'automne. À partir de fin mars, mais surtout en avril, les efflorescences peuvent se développer de façon parfois spectaculaire (figure 4A) mais généralement assez courte, de l'ordre de la semaine. Après ce premier bloom de printemps et suivant les conditions météorologiques, avec alternance de périodes de vent, d'ensoleillement et

de temps calme, d'autres efflorescences notables pourront avoir lieu jusqu'à mi-mai. Des pics de concentration en coccolithophoridés sont souvent observés en fin de période. Ce phénomène est mis en évidence par un pic de MES sur la figure 3f. Ensuite, la stratification étant bien établie et les éléments nutritifs étant épuisés en surface, la production ne se maintiendra qu'au niveau de la thermocline, vers 20-40 m. L'intégration de la concentration de la chlorophylle sur l'ensemble de la colonne d'eau n'atteindra plus les niveaux de printemps.

La zone côtière sous l'influence des fleuves : cette zone est par définition fluctuante, selon l'extension des panaches de la Loire/Vilaine, de la Gironde et de l'Adour [4]. La zone d'influence de la Loire peut s'étendre jusqu'à l'entrée de la Manche, selon les observations [5] ou les simulations des modèles [6] [7]. La production peut être primaire, dans le panache direct des fleuves, ou secondaire par régénération [8] [9]. Du fait de la stratification haline, la production peut démarrer très tôt et l'on parle alors de bloom d'hiver [10] ou de fin d'hiver [11] [12].

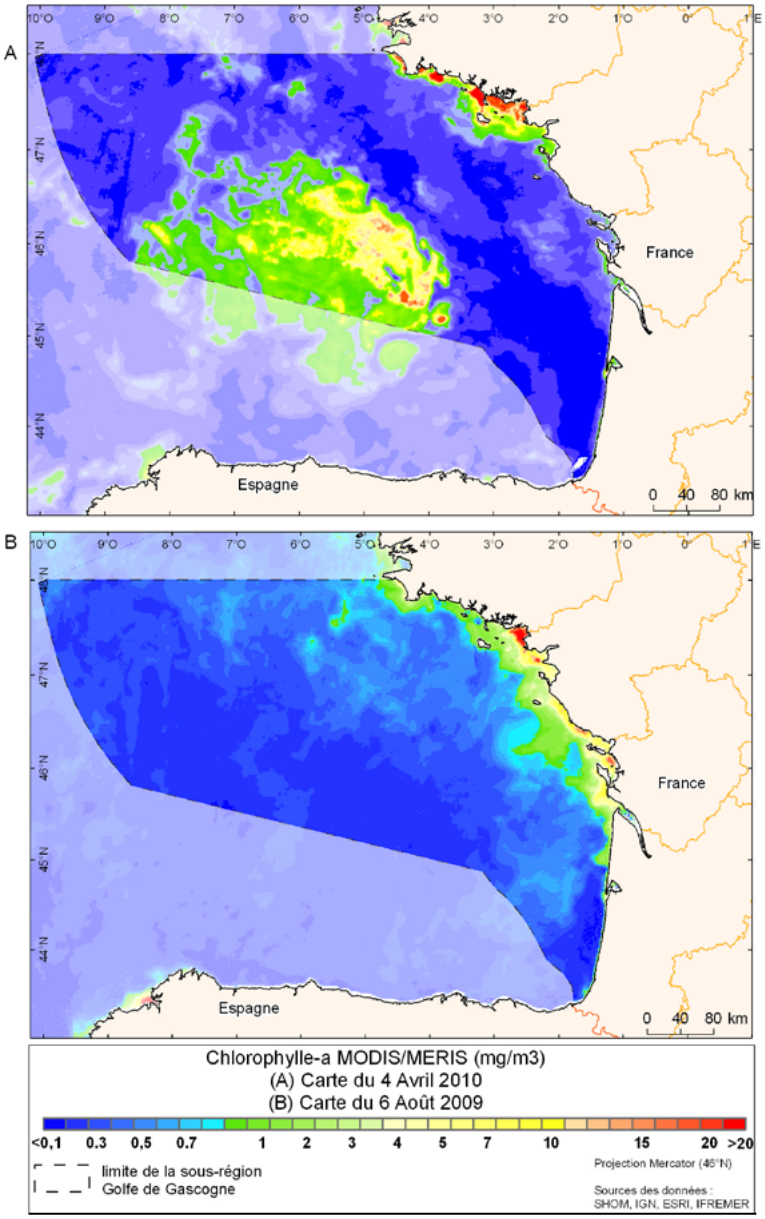

Figure 4 : Contraste entre une image de printemps (A) montrant des niveaux de chlorophylle élevés sur la zone du large (4 avril 2010) et une image d'été (B) où seule la partie enrichie par les fleuves peut maintenir une production élevée en surface (6 août 2009).

Bien que spectaculaires les efflorescences du large ne sont pas suffisamment longues et fréquentes pour avoir une signature notable sur les cartes moyennes bimensuelles (Figure 1).

En (B) on constate, au contraire, une relative stabilité des efflorescences à la côte, dont la croissance est essentiellement alimentée par les fleuves côtiers. D'autres effets peuvent aussi jouer régionalement comme l'upwelling des Landes ou le brassage des ondes internes sur le talus et en mer d'Iroise dans le nord de la zone (Source : Ifremer, 2010).

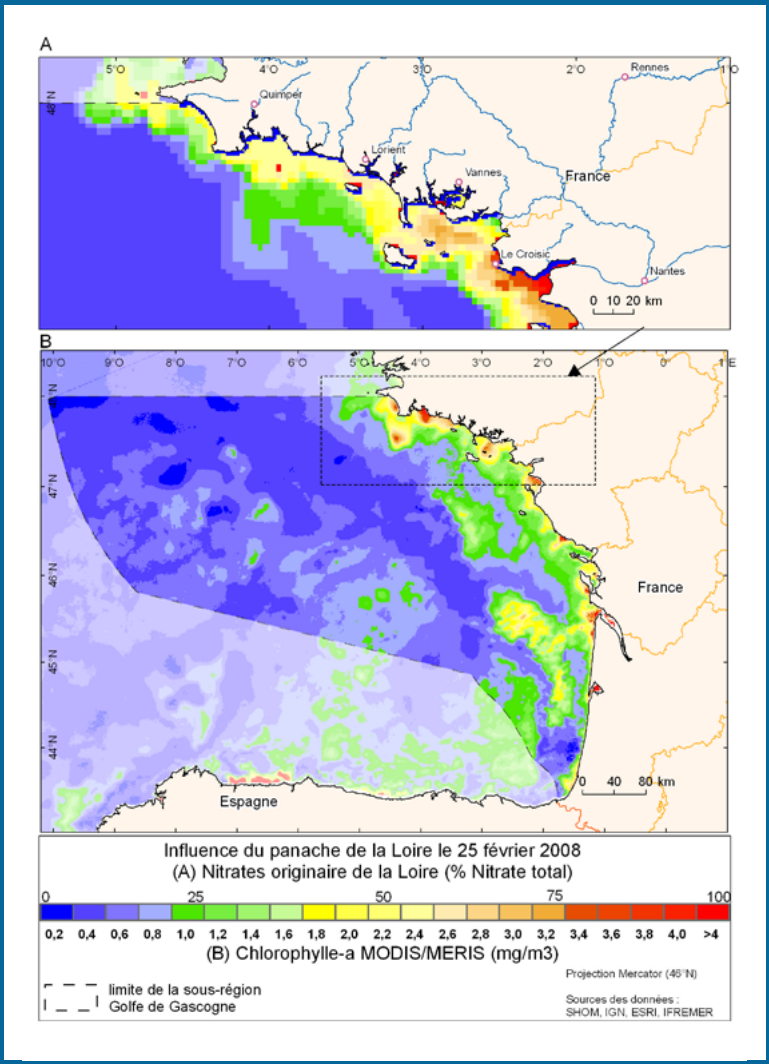

Figure 5 : Rôle des fleuves dans le déclenchement des blooms hivernaux.

(A) : % d'azote en surface provenant de la Loire (résultat de modèle Prévimer du sud-Bretagne) le 25 février 2011.
http://www.previmer.org/previsions/production_primaire

(B) : *Chla* MERIS/MODIS du même jour
(Source : Ifremer, 2010).

La figure 5 montre une situation relativement ordinaire l'hiver dans le golfe de Gascogne ainsi qu'un zoom du modèle ECO-MARS3D/Ifremer sur le sud-Bretagne (simulation du pourcentage d'azote originaire de la Loire). On constate en figure 5(A) l'importance de l'extension du panache de la Loire et en (B) le développement d'efflorescences notables, comme au large de la Gironde, assez loin des estuaires. Toutefois ces efflorescences sont loin d'atteindre le niveau de début mars 2000 et le bloom de fin d'hiver (composé essentiellement de la diatomée *Coscinodiscus waleisii*) analysés dans [12]. La figure 6(A) montre ce bloom se développant dans les eaux relativement stratifiées (stratification haline) et claires, sous influence de la Loire et des autres fleuves du sud-Bretagne, ainsi qu'un bloom de fin mai dans le panache direct de la Loire/Vilaine.

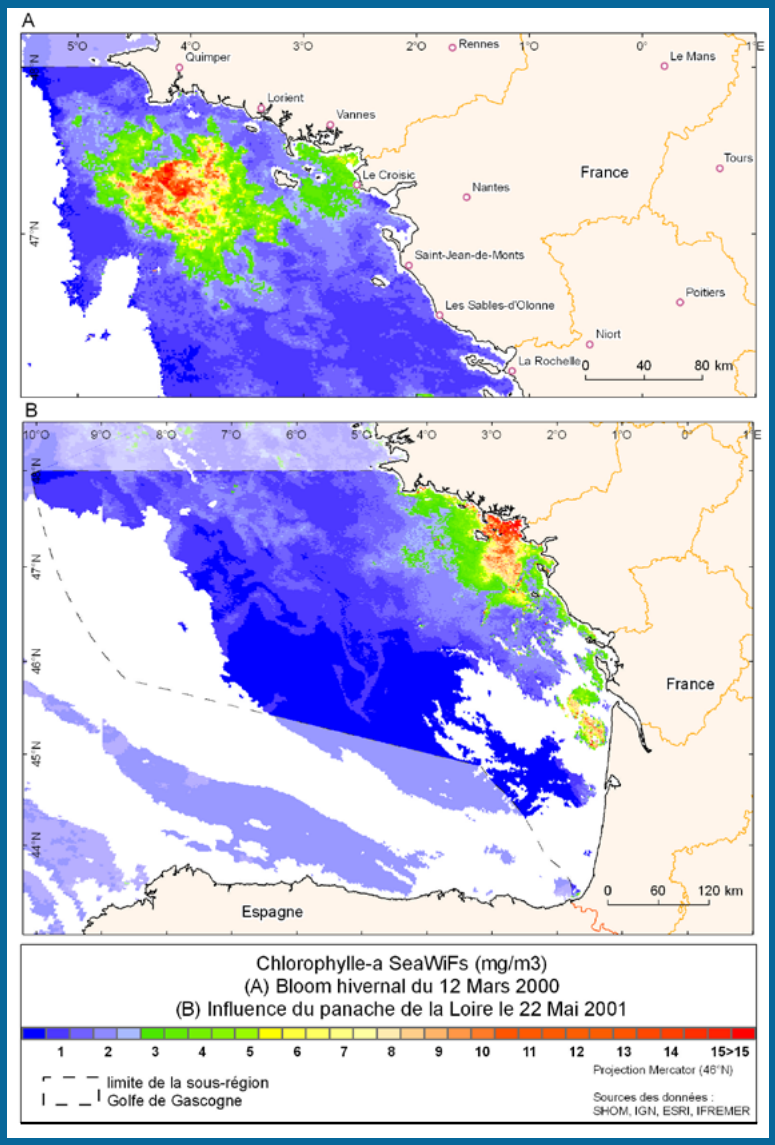

Figure 6 : Efflorescences remarquables dans le panache des fleuves

A) : le 12 mars 2000
(bloom de fin d'hiver)

B) : le 22 mai 2001
(suite à une période de pluies intenses ayant entraîné un fort débit de la Loire, la production de phytoplancton, sous un ensoleillement généreux, se développera très rapidement et fortement dans le panache de la Loire riche en éléments nutritifs)

(Source : Ifremer, 2010).

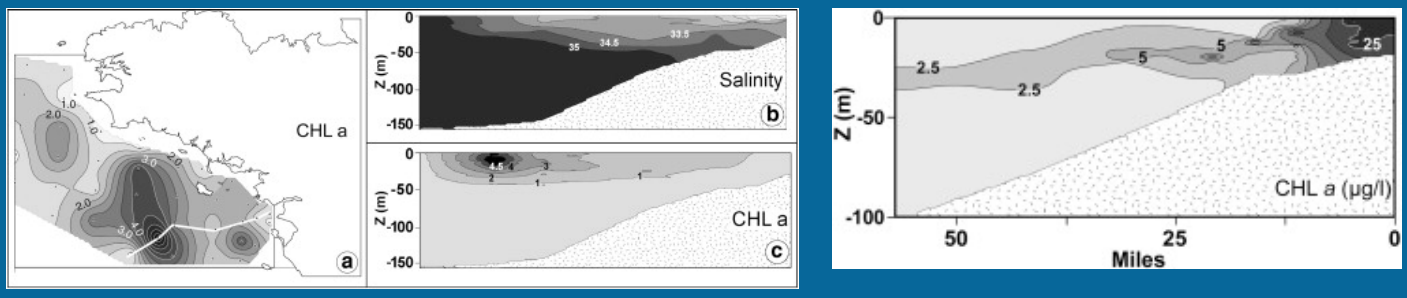

Figure 7 : Profil de chlorophylle le long d'un transect au large de la Loire. (A) en février; (B) en juin 2001.

La figure 7, tirée de [8], permet de comprendre le mécanisme de déclenchement des blooms d'hiver. On constate sur le profil de chlorophylle *a* (figure 7A), le long du transect quittant la Loire, tracé en blanc sur la figure, que la concentration est relativement forte au large, à l'extrémité du panache la plus éloignée de l'estuaire. Cette région est relativement claire pour deux raisons. D'une part, les matières en suspension charriées dans le panache ont en grande partie disparu vers le fond lors de leur déplacement depuis l'estuaire et, d'autre part, les remises en suspension, si communes en hiver, sont moins marquées au large. Dans cette couche homogène et claire, de l'ordre de 20 m, le phytoplancton trouvera, en moyenne sur 24 heures, une quantité suffisante de lumière pour déclencher sa croissance et sa multiplication. L'effet de ces blooms hivernaux peut être suffisamment important pour entraîner une chute à des niveaux très faibles du phosphore et de la silice en surface [11] [12].

La figure 7B montre le profil de chlorophylle en juin sur le même transect au large de la Loire. On constate alors que les concentrations en chlorophylle a sont élevées à la côte et en profondeur, au niveau de la thermocline, les éléments nutritifs étant clairement limitants dans la couche stratifiée de surface, au large de l'estuaire. La répartition verticale du phytoplancton en couche fine en été peut nécessiter l'utilisation de profileurs étagés analysant la masse d'eau de façon détaillée [13].

Les cartes moyennes ainsi que les cycles annuels de la chlorophylle *a* montrent clairement que c'est dans la zone côtière du golfe de Gascogne, et en particulier dans les panaches de la Loire et de la Vilaine, que les niveaux atteints sont les plus élevés. Parmi les stations côtières (figure 3a-e), seule la station de Men Er Roué (a), situé en baie de Quiberon, montre une allure typique de milieu océanique peu influencé par les apports d'une rivière. Le pic de printemps y est bien marqué, ainsi que celui d'automne, mais à un niveau nettement plus bas. Les autres stations montrent une production soutenue durant les mois d'été, particulièrement à Ouest-Loscolo et à la Pointe Saint-Gildas, respectivement en sortie de Vilaine et de Loire.

La zone du talus : Le phytoplancton bénéficie sur le talus des éléments nutritifs remis régulièrement à sa disposition dans la zone euphotique (influencée par la lumière solaire) par la turbulence créée par la marée. Les coccolithophoridés sont les micro-algues emblématiques de cette région [14]. À noter que le pic de présence des coccolithophoridés est plus élevé et décalé par rapport à celui du large (figure 3f et 3g), passant de mai à juin.

Les plus hauts niveaux sont observés au point Ouest-Loscolo (b), suivi de la Pointe Saint Gildas (c), avec des percentiles 90 de la chlorophylle au cours de la saison productive, respectivement de l'ordre de 15 et 10 $\mu g \cdot l^{-1}$. Le premier point est situé dans le panache de la Vilaine et le second dans celui de la Loire. Ces pics ne sont pas aussi élevés qu'en Manche et en mer du Nord, mais du fait de la plus forte stratification estivale (température, ensoleillement et effet plus faible de la marée) les risques d'eutrophisation et d'hypoxie y sont autant, voire plus importants. C'est donc dans le but de suivre le taux d'oxygène en profondeur dans la zone sensible du panache de la Vilaine qu'une bouée instrumentée (MOLIT) a été installée par l'Ifremer.

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

Nous avons signalé en introduction que les eaux les plus côtières, suivant leur profondeur et leur environnement, pouvaient être mal estimées par satellite. C'est en particulier le cas du bassin d'Arcachon. Heureusement, du fait de l'intensité des échanges entre la partie externe de la baie et l'océan, ainsi que d'une arrivée en éléments nutritifs relativement modérée, la zone est peu exposée au risque d'eutrophisation par le phytoplancton [15]. En conséquence, il apparaît nécessaire de continuer à centrer les efforts d'observation sur la zone Vilaine-Loire et sud-Bretagne, particulièrement sensible à l'eutrophisation. La surveillance du développement de la biomasse de phytoplancton devra être accompagnée d'un suivi de la turbidité qui définit le niveau de lumière disponible dans la couche de surface. Cette mesure est aussi indispensable au bon fonctionnement des modèles dans une région largement exposée aux tempêtes d'ouest [16] et donc à des variations importantes de turbidité à la côte. Il faut aussi noter qu'en complément des réseaux de mesure *in situ* conventionnels, comme le REPHY ou le SOMLIT, des observations par satellite et bouées instrumentées, les mesures des campagnes – PELGAS se déroule tous les ans au printemps depuis l'année 2000 –, et celles des ferries peuvent contribuer à bâtir un réseau d'observation opérationnel sur l'ensemble de la région [17].

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] Soudant D., Belin C., 2010. Évaluation DCE janvier 2010. Élément de qualité : phytoplankton. Rapport Ifremer 01 2010 - R.INT.DIR/DYNECO/VIGIES/10-03/DS, 199p.

[4] Puillat I., Lazure P., Jégou A.M., Lampert L., Miller P.I., 2004. Hydrographical variability on the French continental shelf in the Bay of Biscay, during the 1990s'. Continental Shelf Research, 24, 1143–1163.

[5] Kelly-Gerreyn B.A., Hydes D.J., Jegou A.M., Lazure P., Fernand L.J., Puillat I., Garcia-Soto C., 2006. Low salinity intrusions in the western English Channel. *Continental Shelf Research*, 26, 1241-1257.

[6] Lazure P., Jegou A.M., 1998. 3D modelling of seasonal evolution of Loire and Gironde plumes on Biscay Bay continental shelf. *Oceanologica Acta* 21 (2), 165–177.

[7] Loyer S., 2001. Modélisation de la production phytoplanctonique dans la zone côtière atlantique enrichie par les apports fluviaux, Thèse de Doctorat de l'Université de Paris VI, 232 pp.

[8] Guillaud J.F., Aminot A., Delmas D., Gohin F., Lunven M., Labry C., Herbland A., 2008. Trends of riverine nutrient inputs for thirty years in the northern Bay of Biscay, and schemes of marine phytoplankton response, *Journal of Marine Systems*, 72, 309-319.

[9] Artigas F., 1998. Seasonal variability in microplanktonic biomasses in the Gironde dilution plume (Bay of Biscay) : relative importance of bacteria. Oceanologica Acta, 21, 4, 563-580.

[10] Labry C., Herbland A., Delmas D., Laborde P., Lazure P., Froidefond J.M., Jegou A.M., Sautour B., 2001. Initiation of winter phytoplankton blooms within the Gironde plume waters in the Bay of Biscay, *Marine Ecology Progress Series* 212 (2001), 117–130.

[11] Morin P., Le Corre P., Le Marty Y., L'Helguen S., 1991. Spring evolution of nutrients and phytoplankton on the Armorican shelf (North-West European shelf). *Oceanologica Acta* 14 (3), 263–279.

[12] Gohin F., Lampert L., Guillaud J.F., Herbland A., Nézan E., 2003. Satellite and *in situ* observations of a late winter phytoplankton bloom in the northern Bay of Biscay. *Continental Shelf Research*, 23, 1117-1141.

[13] Lunven M., Guillaud J.-F., Youenou A., Crassous M.-P., Berric R., Le Gall E., Kerouel R., Labry C., Aminot A., 2005. Nutrient and phytoplankton distribution in the Loire River plume (Bay of Biscay, France) resolved by a new Fine Scale Sampler. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 65 (1–2), 94–108.

[14] Lampert L., Quéguiner B., Labasque T., Pichon A., Lebreton N., 2002. Spatial variability of phytoplankton composition and biomass on the eastern continental shelf of the Bay of Biscay (north-east Atlantic Ocean). Evidence for a bloom of *Emiliana huxleyi* (Pprymnesiophyceae) in spring 1998, *Continental Shelf Research,* 22, pp. 1225–1247.

[15] Gle C., Del Amo Y., Sautour B., Laborde P., Chardy P., 2008. Variability of nutrients and phytoplankton primary production in a shallow macrotidal coastal ecosystem (Arcachon Bay, France), *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 76 (3), 642-656.

[16] Huret M., Gohin F., Delmas D., Lunven M., 2007. Use of SeaWiFS data for light availability and parameter estimation of a phytoplankton production model of the Bay of Biscay, *Journal of Marine Systems* ; 65 (1-4) 509-531.

[17] Garcia-Soto C., Pingree R.D., 2009. Spring and summer blooms of phytoplankton (SeaWiFS/MODIS) along a ferry line in the Bay of Biscay and western English Channel. *Continental Shelf Research*, 29(8), 1111-1122.