

Éléments de discussions autour de la prospective scientifique de l'Océanographie Opérationnelle.

Fabrice Hernandez - 27/09/2013

Quelques éléments de discussion de l'IRDien au sein de Mercator. En préambule, il est important de rappeler qu'il ne s'agit pas de "la prospective Mercator" mais de la prospective qui discute les questions scientifiques abordées par CORIOLIS, PREVIMER, et Mercator Océan.

Constat 1: Cette prospective rappelle des éléments de contraintes d'ordre organisationnel. Ils sont présents dans le bilan, car rendent compte de la structuration actuelle des trois structures inter-organismes de l'OO française: CORIOLIS, PREVIMER et Mercator Océan. Il me semble que ces éléments définissent un cadre dont il faut tenir compte dans la façon dont les questions de recherche sont posées et peuvent être résolues.

Exemple 1: le système intégrateur hauturier n'est pas opéré par MétéoFrance, mais par Mercator Océan. Cela veut dire que les questions autour du couplage air/mer ne peuvent être abordées comme elles le sont au UK-Metoffice. En effet, les anglais, en interne, opèrent OGCM et AGCM de concert, les mêmes équipes scientifiques peuvent travailler sur les deux, et proposer des améliorations opérées de façon unique. Cela ne peut être le cas en France: Mercator Océan n'a pas la main sur ARPEGE, donc devra opérer une composante atmosphère dans le cadre d'un couplage faible qui sera découplé de l'opérationnel de MétéoFrance ou du CEPMMT.

Exemple 2 sur lequel le SHOM a réagit: (p 24, §5.5.2) "R7. Le système global devra être basé sur les codes NEMO/PISCES. L'investissement de la communauté dans le développement de ce code devra être consolidé.... ". Il me semble que la façon de dire cela est un peu directive, et peut être faut il modifier cette phrase. Par contre, ce que cela sous-entend, c'est que l'océanographie opérationnelle hauturière a fait le choix à un moment donné d'investir technologiquement dans cet outil, et ne peut pas changer d'outil facilement. Je ne sais pas combien de temps MétéoFrance a mis pour passer d'ALADIN à AROME, mais cela doit se chiffrer en beaucoup d'années et des dizaines de "personne.an" de ressources mobilisées pour cette transition technologique. Les systèmes opérationnels à Mercator Océan sont moins gros, mais ne peuvent être changés du jour au lendemain. J'imagine qu'il en va de même du côté de PREVIMER. Donc cela implique que **ce cadre technologique**, pour lequel un groupe technique et scientifique maintient code et compétence (au niveau européen dans le cas de l'hauturier), **doit être préservé**. Mais que rien n'interdit que le contenu algorithmique évolue, suite à des actions de recherche comme COMODO. Rien n'interdit que ce code "NEMO" contienne des paramétrisations plus efficaces tournant sur ROMS, HYCOM, SYMPHONIE etc.... Les anglais opèrent déjà une version NEMO en

coordonnées sigma, et des tests sur une version NEMO en coordonnées généralisées ont été menés à Mercator Océan.

Constat 2: Cette prospective contient des éléments "politiques". Le bilan, implicitement ou explicitement, fait état des stratégies qui ont prévalu pour amener l'OO à la situation actuelle. Certains aspects restent contraignant pour le futur, comme la stratégie "européenne" de CORIOLIS et Mercator Océan, et devaient donc être rappelés. La réponse du SHOM se focalise pour beaucoup sur les aspects stratégiques et la politique inter-organisme, et de la politique nationale des organismes. En tant que chercheur IRD, je ne commenterai pas les positions du SHOM sur ces aspects politiques. Par contre, de façon similaire à d'autres réactions de chercheurs de l'IRD, je trouve un manque de visibilité de l'IRD dans le bilan qui est présenté, et l'absence d'éléments "politiques/stratégiques" sur les besoins de l'IRD vis à vis de ses missions pour le Sud:

- Il faut, dans un bilan complet, faire apparaître les travaux autour de la maquette régionale développée en Nouvelle-Calédonie une équipe de l'IRD. Ce travail, autant que je m'en souviens, constituait la contribution de l'IRD à la première phase du projet PREVIMER. Par contre, j'ai cru comprendre que l'IRD n'était pas présent dans la deuxième phase de PREVIMER. De source Ifremer, il semblerait que l'IRD n'était pas exclu de PREVIMER2, et que l'IRD était régulièrement invité aux réunions inter-organismes de PREVIMER2. Je ne commenterai pas cet état de fait, car je n'ai pas d'éléments sur les raisons politiques, pratiques, ou scientifiques qui font que l'IRD n'a pas participé activement à PREVIMER2.
- Je suis complètement d'accord avec le fait que la stratégie "régionale/côtière/littorale" est fortement contrainte par la Directive Cadre sur la Stratégie pour le Milieu Marin (DCSMM). Et que cette DCSMM est essentiellement orientée "façade européenne". Ce qui veut dire que les territoires outre-mer, pour les volets "systèmes d'observations" comme "systèmes intégrateurs régionaux", ne sont que marginalement évoqués. De plus, le bilan fait état du travail de l'Ifremer, dans une moindre mesure de celui du SHOM, et que ces deux organismes n'ont pas mis en oeuvre de maquette opérationnelle dans les eaux françaises outre-mer. Ou du moins si il l'ont fait n'en ont pas fait beaucoup de publicité. Du coup, les questions scientifiques autour d'une bonne représentation des processus océaniques (physiques, et biogéochimiques) autour des territoires outre-mer ne sont pas abordées explicitement. Elles sont, de facto, évacuées à travers la mise en oeuvre système intégrateur hauturier généraliste. Système dont la cible serait le "1/36" et qui donc représenterait la mésoéchelle (au moins jusqu'aux moyennes latitudes).
- Je suis aussi d'accord sur le faible enjeu marqué pour le "contexte tropical" dans cette prospective, souligné aussi par d'autres chercheurs IRD qui rappellent la qualité actuelle très relative des systèmes opérationnels hauturiers dans la bande tropicale. C'est vrai que le système d'assimilation SAM2 est généraliste et que les systèmes hauturiers globaux ne sont pas spécifiquement adaptés à cette bande tropicale. Il n'est pas spécialement efficace pour corriger les défauts du modèle

global sous les tropiques, plus particulièrement entre la surface et la thermocline. Et c'est la même chose, sur d'autres aspects océaniques, pour les hautes latitudes. Pour ces dernières, Mercator Océan a identifié le besoin de faire apparaître dans la prospective une action de type chantier scientifique "glace de mer". De façon similaire, l'IRD peut demander que l'enjeu "zone tropicale" et soutien au Sud apparaissent clairement aux paragraphes §4.1 et §4.2. Et puissent être déclinés en questions scientifiques des différents axes (observations, intégrateur hauturier, régional, côtier), tant pour les aspects modélisation physique, que modélisation biogéochimique, ou assimilation.

Constat 3: L'organisation de la recherche en soutien à l'océanographie opérationnelle. Pour être associé depuis longtemps aux actions du conseil scientifique du GMMC+P (P pour PREVIMER, plus récemment intégré au CS), je ne suis pas du tout d'accord avec l'opinion du SHOM et leur constat 3/recom 3 et leur interprétation d'un "*cloisonnement recherche/opérationnel et le changement de paradigme*" qui les amène à proposer que "*L'entité opérationnelle se concentre sur le développement des systèmes et l'intégration des avancées acquises dans les laboratoires*". Pour ma part le point "*Changement de paradigme : la communauté recherche n'est plus là principalement pour aider à construire un système avec les acteurs de l'opérationnel, mais est un partenaire au sein d'une coopération plus intégrée, avec répartition des efforts en fonction du savoir-faire de chacun, de ses missions propres et des bénéfices mutuels à en retirer*" prend en compte un certain nombre de constats autour de Mercator Océan, et qui sont valables pour PREVIMER, et en partie pour CORIOLIS:

- Mercator Océan, dans ses débuts, a du faire appel aux scientifiques des laboratoires (ou leurs anciens étudiants) pour bâtir le système opérationnel. Ce n'est aujourd'hui plus le cas: il y a des ingénieurs/scientifiques à Mercator Océan qui pour améliorer les systèmes opérationnels i) font du transfert de technologie, et intègrent des avancées extérieures ; ii) mènent des travaux en collaborations (PPR, co-direction de thèse, participation à des projets scientifiques dans les laboratoires) et intègrent les résultats obtenus ; iii) font des améliorations en interne et les portent à l'extérieur (c'est le cas des échanges au sein du "NEMO user group" par exemple).
- Ces dernières années, les projets de type "PPR" comme GLORYS ont bien montré la complémentarité du travail scientifique qui pouvait être fait au sein de Mercator Océan et dans les laboratoires. La contribution Mercator Océan dans GLORYS a profité à la communauté DRAKKAR, ainsi qu'à d'autres chercheurs. Les réanalyses sont un produit attendu par la communauté.
- L'autre cas de forte collaboration c'est MERCATOR-Vert: ce PPR a permis de renforcer l'expertise scientifique absente au sein de Mercator Océan (une seule personne experte sur PISCES, complétée par une personne s'occupant des aspects validations), et permettre la recherche d'accompagnement nécessaire à la mise en oeuvre de BIOMER.

- Un constat qui s'est confirmé au cours des années, c'est qu'une partie de la recherche d'accompagnement nécessaire au développement de l'océanographie opérationnelle ne se fait pas dans les laboratoires:
 - Les travaux autour de la prévisibilité ne sont pas abordés par la communauté recherche océanographique: les chercheurs utilisent les modèles et l'assimilation pour comprendre un océan existant ou passé. Peu sont intéressés par les questions spécifiques autour de: "comment en temps réel, améliorer l'analyse, et développer des techniques de modélisations (possiblement ensemblistes) pour réduire les incertitudes en prévision, et les caractériser?"
 - La mise en oeuvre opérationnelle, en temps réel, des systèmes intégrateurs pose aussi des questions scientifiques (pas que techniques !) qui ne sont pas abordées dans les laboratoires. L'assimilation en temps réel s'appuie sur des réseaux d'observations incomplets, et plus erronés qu'en temps différé. Il se pose donc des problèmes autour de l'incertitude de ces observations, de leur représentativité, des erreurs des forçages utilisés, qui ne sont pas abordés dans les laboratoires. Les difficultés que l'on a vu durant 15ans sur l'appropriation (ou non) du variationnel, avec ces outils adjoints, montrent bien que certaines actions scientifiques et techniques doivent coller à la réalité et aux contraintes des systèmes opérationnels. Ce qui est fait sur un variationnel complet en mode recherche n'est peut être pas adaptable en mode opérationnel (jeu d'observations réduit, noyau d'analyse mal contraint, temps de calcul non compatible avec les cycles de calcul opérationnels, etc....). Il faut alors choisir d'autres méthodes, qui engendrent des questions scientifiques qui ne seront pas instruites dans les laboratoires.
 - Les questions de communication: "comment apporter une information pertinente et utile à des acteurs sociétaux spécifiques?", qui peuvent poser des questions scientifiques dans des champs plus "sciences et société" ne sont pas non plus des questions abordées classiquement dans la communauté océanographique dans les laboratoires.
 - Un certain nombre de questions posées par les organismes, et qui demandent une réponse structurée de façon scientifique, ne sont pas non plus abordées dans les laboratoires. La plus emblématique est l'utilité et l'apport des réseaux d'observation, à travers des études d'impact (OSE, OSSE): Ce sujet est soumis régulièrement à l'appel d'offre GMMC, et reste généralement sans réponse de la part de la communauté.
- Il faut donc constater qu'une activité de recherche interne est nécessaire au sein des structures d'OO, pour répondre à des questions qui ne seront pas abordées par la communauté. Ce constat est en claire opposition avec la proposition du SHOM.

- Par ailleurs, le cas de Mercator Océan montre que cette expertise particulière peut aujourd'hui être utile à la recherche, pas simplement en apportant une contribution aux travaux des laboratoires, mais en constituant une structure de recherche spécifique. Cette activité de recherche interne doit se structurer. C'est en train de se faire à Mercator Océan, qui vient d'être intégré, en temps que structure associée, au sein de l'école doctorale SDU2E de l'université Paul Sabatier, au même titre que le CERFACS, CLS ou le CNRM. Cela veut dire qu'officiellement Mercator Océan peut accueillir des doctorants sur des thèmes de recherche qui lui sont propres. Au delà de cela, Mercator Océan doit réfléchir à ouvrir ses capacités de recherche et ses outils pour les actions de recherche des chercheurs des laboratoires. Comme par exemple offrir des moyens, du soutien pour des chercheurs en accueil qui voudraient mener des travaux de recherche avec les outils de Mercator Océan: ses outils offrent un niveau de maturité suffisant pour être utilisés par des chercheurs externes. Par exemple accueillir des chercheurs voulant mener un travail de modélisation régional couplé avec les systèmes globaux. Ou faire des simulations de ces mêmes systèmes en ajoutant des bilans/diagnostiques « online » qui ne sont pas normalement prévus dans les chaînes opérationnelles. Ou participer au développement d'une réanalyse, en travaillant autour d'un noyau d'analyse plus "recherche" et "temps différé" que celui utilisé en opérationnel, à l'instar de ce qui se fait aux USA avec ECCO. Cela permettrait à des chercheurs qui n'ont pas les moyens de calcul ou le support technique pour manipuler les gros outils de modélisation d'y avoir accès pour répondre à des questions scientifiques particulières. Cette activité d'accueil pourrait aussi être envisagée au sein des équipes de PREVIMER.

Constat 4: Je ne partage pas les vues du SHOM autour de la segmentation des échelles globale/régionale/côtière/littorale. Suivant la question scientifique et le processus océanique abordé, la réponse devra peut-être s'étendre sur plusieurs de ces échelles. L'océan est un continuum, et les échelles pour un même processus physique ou biogéochimique pourront être différentes dans diverses parties du globe. Les questions de mélange vertical dans les modèles seront communes à un grand nombre de zones, même si les fonctions sources varient d'une zone à l'autre: par exemple la marée, ou le vent. La question d'un couplage actif biogéochimique/physique pour représenter réellement la pénétration du flux solaire sera similaire pour un bloom un plein Atlantique Nord ou dans la Manche: la différence ne sera que dans le choix que l'on fait de la résolution spatiale décidée pour le modèle opéré dans chacune de ces zones. Je pense donc qu'il faut créer les conditions pour que les développements des outils globaux/régionaux/côtière/littoraux contraints par les mêmes blocages scientifiques soient discutés ou mieux partagés entre les équipes de l'OO. En parallèle de cela, le GMMC doit favoriser les discussions scientifiques pluri-partites entre les équipes des laboratoires et de l'OO: COMODO semble être un bon exemple.

Je partage aussi l'avis d'associer la communauté littorale pour les problématiques régionales/côtières. Par exemple, on entend dire souvent que les mangroves tropicales sont des lieux "sources" importants pour les écosystèmes plus au large: une bonne modélisation biogéochimique côtière devra donc tenir compte, ou paramétriser, ces sources. J'aurais pu

prendre l'exemple des grands estuaires comme la Loire ou la Gironde qui impactent en profondeur le Golfe de Gascogne, et de facto, la modélisation régionales.

Constat 5: Les questions scientifiques autour des développements du système intégrateur hauturier. Je partage les points de vue émis par plusieurs chercheurs de l'IRD:

- le système intégrateur hauturier doit produire des hindcasts et forecasts de bonne qualité. Aujourd'hui au $1/4^\circ$ et $1/12^\circ$, demain à une résolution représentant correctement la mésoéchelle. La prospective affiche le $1/36^\circ$: je considère que ce chiffre est volontairement symbolique pour dire que le système global doit représenter les processus physiques de pleine mésoéchelle jusqu'aux latitudes moyennes.
- Ce système intégrateur hauturier doit permettre la production de réanalyses utiles pour la communauté recherche. Par le passé, les simulations globales libres ont souvent été préférées aux run avec assimilation: l'assimilation, au lieu d'apporter un gain qualitatif, dégradait la représentation des processus étudiés. C'est parfois encore le cas pour certaines zones de l'océan. Cela veut dire que l'accent doit continuer à être mis sur le système d'assimilation. La prospective propose surtout des travaux pour embarquer les futurs réseaux d'observation (SWOT, BIO-Argo etc...) et travailler sur les approches ensemblistes. Avant cela, Mercator Océan doit recommander de mettre aussi l'accent dans la prospective sur les travaux visant à améliorer le système d'analyse actuel:
 - tirer pleinement parti du réseau d'observation actuel: toutes les observations potentielles accessibles ne sont pas utilisées par l'assimilation. Etendre le vecteur d'observation demande d'appréhender les erreurs modèles, d'observation, de représentativité. Cela demande aussi en amont que CORIOLIS soit en mesure de fournir des observations validées. Cela continue de poser le problème de l'expertise sur les données, son articulation avec les actions dans les laboratoires, les organismes, et les Systèmes d'Observation
 - rendre plus efficace le noyau d'analyse: historiquement, SAM a d'abord été monovarié et développé pour contraindre la mésoéchelle vu par les altimètres. Cette approche persiste encore aujourd'hui et la pondération en multivarié (SAM2) accordée à l'altimétrie et la radiométrie pour contraindre la moyenne mésoéchelle est plus importante que celle accordée aux profils verticaux. Cela est pénalisant dans la bande tropicale, caractérisée par des échelles très rapides de la surface à la thermocline, une géostrophie de second-ordre, et une sensibilité particulière des couches superficielles aux erreurs de forçage. Maintenant que ARGO complète les réseaux tropicaux, les processus tropicaux sont mieux observés et le noyau d'analyse devrait mieux exploiter tous ces profils verticaux.
 - Amener au même niveau d'efficacité les noyaux d'analyse pour la glace de mer, et pour la biogéochimie. L'assimilation opérationnelle sur ces deux

composantes en est à ses débuts, et leur amélioration suscite de nombreuses questions scientifiques.

- les questions de prévisibilité du système hauturier ne sont pas explicitement abordées. Des pistes sont implicitement évoquées en proposant de travailler sur les approches ensemblistes pour l'analyses. On peut alors imaginer que ces questions pourront être étendues à la prévision d'ensemble. Les propositions autour d'un couplage faible océan-atmosphère pour le global peuvent aussi répondre à ces questions de prévisibilité, dans la mesure où on s'assure qu'une "représentation faible" de la basse atmosphère et la couche limite marine en mode prévision ne soit pas une source supplémentaire de croissance d'erreur de prévision.
- un système généraliste global pour la biogéochimie ne sera pas en mesure de représenter tous les processus. On peut imaginer que la mise en oeuvre d'un modèle avec un choix de compartiments et de paramétrisation permettra de monitorer les aspects "climatiques" à fort enjeux: cycle du carbone, acidification etc... Par contre, vu les disparités régionales des écosystèmes et des chaînes trophiques y agissant, je ne suis pas sûr qu'un seul modèle offrira une représentation au même niveau qualitatif des différentes régions écosystémiques. La prospective doit en faire état, et ne fermer aucune porte pour permettre d'explorer l'approche la plus adaptée à ce besoin de régionalisation dans un nombre limité de systèmes opérationnels.
- Comme je l'ai indiqué dans mon constat 2 ci-dessus, l'OO affiche une stratégie régionale/côtière/littorale pour les côtes françaises européennes, pas pour l'outre-mer, a fortiori pour le reste du monde. Si un système intégrateur global doit servir les besoins de l'IRD pour ces missions au profit du Sud, plusieurs questions doivent être soulevées en considérant un système cible avec une résolution de $1/36^\circ$ qui pourrait être utilisé tel quel, ou servir comme système hauturier apportant des conditions limites et/ou initiales à des zooms régionaux dédiés.
 - Garantir avec CORIOLIS d'avoir accès à des jeux d'observations pertinents pour représenter les processus mésoéchelles au large de toutes les côtes mondiales
 - Représenter les processus locaux correctement au $1/36^\circ$. Pour certaines façades maritimes, cela ne se fera pas sans que le "couplage faible atmosphérique" soit en mesure de produire les bons processus aux mêmes échelles. Cela n'est pas discuté dans la prospective. Par exemple, le manque de réalisme des systèmes hauturiers ORCA025 le long des côtes Andines: avec un forçage global du CEPMMT, le modèle océanique ne peut produire les sous-courants le long du talus. Une des conséquences semble être que le minimum d'oxygène et les apports de nutritifs sont ensuite mal représentés dans les modèles biogéochimiques. Or il s'agit des zones d'écosystèmes de bord Est, particulièrement importants pour l'IRD. La mise en oeuvre d'un système global au $1/36^\circ$ qui ne serait pas forcé (par couplage faible, ou autre) par des contraintes atmosphériques aux bonnes échelles ne reproduirait pas non plus ces courants de talus. Il y a donc des situations où le modèle globale,

même généraliste doit être associés à des forçages (atmosphériques, continentaux, bathymétrique) adaptés aux particularités de la région pour produire une circulation océanique non pas locale, mais "générale". On retrouve cette problématique aux détroits, au niveau des overflows etc..... Différentes stratégies peuvent être étudiées suivant les zones. Entre autres, le raffinement d'échelle de type AGRIF (sur les composantes océaniques, mais aussi atmosphériques), le couplage off-line two-ways avec un modèle régional contenant la bonne physique, qui viendrait corriger le modèle hauturier via un rejeu du run etc....

Constat 6: Beaucoup de portes ouvertes autour d'un système intégrateur régional et d'un système côtier:

- pour l'échelon régional, la cible d'une résolution de quelques centaines de mètres est proposée ($1/108^\circ$), sur des domaines qui pourraient couvrir le bassin océanique complet. Rien n'est évoqué sur la bathymétrie nécessaire pour rendre efficace un tel système.
- Il est clairement demandé que le système d'observation (§5.2.1) contribue à la définition du réseau d'observations nécessaires à un monitoring des processus régionaux. Observer à de si fines échelles océaniques ne pourra certainement pas se faire à l'échelle du $1/108$ sur tout un bassin océanique. Un système régional "fin" qui est contraint par un système d'observation régional adéquat ne pourra donc s'étendre sur des domaines aussi grands que l'Atlantique nord.
- Un couplage océan/atmosphère "fort" est évoqué, avec l'implication de MétéoFrance. Cela ne concerne donc que les systèmes mis en oeuvre pour les eaux françaises, métropolitaines ou outre-mer. La question "régional" au Sud reste ouverte. À avis partagé à l'IRD est de favoriser le développement de tels systèmes dans les pays concernés. L'interfaçage et les méthodes de downscaling, évoqués comme question scientifique par la prospective deviennent alors une action prioritaire, et devraient apparaître dans un des chantiers listés au §5.3
- Un système relocalisable est discuté. Ce qui n'est pas clair, c'est si il a vocation à être positionné dans l'océan hauturier, ou venir compléter un modèle régional ou côtier. Le cas échéant, ce système est concerné par les mêmes questions scientifiques que le régional et le côtier.

En résumé, je pense que:

1. Le bilan doit faire mieux apparaître le rôle de l'IRD, et ses actions qui ont profité au développement de l'OO: Rôle dans PREVIMER, apports permanent des SO à CORIOLIS, expertise des tropicalistes qui profite à l'hauturier (en particulier sur les aspects de validation)

2. Les besoins de l'IRD pour ses missions au Sud doivent apparaître dans les éléments de contexte et de stratégie pour le développement futur de l'OO
3. Les structures d'OO apportent une expertise qui peut servir directement la communauté recherche
4. Le long développement des outils de l'opérationnel interdit des changements de technologie radicaux, les contraintes de type "modèle NEMO" doivent être structurantes et organisées de façon à intégrer efficacement les innovations que peut apporter la communauté recherche
5. Des questions autour de l'assimilation, de la prévisibilité, et des spécificités "temps réel et opérationnel" doivent apparaître dans la prospective
6. Un certain nombre de questions autour de l'échelon régional, son observabilité, son interfaçage avec le hauturier global, le niveau de couplage pertinent avec l'atmosphère, le lien avec le côtier/littoral doivent apparaître aussi plus explicitement dans la prospective
7. Du global au littoral, la représentation des processus biogéochimiques et des écosystèmes par l'OO pose des questions qui doivent apparaître explicitement dans la prospective