

Prévoir l'océan comme on prévoit le temps

Nous avons l'habitude de nous informer du temps qu'il fait, en prenant connaissance chaque matin d'un bulletin météorologique. Désormais, chacun de nous est également en mesure de savoir « l'océan qu'il a fait », « l'océan qu'il fait » et « l'océan qu'il fera » demain : c'est ce que permet l'océanographie opérationnelle. Les avancées technologiques en matière d'observation satellitaire, de mesures en mer autonomes et de calcul scientifique, combinées au développement de modèles mathématiques complexes et de techniques d'assimilation ont en effet donné naissance il y a une quinzaine d'années à cette nouvelle composante de l'océanographie. On peut désormais reproduire, analyser et prévoir de façon opérationnelle l'état physique et biogéochimique de l'océan en tout endroit du globe et à toute profondeur : par exemple la vitesse et la direction des courants océaniques, la température et la salinité, la hauteur de mer, la concentration, l'épaisseur et la dérive de glace, la couleur de l'eau, la concentration en chlorophylle et en nutriments. Chacun peut donc ainsi, dans le même mouvement, connaître par exemple l'évolution de la salinité dans les eaux profondes du Pacifique sud pour la semaine à venir, et apprécier les variations de la couverture de glace en Arctique au cours des dix années passées. L'océanographie opérationnelle marie des outils et méthodes issus de la recherche et de l'informatique industrielle pour produire une information numérique sur l'océan, qualifiée scientifiquement et accessible à tous.

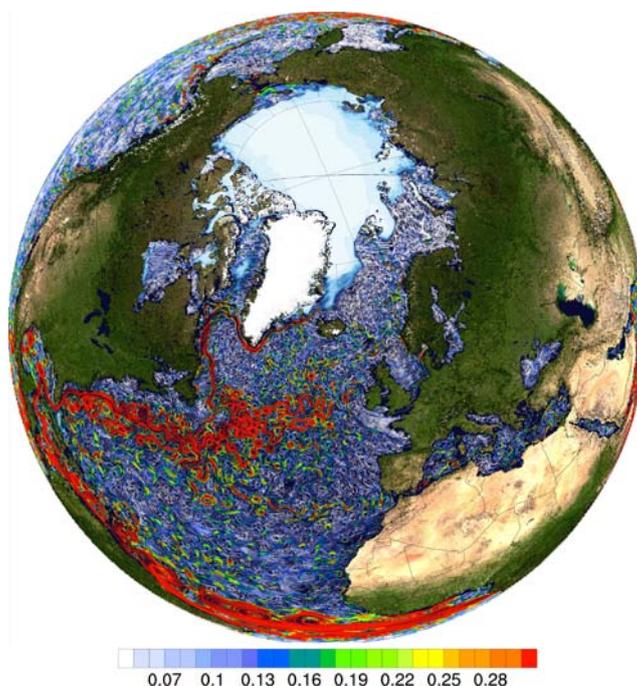


Figure 1. Courants océaniques (m/s) et couverture de glace sur le globe, modélisés à une résolution du $1/12^\circ$ permettant de représenter la turbulence méso-échelle, par le système opérationnel de prévision de Mercator Océan (www.mercator-ocean.fr).

Pourquoi et pour qui décrire l'océan ?

L'océan joue un rôle important dans l'équilibre du climat de notre planète, de l'environnement de nos rivages, mais aussi dans celui de notre économie mondiale. Les domaines d'application de l'océanographie opérationnelle répondent de façon naturelle à ces grands enjeux climatiques, écologiques et socio-économiques : la connaissance de l'état des courants est, par exemple, nécessaire à la surveillance maritime, à la lutte contre la pollution et aux opérations en mer de toutes sortes (navigation, recherche océanographique, sécurité des biens et des personnes, activités off-shore...); la connaissance de la température, de la salinité et de la concentration en nutriments contribue à la protection et à une exploitation raisonnée des ressources marines au large, ainsi qu'à la protection et la gestion de l'environnement marin côtier et littoral; le suivi temporel cohérent de l'ensemble des variables océaniques, y compris de la glace de mer, est utilisé par les experts qui étudient l'évolution du climat et ses impacts. Dans chacun de ces domaines, les usages peuvent prendre des formes très différentes : une prise d'information rapide d'un non-expert souhaitant disposer d'une vue générale, ou la plongée dans des téraoctets de données brutes de chercheurs trouvant ici une matière première pour leurs propres investigations. La recherche est l'un des grands bénéficiaires de l'océanographie opérationnelle qui génère à son profit les jeux de données et les simulations numériques de très grande dimension que l'océanographie moderne exige aujourd'hui.

Indispensables infrastructures : des satellites, des mesures en mer et des supercalculateurs

L'océanographie opérationnelle a pris sa dimension moderne dans les années 1990, quand les satellites d'observation de la terre ont donné accès à une mesure fiable et en temps réel des variables océaniques de surface (avec les satellites d'altimétrie *Topex/Poseidon* et *Jason*, qui mesurent la topographie de surface de la mer), quand les réseaux de mesures en mer ont intégré des instruments autonomes capables de transmettre leurs informations à terre dans des délais très courts (c'est le cas du réseau Argo constitué d'une flottille de 3 000 profileurs autonomes sondant les océans de la surface jusqu'à 2 000 m), et quand les infrastructures informatiques de grande capacité sont devenues accessibles aux ingénieurs et chercheurs en océanographie – qui manipulent des jeux de données et des systèmes logiciels de très grande dimension. À la conjonction de ces trois facteurs, il faut rajouter la maturité scientifique des techniques de traitement de données, de modélisation et d'assimilation au sein de la communauté recherche, et des initiatives très structurantes prises au niveau des organisations pour expliquer la rapidité de développement de l'océanographie opérationnelle.

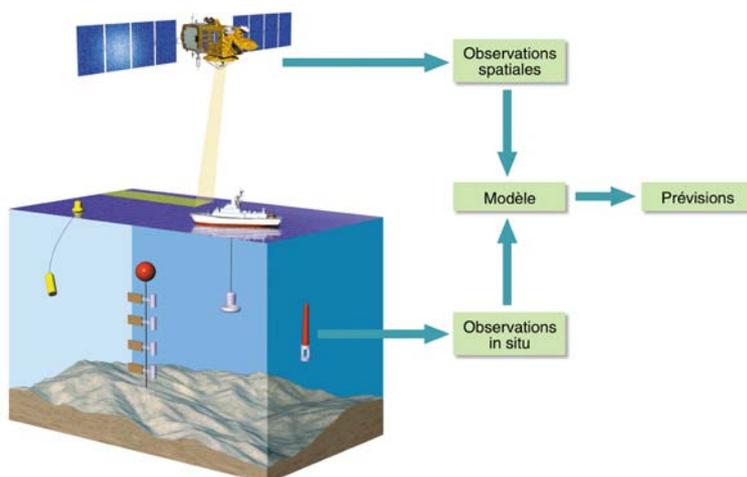


Figure 2. L'océanographie opérationnelle dans sa forme moderne se base sur l'assimilation dans des modèles tridimensionnels des observations mesurées en mer et mesurées par satellite, pour proposer une représentation cohérente dans l'espace et dans le temps de variables décrivant l'océan physique et biogéochimique.

Des scientifiques au cœur des Centres d'océanographie opérationnelle

Il existe aujourd'hui quelques dizaines de « centres d'océanographie opérationnelle » dans le monde, capables d'assurer un service d'analyse et prévision de l'océan, basés sur la combinaison d'informations issues d'observations et de modèles numériques. Mais parmi eux, moins d'une demi-douzaine maîtrisent des systèmes de couverture mondiale. Les deux innovations les plus marquantes de cette décennie sont probablement le temps réel et l'assimilation de données. Ces équipes ont réussi à raccourcir et fiabiliser tous les délais de traitement des informations pour être capables de décrire en temps réel l'état de l'océan, et rapprocher ainsi cet océan numérique de la réalité du quotidien. L'assimilation de données, qui désigne ces techniques mathématiques complexes liant les modèles numériques (qui ont pour atout de proposer une description cohérente dans l'espace et dans le temps) aux observations (qui apportent la réalité des mesures), a permis à l'océanographie d'élaborer une description de l'océan de grande qualité, apportant une valeur ajoutée certaine aux observations prises individuellement. Au niveau international, un effort important a été mené pour établir des standards de qualité de niveau scientifique pour les produits de l'océanographie opérationnelle. Pour les centres d'océanographie opérationnelle, les grands enjeux se situent dans l'amélioration et l'enrichissement permanents des informations produites, par exemple aujourd'hui en biogéochimie, mais aussi dans l'amélioration du service lui-même pour que l'accès à cette information numérique de plus en plus conséquente soit le plus efficace possible. L'Union européenne contribue de façon significative au côté des États pour développer cette capacité, encourageant à la création d'un centre européen de la discipline au cœur de notre communauté scientifique.

Temps réel et ré-analyses longues : un observatoire des variations de l'océan

Les produits de l'océanographie opérationnelle prennent deux formes : une description temps réel de l'état de l'océan (analyse) qu'on accompagne généralement de prévisions d'évolution à une dizaine de jours, mais aussi la description des évolutions passées sur plusieurs années (ré-analyses) pour décrire les tendances de moyen terme. Ces dernières bénéficient des traitements les plus fins, tant en matière d'observations que de modélisation/assimilation. Elles jouent un rôle fondamental car elles permettent d'une part d'apprécier le caractère normal ou anormal d'une situation présente, mais aussi et surtout de contribuer à comprendre le « climat de l'océan ».

Surveiller l'océan de façon opérationnelle, contribuer à la connaissance : l'exemple de la glace de mer (contribution Gilles Garric, Mercator Océan)

L'océanographie opérationnelle permet par exemple de surveiller l'évolution des glaces de mer des régions Arctique et Antarctique, ce qui est un indicateur majeur dans l'étude du réchauffement climatique. Les principaux modèles numériques d'océan utilisés en océanographie opérationnelle incluent une composante de modélisation de la glace de mer (ou banquise) : en combinant ceux-ci à l'information de satellites altimétriques comme *Jason* ou *Cryosat*, les systèmes d'océanographie opérationnelle sont capables de reproduire de façon réaliste l'étendue géographique des zones gelées, l'épaisseur et la concentration de glace et les « courants » de dérive qui déforment celle-ci. La figure ci-dessous illustre par exemple les capacités de ré-analyses océaniques à reproduire sur ces 20 dernières années la diminution forte de l'étendue des zones englacées de l'Arctique, ainsi que sa variabilité interannuelle, c'est-à-dire ses différences d'une année sur l'autre. Ces systèmes sont ainsi capables de reproduire le dernier minimum historique d'étendues de glace de mer jamais observé par satellite en Arctique en septembre 2012 et de proposer une représentation cohérente des processus physiques mis en œuvre.

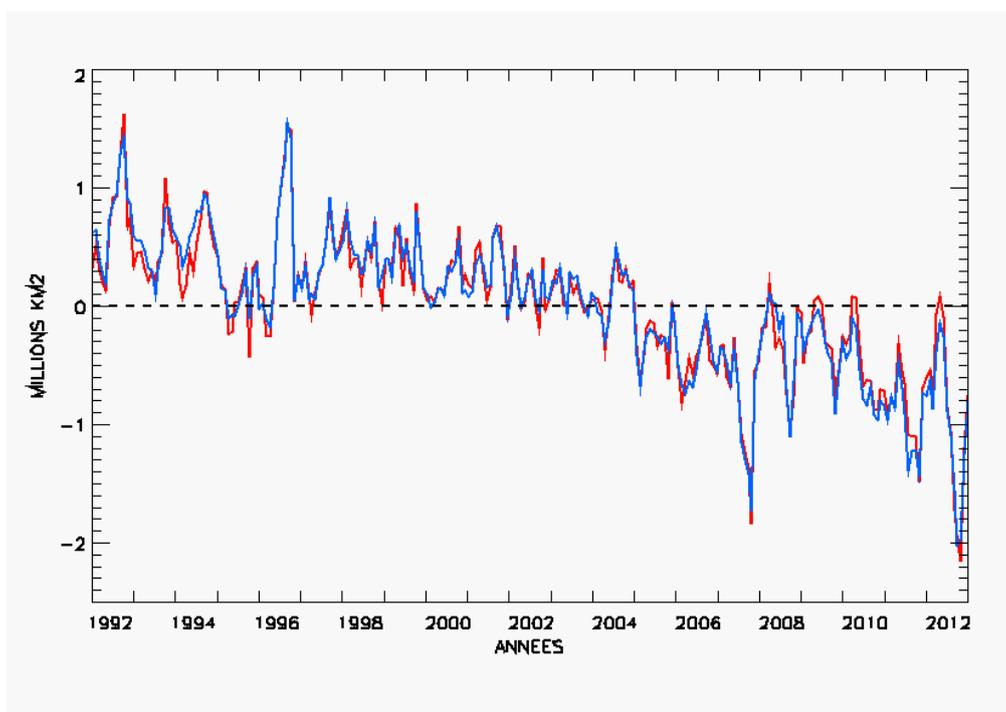


Figure 3 : Surfaces (en million de km²) couvertes par la glace de mer en Arctique, observées par satellite (courbe rouge, source : IFREMER/CERSAT) et reproduites par un système de ré-analyses globales (courbe bleue, source : Mercator Océan). Les valeurs, représentant l'écart du mois courant à la valeur moyenne de 1992-2012, permettent de mesurer les variations d'une année sur l'autre. L'été 1996 avait ainsi plus de 3 millions de km² de couverture de glace de mer que l'été 2012.

Pour en savoir plus :

- [1] Prévisions océaniques de Mercator Océan : www.mercator-ocean.fr
- [2] Revue des systèmes d'océanographie opérationnelle dans le monde : www.godae-oceanview.org
- [3] Informations sur les mesures *in situ* (www.coriolis.org) et altimétriques (www.aviso.oceanobs.com)

Sur les pôles :

- [4] Jouzel J., Lorius C. & Raynaud D. (2008). *Planète blanche, Les glaces, le climat et l'environnement*. Éditions Odile Jacob, Paris, 301 p.
- [5] Lemarchand F., André M.-F. & Rémy F. (2011). *Cap sur les pôles*, Éditions Omniscience, Montreuil, 221 p.

Voir aussi par exemple parmi les fiches scientifiques de l'Institut océanographique :

- [6] *L'océan et le climat*
(A. Cazenave : <http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1346083665.pdf>)
- [7] *L'observation des océans : la révolution Argo*
(P.-Y. le Traon : <http://www.institut-ocean.org/images/articles/documents/1357297941.pdf>)