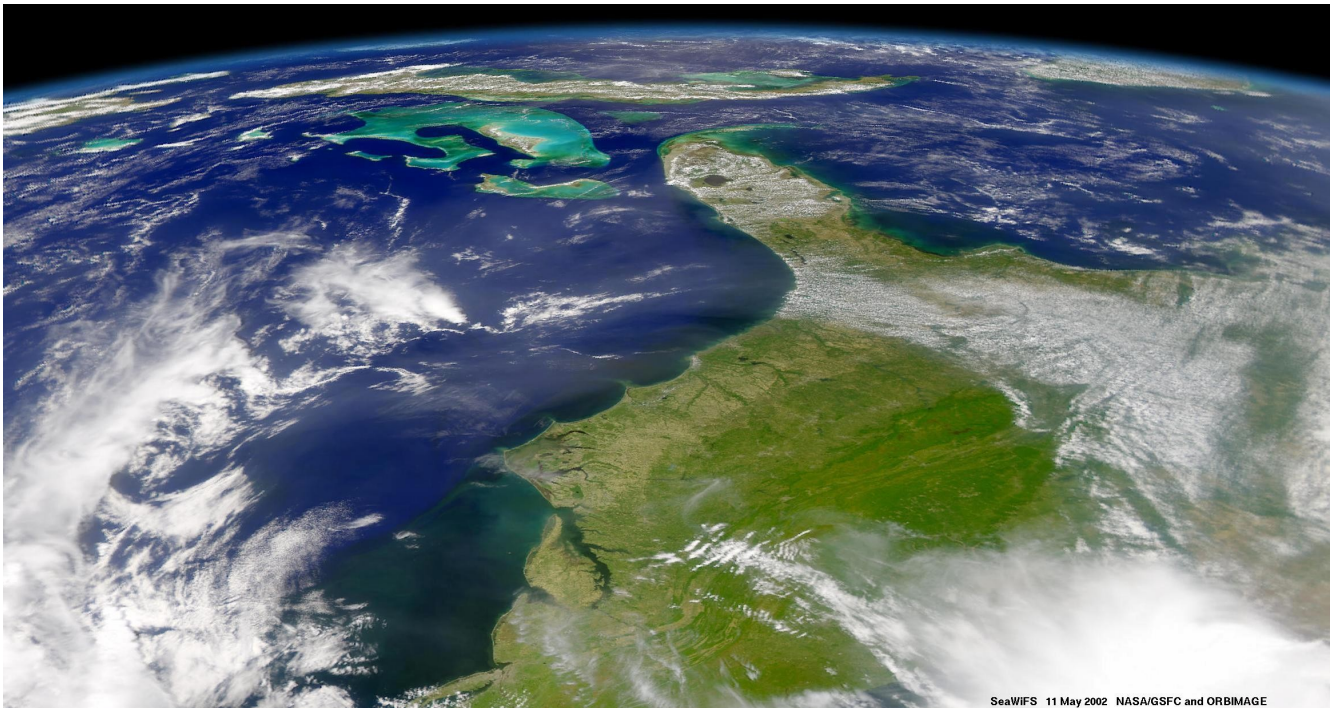


La Floride et les Bahamas vues par le capteur Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (*SeaWiFS*) © NASA/GSFC and Orbimage

Prospective du groupe OCEAN[1] du TOSCA

1. Les défis majeurs de l'océanographie spatiale en 2009

Le simple fait d'utiliser couramment de nos jours l'expression « océanographie spatiale » montre à quel point les observations satellitales sont devenues une pièce maîtresse du dispositif d'étude de l'océan (observation, compréhension, prédiction).

En un peu plus de vingt ans, les observations du niveau de la mer (altimétrie radar), de la température de surface (« SST » par radiométrie infrarouge ou microondes), et de la couleur de l'océan (radiométrie visible, ou « VSR »), pour ne citer que ces trois là, ont littéralement révolutionné notre vision et notre compréhension du fonctionnement de l'océan.

Une grande variété de missions a vu le jour, ce qui a permis d'explorer le potentiel de différentes techniques de mesures, et a également amené la communauté à se poser la question de leurs pertinences respectives, de leur complémentarité éventuelle, et de la nécessité d'en sélectionner certaines pour les faire évoluer vers des moyens d'observation plus opérationnels, en particulier dans le cadre de l'initiative Européenne GMES. La modélisation et les applications opérationnelles sont devenues simultanément de grosses consommatrices de données satellitales, via les techniques d'assimilation qui permettent d'accroître le réalisme et la portée des simulations des modèles de l'océan mondial, qui couplent maintenant physique et biologie. Il y a ainsi une complémentarité entre les satellites qui fournissent les observations synoptiques, sur le long terme et à multi-échelles, et la modélisation qui permet l'extrapolation sur la verticale, la prédiction, et la description des variables non observables depuis l'espace.

La réflexion entretenue dans le cadre de groupes internationaux (GOOS par exemple) a conduit à l'identification de variables essentielles devant être contrôlées en priorité. Les domaines appréhendés relèvent aussi bien de la géophysique (température, salinité, vitesses de surface, vagues, niveau de la

1 Voir composition du groupe en annexe

mer, évolution du trait de côte et de la bathymétrie, ...) que de la chimie (nutriments et oxygène dissous) ou de la biologie (biomasse phytoplanctonique et zooplanctonique, caractéristiques optiques de la colonne d'eau). Des mesures continues et précises par radiométrie UV-VIS-PIR (couleur de l'océan) et IRT (température), altimétrie, diffusiométrie, radar à synthèse d'ouverture définissent un objectif ambitieux mais nécessaire pour la communauté scientifique. La réflexion sur les mesures en domaine côtier depuis l'espace doit également se faire en terme de résolution (en espace, temps et bandes de fréquence).

En outre, nous entrons maintenant dans une nouvelle ère, où certaines de ces observations vont progressivement passer dans le domaine de l'opérationnel (observations de « routine ») alors que d'autres conserveront un aspect plutôt exploratoire à visée scientifique, et que d'autres apparaîtront grâce à de nouvelles techniques de mesure ou à de nouvelles méthodes de traitement des mesures existantes.

Deux échelles spatiales et temporelles extrêmes émergent de l'analyse des besoins actuels: d'une part l'échelle diurne et les échelles de la turbulence océanique (incluant méso- et sub-mésoéchelle), pour une meilleure compréhension des processus physiques et biologiques dans l'océan, et, d'autre part, l'échelle « multi-décennale » et globale pour répondre aux grandes questions liées au changement climatique. L'organisation de ce document reflète cette évolution.

Les problématiques liées aux zones côtières sont abordées dans une première partie. C'est un domaine qui résiste jusqu'alors assez fortement à l'analyse via les données satellitales, en particulier à cause de la forte variabilité spatio-temporelle des processus, face à laquelle les moyens d'observation actuels sont inadaptés. Des difficultés rendent délicate l'interprétation des signaux mesurés à partir de l'espace, à cause de la complexité du milieu et de la juxtaposition des terres émergées et des eaux côtières qui les baignent, chacune avec des propriétés bien particulières vis à vis des rayonnements électromagnétiques concernés ici.

La deuxième partie concerne l'océanographie opérationnelle, concept plutôt récent et en pleine expansion. Les besoins sont ici liés à la disponibilité et à la continuité des observations, sans lesquelles la notion même « d'opérationnalité » devient caduque, mais également à leur résolution temporelle et spatiale. Un défi scientifique majeur est ici de mieux comprendre l'importance des processus à sub-mésoéchelle, leur rôle sur la dynamique hauturière et côtière et leur impact sur la biogéochimie marine (Fig. 1).

La troisième partie traite des changements à long terme de l'océan; les besoins sont liés ici à la nécessité de détecter des tendances dans différents paramètres et d'en analyser les causes (impact des changements climatiques sur l'océan). Il s'agit donc d'assurer la disponibilité d'observations de « qualité climatique » sur le long terme (plusieurs décennies).

2. Les zones côtières: compréhension et suivi.

Le renforcement de l'implantation des populations dans les zones littorales, couplé à une évolution du climat propre à accentuer les événements extrêmes régionaux demandent à la communauté scientifique de contribuer à l'amélioration de la prévisibilité des risques pour les côtes. Ces risques incluent la modification des écosystèmes marins (avec diminution implicite des ressources), les efflorescences de composés organiques nuisibles, l'érosion du littoral, et les inondations et tsunamis aux conséquences souvent dramatiques. L'élévation du niveau des mers peut également amplifier les effets des ondes de tempête sur le domaine côtier.

L'environnement côtier est en outre caractérisé par des fluctuations bio-géo-physiques à haute fréquence (floraisons phytoplanctoniques envahissantes et toxiques, remise en suspension de sédiments, panaches de rivières, lessivages des côtes, fortes marées, etc), et par des frontières hétérogènes et irrégulières (trait de côtes, bathymétrie) (Fig. 2). Le compromis entre résolution spatiale,

temporelle, radiométrique, et spectrale est difficile à déterminer dans ce milieu également complexe en ce qui concerne la propagation des ondes électromagnétiques. Par exemple, les signaux utiles dans le visible et le radar sont généralement pollués par la présence de terres. L'albédo du fond contribue également fortement au signal visible exploité en couleur de l'eau dans les eaux claires à hauts fonds.

Par conséquent, **l'observation satellite du milieu côtier nécessite une résolution spatio-temporelle adaptée, ainsi que des moyens d'observation et de traitement spécifiques.**

La connaissance du fonctionnement du domaine côtier et sa gestion intégrée ont bénéficié de la vision unique apportée par les capteurs satellisés. Les études sur l'évolution de la structure du milieu intertidal, de la géomorphologie côtières, et du trait de côte ont particulièrement bénéficié de la haute résolution spatiale (10 m) offerte par les capteurs comme SPOT, LANDSAT-TM ou ETM+. De tels capteurs ne peuvent en revanche être utilisés pour les études liées à la couleur de l'eau de part leur faible résolution spectrale et leur précision radiométrique insuffisante. L'exploitation du rayonnement visible pour l'étude de la couleur de l'eau en milieux côtier nécessite en effet une bonne discrétisation spectrale, une résolution spatiale moyenne (250/500 m), et une bonne couverture temporelle permettant d'appréhender les processus à haute fréquence typiques de ce milieu et du champ d'application de la VSR. **Des bandes spectrales spécifiques (UV et NIR)**, en plus de celles utilisées pour l'observation de la couleur de l'eau en océan ouvert, doivent être considérées afin de mener à bien les corrections atmosphériques dans le domaine côtier dont les eaux sont généralement turbides et l'atmosphère potentiellement « polluée » par la présence d'aérosols absorbants de diverses origines (urbaines, désertiques). De même, l'observation des milieux coralliens nécessite une haute résolution spectrale combinée à une haute résolution spatiale, combinaison encore inaccessible si ce n'est dans le cadre de missions « exploratoires ».

Dans ce contexte, u**ne mission géostationnaire couleur de l'océan, multi-spectrale (~10-15 bandes) et à « moyenne » résolution spatiale (~300-500 m)**, permettrait d'accéder à un suivi diurne de la couleur de l'océan et de ses produits dérivés. L'intérêt d'une telle mission résiderait également dans la possibilité d'augmenter la couverture spatiale généralement fortement réduite par la présence de nuages.

De plus, que ce soit au niveau visible, thermique, ou radar, les méthodes d'inversion de paramètres géophysiques, et biologiques doivent être adaptées à ce milieux complexe, car siège de nombreuses interactions parmi lesquelles on peut citer l'effet de la réflexion du fond, la contamination des observations marines par les réflexions parasites continentales, la présence de sédiments contribuant largement au signal jusqu'à 900 nm. **Les évolutions de l'océanographie spatiale doivent coïncider avec un travail important sur l'amélioration de la restitution de la quantité géophysique ou biologique à partir de la mesure brute**, par une meilleure prise en compte des corrections à apporter. Ces corrections incluent la déconvolution des effets des matières en suspension et de la structure de la colonne d'air sur la déduction de la couleur de l'eau (pour l'estimation notamment de la production primaire) et, pour les capteurs dans le domaine micro-onde, l'estimation de la contamination des pixels océaniques par les terres adjacentes. **L'exploitation des mesures en polarisation et directionnelles de la filière POLDER** peut apporter beaucoup à ce domaine mais nécessite encore de nombreuses études, en particulier *in situ* (mesures de la polarisation et de la directionalité).

En altimétrie de nombreuses études sont actuellement menées afin d'améliorer la qualité et le nombre des données altimétriques en milieu côtier à partir des données acquises par les altimètres actuels. Il s'agit notamment de corriger les observations du fort signal de marée, de prendre en compte la troposphère humide. La diminution du temps d'intégration (actuellement 1s, soit couverture de 7km) permet d'accroître le nombre de données. Un travail important reste à faire sur la mesure du niveau de la mer en domaine côtier et sur la caractérisation des ondes de surface.

Figure 2. Illustration de l'hétérogénéité spatiale forte du milieu côtier.

3. Océanographie opérationnelle

Avec le lancement de Jason-2 en juin 2008, l'océanographie spatiale opérationnelle a franchi une nouvelle étape qui se concrétise par plus de 15 ans d'observations précises, globales et continues du niveau de la mer, et qui ouvre la voie aux premiers services de base GMES dédiés à l'environnement marin. La France a joué un rôle de tout premier plan dans ce domaine, grâce à la réalisation concertée des missions d'observation indispensables au suivi de l'état océanique et la mise en œuvre par Mercator Océan de systèmes qui assimilent en routine les observations dans les modèles dynamiques (Fig. 3).

L'enjeu est à présent de consolider cette première étape afin de produire une information océanique de la meilleure qualité possible et de répondre non seulement aux besoins sociétaux mais aussi aux besoins toujours plus importants de la communauté scientifique. Parmi les produits attendus pour la recherche, les réanalyses de l'état océanique couvrant les dernières décennies constituent le matériau de base nécessaire à l'étude de la variabilité propre du milieu et à la compréhension des interactions entre l'océan et les autres composantes du système climatique. Ces réanalyses demandent de pouvoir disposer de séries d'observation continues dans le temps et d'une résolution spatiale suffisante pour capturer les structures dynamiques pertinentes de la circulation (dont les tourbillons de moyenne échelle). L'expérience montre que la qualité des produits opérationnels se dégrade rapidement en cas de défaillance même occasionnelle d'un des éléments du système d'observation altimétrique. Il s'agit donc de **réaffirmer le besoin impératif de continuité des missions altimétriques des deux filières de type Jason et ENVISAT qui sont très complémentaires en terme d'échantillonnage spatio-temporel**. L'éventuel emport d'altimètres sur la **future constellation Iridium** (renouvellement de la constellation dédiée aux télécommunications, avec emport de charges utiles scientifiques) est également à examiner sérieusement, car ceci pourrait fournir une **densité d'observation et une régularité de service inégalées**, en complément aux missions dédiées et de référence.

L'altimétrie a besoin d'une **orbitographie précise**, ce qui souligne l'importance du système **DORIS**, également utile pour le maintien d'un référentiel géodésique de qualité, en combinaison avec **GPS** et bientôt **Galileo**. Dans ce cadre, les missions gravimétriques (**GOCE et GRACE, et les missions proposées pour les suivre, telle GRACE-FO**) apportent aussi une contribution essentielle.

L'extension du périmètre de l'océanographie opérationnelle aux propriétés biogéochimiques et des écosystèmes marins envisagée à l'issue du programme GODAE nécessitera le renforcement de la composante d'observation spatiale de « couleur de l'eau », **notamment par le développement de nouvelles missions en orbite géostationnaire**. Celles-ci permettront une couverture journalière quasi complète des zones observées, ce qui représente un saut considérable par rapport à la couverture fournie actuellement par les missions en orbite basse.

L'extension des systèmes opérationnels au domaine côtier nécessitera par ailleurs une adaptation des mesures altimétriques aux échelles plus fines et à plus haute fréquence qui caractérisent le continuum côte/large. Dans ce contexte, **la future mission d'altimétrie interférométrique SWOT représente une réelle opportunité,** compte tenu du rôle de condition limite « active » jouée par l'océan côtier vis-à-vis de la circulation du large. Là encore, les observations à partir de l'orbite géostationnaire sont fondamentales.

Les produits d'océanographie opérationnelle ont également vocation à améliorer la représentation du couplage océan/atmosphère et des couches limites à l'interface des milieux fluides, notamment pour les applications qui nécessitent la caractérisation de l'état de mer et l'initialisation de la composante océanique pour les prévisions climatiques saisonnières. Parallèlement aux missions altimétriques nécessaires à l'identification de l'état océanique initial dans les régions tropicales, l'**accès aux observables qui reflètent la signature des flux air-mer comme la température et la salinité de**

surface est également nécessaire pour ce type d'application opérationnelle. Le **spectre directionnel des vagues tel qu'il sera fourni par l'instrument SWIM sur la mission CFOSAT (ex SWIMSAT)** constitue également une avancée majeure.

Une des finalités sera de pouvoir déployer des outils intégrateurs permettant d'améliorer la quantification des flux qui participent au cycle du carbone ainsi que leur suivi systématique. Un autre objectif sera d'estimer en routine la biomasse végétale qui constitue le premier maillon de la chaîne trophique dans la perspective d'applications à la gestion des ressources vivantes du milieu marin.

L'élargissement de la gamme de « variables essentielles » envisagée comme produits des systèmes opérationnels en développement, ainsi que le raffinement des échelles spatio-temporelles à résoudre, induisent de nouveaux défis scientifiques pour l'assimilation de données, comme la prise en compte de non-linéarités, le couplage entre modèles ou encore le gigantisme des problèmes numériques à traiter. La valorisation optimale des observations acquises par la voie opérationnelle impose donc de **maintenir les compétences en modélisation et en assimilation de données au meilleur standard international** et d'intégrer ce besoin dans la stratégie globale de pérennisation de l'océanographie opérationnelle.

Figure 3. Exemple de prévisions océaniques (Mercator-Océan).

4. Changements à long terme du fonctionnement de l'océan

Le défi le plus difficile à relever est sans doute celui de la détection et de la compréhension des changements à long terme de l'océan. Il s'agit ici des changements aussi bien de la physique des océans (niveau de la mer, température, circulation, glaces de mer) que de l'activité biologique qui s'y développe (phytoplancton et niveau trophiques successifs).

En effet, même si les changements induits par les activités humaines sont rapides (~1 siècle) en comparaison des variations climatiques naturelles (millénaires), leurs échelles temporelles de variation sont au contraire longues comparées à la durée des archives satellitales dont dispose la communauté scientifique. Celles-ci couvrent au mieux quelques décennies, une des plus longues étant celle de la température de surface de l'océan (série homogène et surtout ininterrompue depuis ~1980). Des séries de données couvrant quasiment un siècle existent (marégraphes par exemple), mais ne sont bien sûr pas globales. La séparation des changements climatiques naturels des effets anthropiques reste donc difficile.

Un des résultats les plus marquants et les plus « populaires » dans ce domaine montre l'accroissement du niveau des mers depuis les années 1990 obtenu par les mesures altimétriques des capteurs ERS, JASON et Topex/Poséidon. L'évolution de la SST et de la biomasse phytoplanctonique a plus récemment fait l'objet d'études similaires (Fig. 4). Ces études caractérisent principalement les oscillations de l'océan à des échelles de la décennie (« North Atlantic Oscillation », « Pacific Decadal Oscillation » par exemple), mais sont encore insuffisantes pour observer des changements sur des périodes plus longues, et ainsi séparer les changements d'origine anthropique de la variabilité naturelle. Ces études ont également montré que l'apport des mesures satellitaires était essentiel pour caractériser l'hétérogénéité spatiale avec laquelle l'évolution basse fréquence de l'océan pouvait se manifester selon les différentes régions océaniques.

La première nécessité est donc d'assurer la continuité des observations, visant la création d'archives multi-décennales. En ce qui concerne l'altimétrie, la température de surface (SST) et la radiométrie visible (VSR ou « couleur de l'océan »), le panorama Français et international semble assez favorable, mais la communauté océanographique insiste néanmoins sur **l'absolue nécessité de garantir la pleine réalisation des projets dont le développement est actuellement ou bien décidé ou en cours, à savoir les missions Jason-3 pour l'altimétrie, et Sentinel-3 pour l'altimétrie (après Altika-**

Saral), la SST et la VSR. Là encore, l'intérêt d'emport de charges utiles altimétrie et couleur sur la **future constellation iridium** est à examiner. Il faut noter ici que le concept de **constellation virtuelle** (au sens défini par le CEOS) est également à soutenir, comme le creuset où la collaboration entre agences peut se développer et fournir à la communauté scientifique la meilleure couverture possible de l'océan mondial.

En parallèle à la continuité des observations, les besoins sont également liés ici à **l'étalonnage de chacune des missions concernées et à l'inter-étalonnage des missions entre elles**. Les exigences de ces opérations complexes sont encore plus aiguës quand on désire les maintenir pour plusieurs décennies. C'est seulement à ce prix que les changements dus aux activités humaines (tendances moyennes sur plusieurs décennies) peuvent être quantifiés de façon rigoureuse au sein de signaux en général caractérisés par de fortes oscillations naturelles. La difficulté vient ici de la nécessité de combiner les données de missions contemporaines ou successives, tâche devenant particulièrement ardue quand ces dernières n'ont pas de recouvrement temporel. Enfin, les exigences sont aussi liées aux possibilités de fusion des données de plusieurs missions, et aux possibilités d'analyse globales et décennales. Il reste énormément à faire dans ces domaines pour arriver à des analyses fiables et incontestées.

Ces exigences pourront être satisfaites si des moyens d'accompagnement correctement dimensionnés sont mis en place en parallèle aux moyens spatiaux. Ceci inclut des **sites d'étalonnage de référence maintenus pendant la vie des missions et au delà**, afin d'assurer des points d'ancrage pour les observations satellite, et de servir éventuellement à connecter entre elles des missions sans recouvrement temporel. Ces sites doivent couvrir la gamme complète de la variabilité des paramètres concernés (plusieurs sites étant donc en général nécessaires dans différents environnements). En outre, il n'y a pas d'analyse décennale fiable sans de multiples retraitements de longues séries de données. **Les moyens de traitement doivent donc être dimensionnés en conséquence**. C'est, enfin, un truisme de dire qu'il faut des données pour pouvoir les traiter. Des politiques de distribution de données peu adaptées peuvent en fait empêcher la réalisation de ces analyses globales et décennales. Il est donc nécessaire **que les politiques de distribution des données évoluent toutes dans le sens d'une libéralisation totale**, avec distribution gratuite, ouverte et évidemment adossée aux moyens techniques nécessaires à la réalisation de cette politique. Une des solutions possibles pour réaliser ces trois objectifs (étalonnage pérenne, moyens de traitement et disponibilité des données) est la création des pôles thématiques.

Ces pôles existent pour les thématiques atmosphère et surfaces continentales, et d'une certaine manière pour l'océanographie physique autour de SALP, Mercator et Coriolis. La création d'un pôle thématique autour de la couleur de l'océan complèterait ce dispositif de manière opportune.

L'efficacité de ces moyens et leur **pérennisation** passent sans doute aussi par leur **internationalisation**. La communauté OCEAN recommande donc que les agences Françaises prennent en compte cette dimension. Les pôles thématiques sont certainement le creuset approprié pour développer les collaborations indispensables.

Figure 4. trois exemples de résultats liés aux changements à long terme (SST, SSH, VSR).

5. Synthèse et recommandations

Les observations décrites dans les trois sections précédentes devront contribuer à une meilleure compréhension du fonctionnement de l'océan, en particulier en complétant les dispositifs d'observation actuels aux deux « extrêmes » de la gamme d'échelles spatio-temporelles pertinentes (petite échelle spatiale et variabilité diurne et journalière d'une part, et échelle globale et multi-décennale d'autre part). Il est certain que les observations à partir de l'orbite géostationnaire, outre leur apport immédiat pour

l'océanographie opérationnelle, révolutionneront notre vision du fonctionnement de l'océan, de manière similaire à l'arrivée des observations satellitales en orbite basse au début des années 1980. L'accroissement de la durée des séries « de qualité climatique » permettra à terme de lever les ambiguïtés sur l'interprétation des changements observés jusqu'alors.

Pour continuer à progresser dans cette compréhension, il est également nécessaire de renforcer ce dispositif en préparant des missions plus exploratoires et utilisant des techniques de mesure avancées ou améliorant des concepts existants, via lesquelles la communauté cherche à acquérir de nouveaux paramètres ou a obtenir des paramètres déjà acquis mais avec une meilleure précision (radiométrique, spatiale, spectrale...). Ceci est abordé dans les recommandations fournies ci-après.

En résumé, la communauté océanographique s'exprimant au travers du groupe OCEAN du TOSCA recommande donc, par ordre de priorité décroissante:

En ce qui concerne les missions satellite:

Déjà planifiées:

Que les missions JASON-3 et SENTINEL-3 soient pleinement réalisées et que leurs segments sols soient correctement dimensionnés, afin de stabiliser progressivement les systèmes opérationnels et de fournir les séries temporelles avec la qualité requise pour l'analyse de la variabilité climatique (altimétrie, couleur et SST). Que les partenariats adéquats soient établis avec les autres agences spatiales (Inde et Chine en particulier) afin d'assurer la fourniture de données pour ces paramètres en cas de défaillance, toujours possible, d'une mission planifiée au niveau Européen.

Faisables d'ici ~2016:

1. Qu'une mission couleur de l'océan en orbite géostationnaire soit effectivement mise en chantier. La faisabilité technique d'une telle mission est maintenant démontrée et permet d'envisager une phase A dès 2010. La communauté océanographique est fortement engagée dans les études préparatoires (proposition de mission OCAPI).
2. Que l'évaluation des potentialités offertes par le renouvellement de la constellation iridium pour l'océanographie soit poursuivie (emport de capteurs pour l'altimétrie et la couleur de l'océan). Il y a là une occasion unique que la communauté océanographique a jusqu'alors sans doute sous estimée.
3. Que le concept de constellation virtuelle développé par le CEOS se concrétise.

Envisageables entre ~2016 et ~2020:

1. Que le développement de la mission SWOT, actuellement en phase A et utile en particulier pour les besoins de l'océanographie opérationnelle, soit poursuivi afin de lever les points techniques critiques encore non résolus.
2. Que des études R&T se poursuivent sur la définition de la résolution spectrale la plus adaptée pour une étude intégrée du milieu côtier.

A examiner pour faisabilité après ~2020:

1. Que des études R&T soient menées pour examiner la faisabilité de la mission SWORD (diffusiométrie Doppler à large fauchée).

Par ailleurs, le groupe OCEAN du TOSCA prend acte de la sélection faite par l'ESAC pour les « core missions » du programme « Earth Explorers », et souligne l'intérêt pour l'océanographie des mesures de

l'épaisseur des glaces que fournirait la mission COREH2O. S'il est démontré que la mission BIOMASS peut fournir une contribution à la cartographie de la salinité de surface des océans (objectif secondaire de cette mission dédiée à la biomasse terrestre), alors elle peut devenir intéressante pour l'océanographie.

En ce qui concerne les moyens d'accompagnement (avenir immédiat):

1. Qu'un effort très significatif soit fait pour les moyens d'accompagnement des missions, afin d'en exploiter réellement tout le potentiel. Ceci inclut des sites d'étalonnage permanents, une capacité de retraitement de grands volumes de données, et des politiques de distribution et d'accès aux données aussi libérales que possible. Les moyens humains nécessaires doivent également être mieux planifiés par les agences spatiales et les organismes de recherche.
2. Qu'un « pôle couleur de l'océan » soit mis en place sur le modèle des pôles « aérosols et rayonnement » et « terres émergées » afin de structurer et d'optimiser les moyens déjà déployés et à venir dans ce domaine.
3. Qu'un « ARGO biogéochimique », complémentaire aux observations spatiales (validation, assimilation, comblement zones inobservables) soit développé.

En ce qui concerne le soutien à la recherche (avenir immédiat):

Il est également indispensable d'exploiter plus avant les capacités des systèmes existants et qui fournissent des données de qualité.

Dans cette logique, la communauté océanographique considère qu'il est important, en parallèle à la poursuite de l'étude de la mission SWOT (actuellement en phase A) et au démarrage d'une phase A pour une mission couleur de l'océan à partir de l'orbite géostationnaire :

- **de s'assurer de la bonne marche de la mission CFOSAT** (lancement 2013) qui doit fournir des mesures du **spectre directionnel des vagues** grâce à l'instrument SWIM. C'est un paramètre inaccessible jusqu'alors par l'observation satellite, et qui permettra de mieux représenter et prédire l'état de la mer, améliorant ainsi la compréhension et la modélisation de l'effet des vagues dans les échanges à l'interface air-mer.
- de poursuivre les efforts visant la **détermination de la salinité des eaux de surface** à partir des observations du capteur SMOS, tout en préparant les améliorations techniques et algorithmiques qui permettront de poursuivre l'enregistrement de ce paramètre fondamental pour l'océanographie, en cas de succès de la mission SMOS.
- de favoriser l'émergence des techniques permettant d'aller **au delà de la détermination de la concentration en chlorophylle à partir des observations de la couleur de l'océan** (groupes phytoplanctoniques, distribution de taille des particules, substances dissoutes...)
- de soutenir l'exploitation des données existantes et futures (Cryosat2) sur les **glaces de mer**, qui sont un indicateur très sensible des changements climatiques.
- D'encourager l'exploitation des **mesures en polarisation et directionnelles** de la filière POLDER pour l'océanographie. Très peu d'études ont été menées dans ce domaine prometteur.
- De synthétiser les études R&T déjà réalisées sur le concept de capteur **hyperspectral à haute résolution spatiale** pour l'étude du milieu côtier.
- Dans l'ensemble de ces domaines, il est de plus en plus nécessaire de **déterminer l'incertitude associée aux différents paramètres dérivés des observations satellite**, que ce soit pour leur assimilation dans les modèles, pour la fusion des données de différentes missions, ou encore pour l'analyse des tendances temporelles.

Acronymes, abréviations:

CEOS	Committee for Earth Observations
CFOSAT	China-France Oceanography Satellite
Cryosat	ESA's ice mission
CZCS	Coastal Zone Color Scanner
ENVISAT	Environmental Satellite
ESA	European Space Agency
ESAC	ESA's Earth Science Advisory Committee
ETM+	Landsat Enhanced Thematic Mapper Plus
GMES	Global Monitoring for Environment and Security
GOCE	ESA's Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer
GOOS	Global Ocean Observing System
GPS	Global Positioning System
GRACE	NASA's Gravity Recovery and Climate Experiment
GRACE-FO	GRACE Follow-on
GSFC	Goddard Space Flight Center
IRT	Infrarouge thermique (> 1 μm)
Jason-3	Jason-2 follow-on mission (CNES, EUMETSAT, NOAA).
NASA	National Aeronautics and Space Administration
OCAPI	Ocean Color Advanced Permanent Imager
PIR	Proche infrarouge (700 nm – 1 μm)
R&T	Recherche et Technologie
SALP	Service d'Altimétrie et Localisation Précise
SeaWiFS	Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor
Sentinel-3	ESA's GMES mission
SST	Sea surface temperature
SWIM	Surface Waves Investigation and Monitoring
SWORD	Large SWath Ocean Radar and Doppler measurements
SWOT	Surface Waters Ocean Topography
UV	Ultra violet (250-400 nm)
VIS	visible (400-700 nm)
VSR	Visible spectral radiometry

Composition du groupe OCEAN du TOSCA

David Antoine	CNRS-LOV, Villefranche sur mer, *Président*
Florence Birol	Univ. Paul Sabatier-LEGOS, Toulouse
Bruno Blanke	CNRS-LPO, Brest
Pierre Brasseur	CNRS-LEGI, Grenoble
Eric Dombrowski	MERCATOR, Toulouse
Nathalie Lefèvre	CNRS-LOCEAN, Paris
Marine Lévy	CNRS-LOCEAN, Paris
Hubert Loisel	Univ. Littoral-LOG, Wimereux
Secrétariat CNES	Eric Thouvenot, Responsable thématique océan et cryosphère

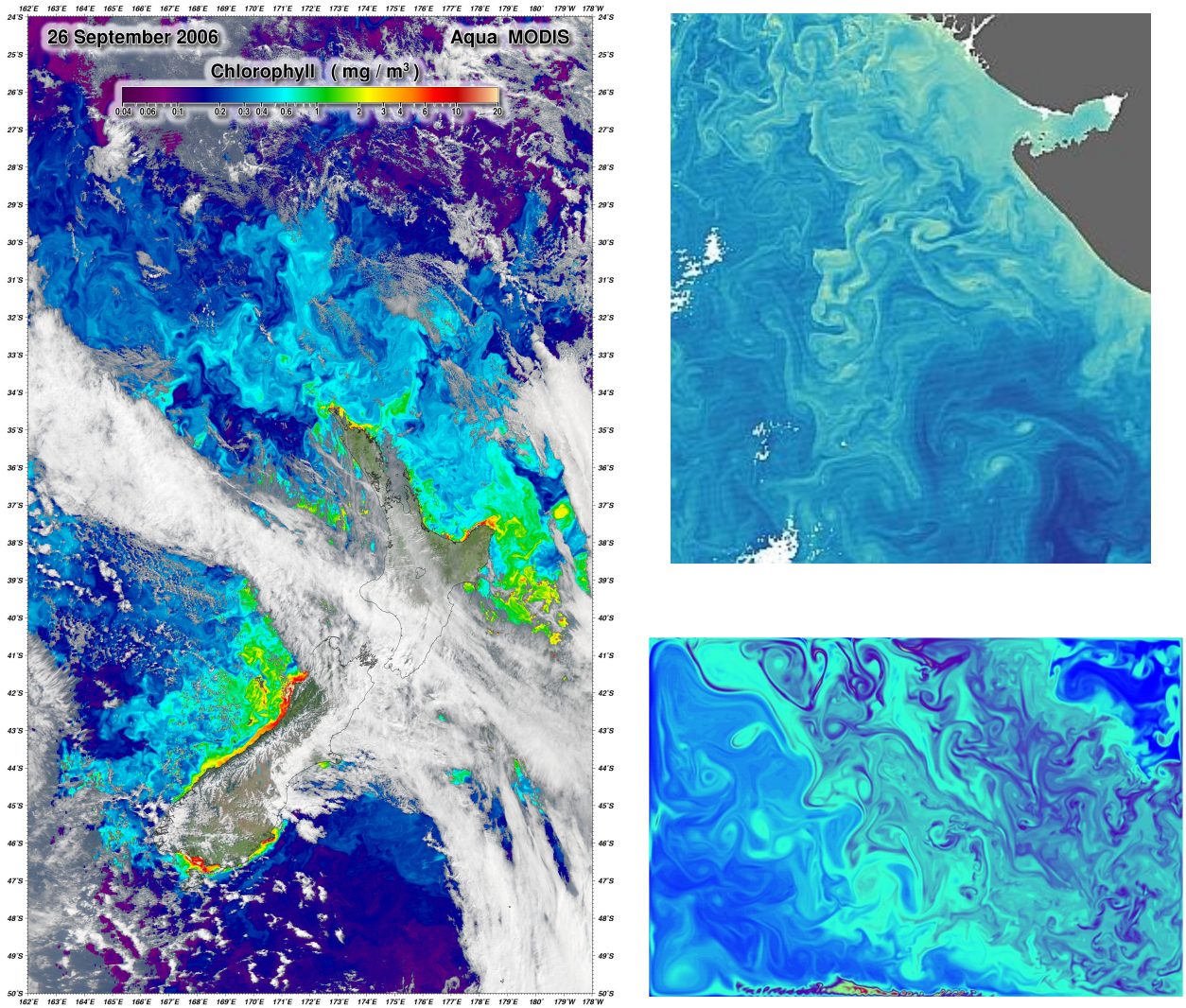


Figure 1. A gauche et en haut à droite: images « couleur de l'océan » (source NASA SeaWiFS-MODIS) montrant la complexité des structures horizontales des champs de chlorophylle, image fidèle de la variabilité physique à (sub)méso-échelle. En bas à droite : le même type de champ, mais obtenu à partir de modélisations couplées physique-biologie à haute résolution spatiale (source: M. Lévy, LOCEAN-IPSL, et K. Takahashi, ESC). Les circulations secondaires associées à ces structures génèrent un « labourage » de l'océan, permettant aux éléments nutritifs présents dans les eaux sub-superficielles d'atteindre les couches éclairées de l'océan, stimulant ainsi la photosynthèse et la fixation du carbone par le phytoplancton. Il s'agit d'un phénomène dont l'importance dans les bilans régionaux et globaux de carbone est connue mais encore mal quantifiée. L'assimilation de données à haute fréquence temporelle dans ce type de modèle est un défi pour la communauté océanographique.

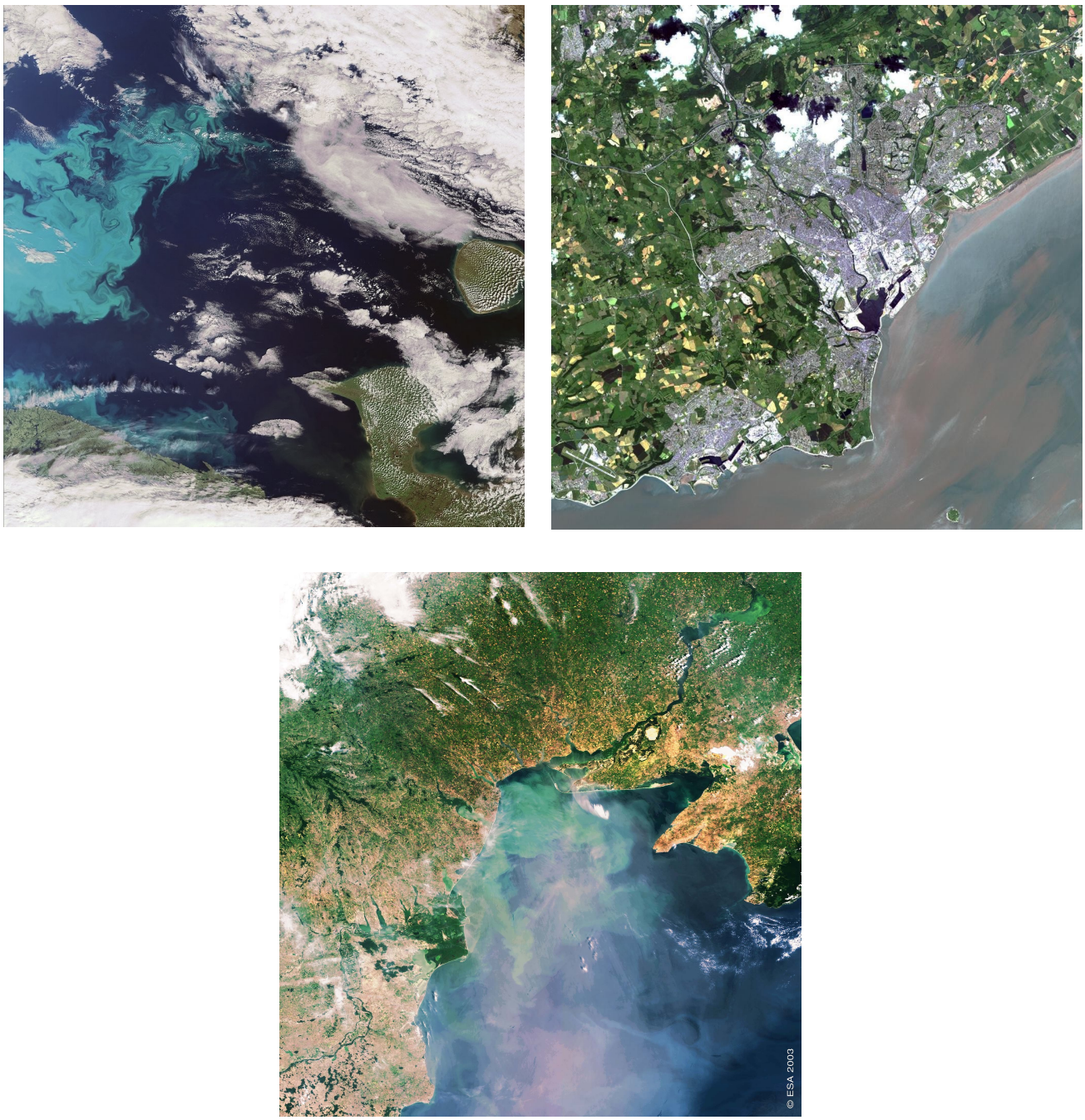


Figure 2. Illustrations de la forte variabilité spatiale du milieu côtier. Ce qui ne peut être illustré ici est également la forte variabilité temporelle des processus (échelle horaire). De haut en bas et de gauche à droite: floraison d'algues unicellulaires à test calcaires (« coccolithophorides ») en mer de Barents (image ENVISAT-MERIS / ©ESA), juxtaposition des terres émergées et des eaux côtières riches en sédiments (région de Cardiff; image ALOS-AVNIR2 / ©ESA), et panache turbide du delta du Danube en mer Noire (image ENVISAT-MERIS / ©ESA).

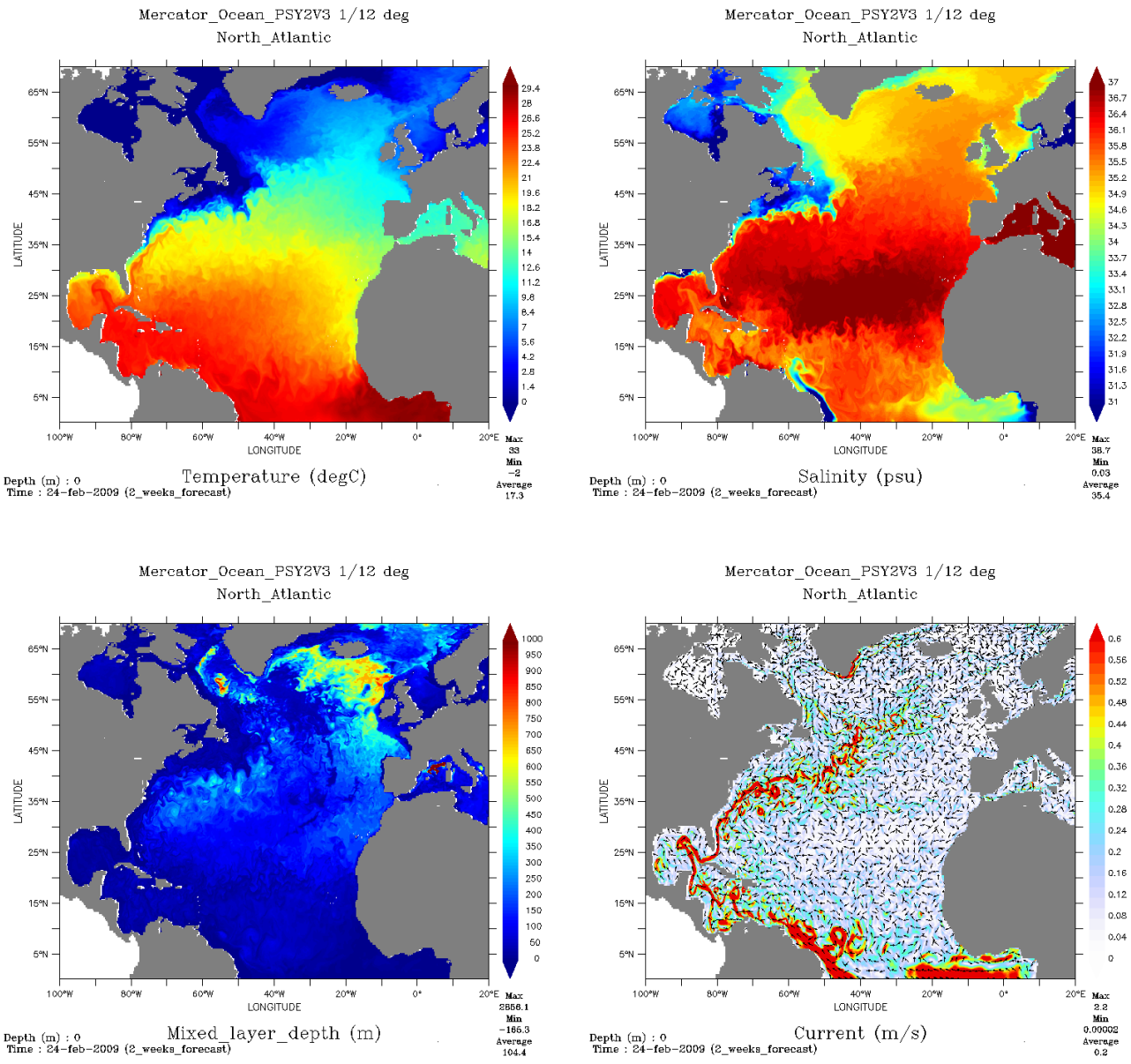
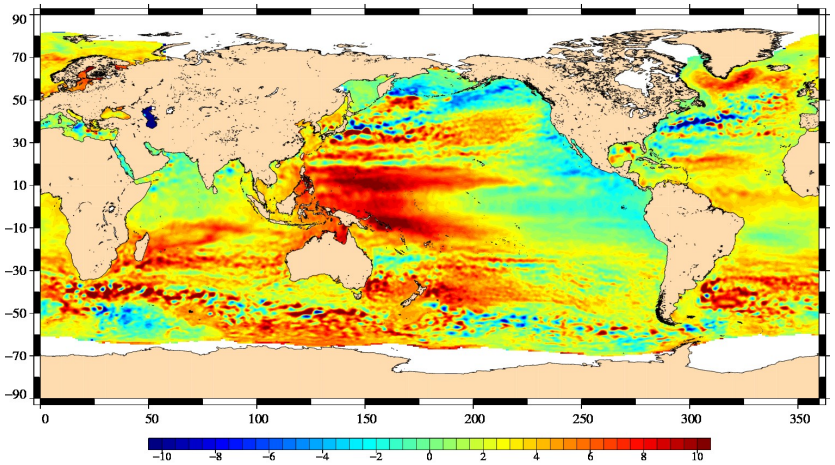
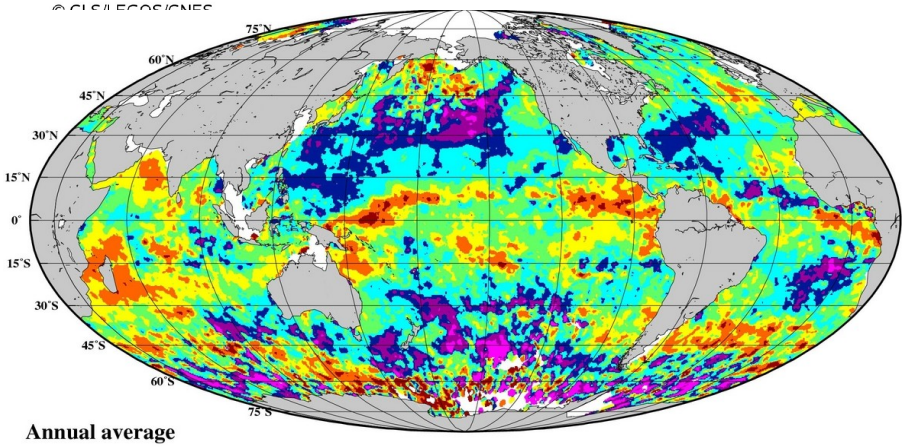
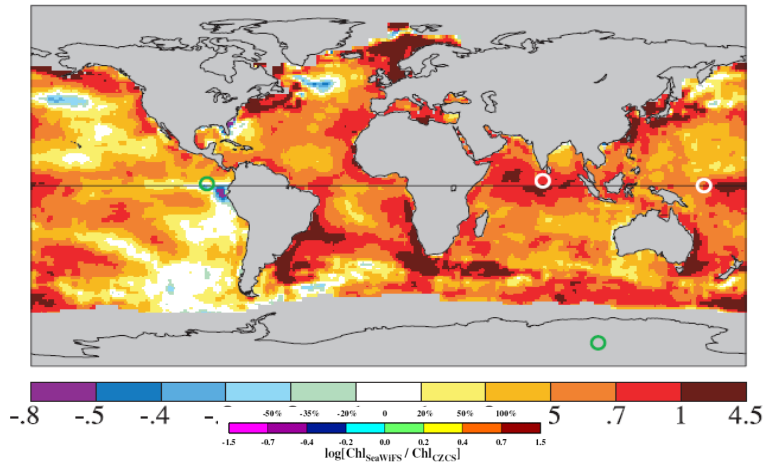


Figure 3. Prévisions océaniques au 1/12ème de degré réalisées par MERCATOR océan (bulletin publié le 11 février 2009). De haut en bas et de gauche à droite: température et salinité de surface, profondeur de la couche mélangée, et vitesse du courant à la surface. Ces prévisions sont réalisées avec assimilation de données satellitales de la hauteur de la mer, de la température de surface. Source: MERCATOR océan.





© AGU, 2005, Antoine et al., JGR Oceans, VOL. 110, C06009, doi:10.1029/2004JC002620



© PNAS, 2006, Hansen et al., 2006, Proc. Nat. Acad. Sci., 103(39), doi10.1073/pnas.0606291103

Figure 4. Evolution du niveau moyen des océans (en haut; période Octobre 1992 – Mars 2008, en mm/an; observations altimétriques des missions ERS2, Topex Poseidon, Envisat et Jason), de la biomasse phytoplanctonique (au milieu, période 1980 – 2002, logarithme du rapport des concentrations entre les deux périodes; missions CZCS et SeaWiFS), et de la température de surface des océans (en bas; période 1870-1900 à 2001-2005, degrés C).