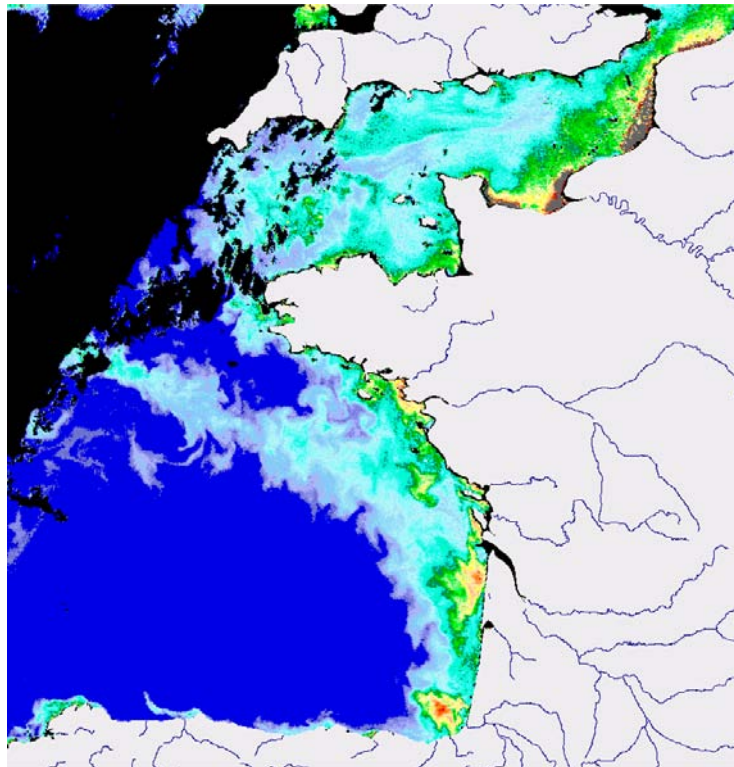


Séminaire d'hydrodynamique côtière

Centre IFREMER de Brest
Salle de Conférence
15-17 Septembre 2003



Rapport d'Activité
Novembre 2003



Photo des participants au séminaire, le lundi 15 septembre 2003 à 11h00 devant le centre de conférence du centre IFREMER de Brest.

Table de Matières

1. INTRODUCTION	9
2. OBJECTIFS DU SÉMINAIRE	10
3. ORGANISATION ET DÉROULEMENT DU SÉMINAIRE	11
3.1. ORGANISATION THÉMATIQUE DU SÉMINAIRE	11
3.1.1. <i>Observations/Mesures</i>	11
3.1.2. <i>Modélisation</i>	11
3.1.3. <i>Couplages de modèles physiques avec d'autres modèles (biologiques, biogéochimiques, sédimentologiques)</i>	11
3.1.4. <i>Assimilation de données</i>	12
3.2. DÉROULEMENT DU SÉMINAIRE.....	12
4. BILAN DES PRÉSENTATIONS ORALES ET POSTERS	13
5. BILAN DES DISCUSSIONS PAR THÈMES ET DES GROUPES DE TRAVAIL	14
5.1. OBSERVATIONS ET MESURES.....	14
5.1.1. <i>Contexte général</i>	14
5.1.2. <i>Etat des lieux</i>	14
5.1.3. <i>Débats et perspectives :Processus, Monitoring, Paramètres, Echelles</i>	16
5.1.4. <i>Débats et perspectives : Plate-formes d'acquisition</i>	18
5.1.5. <i>Débats et perspectives : Télédétection</i>	21
5.1.6. <i>Débats et perspectives : Partenariats. Services d'observation. Logistique</i>	22
5.1.7. <i>Conclusions et recommandations</i>	25
5.1.8. <i>Bibliographie</i>	26
5.2. MODÉLISATION	28
5.2.1. <i>Etat des lieux</i>	28
5.2.2. <i>Bilan : Processus et paramétrisations à développer</i>	33
5.2.3. <i>Les forçages</i>	33
5.2.4. <i>Transfert d'échelle et couplage avec les modèles hauturiers</i>	34
5.2.5. <i>Les applications et l'opérationnel</i>	35
5.2.6. <i>Organisation</i>	35
5.2.7. <i>Conclusions et recommandations</i>	36

5.3. COUPLAGES DE MODÈLES PHYSIQUES AVEC D'AUTRES MODÈLES (BIOLOGIQUES, BIO-GÉOCHIMIQUES, SÉDIMENTOLOGIQUES)	38
5.3.1. Introduction	38
5.3.2. Inventaire.....	38
5.3.3. Débat sur les couplages.....	39
5.3.4. Recommandations et besoins exprimés.....	40
5.4. ASSIMILATION DE DONNÉES	42
5.4.1. Bilan des discussions.....	42
5.4.2. Recommandations.....	43
5.4.3. Assimilation de données dans les mers côtières et de plateau: revue et orientations	45
6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	57
6.1. REMARQUES CONCLUSIVES GÉNÉRALES.....	57
6.2. REMARQUES CONCLUSIVES SUR L'ÉTAT DE L'ART, LES ÉQUIPES ET LES MOYENS.....	58
6.3. REMARQUES CONCLUSIVES SUR LES BESOINS SCIENTIFIQUES	58
6.4. REMARQUES CONCLUSIVES POUR L'OCÉANOGRAPHIE CÔTIÈRE OPÉRATIONNELLE	60
6.5. PROPOSITIONS DU COMITÉ SCIENTIFIQUE	60
6.5.1. Un objectif scientifique à long terme : la construction d'un système intégré pour l'étude et la prévision du domaine côtier.....	60
6.5.2. Une Organisation à court terme selon un Groupement de Recherche	61
6.5.3. Des rencontres programmées de la communauté scientifique active dans le domaine de l'océanographie côtière.....	61
7. ANNEXES	62
7.1. ALLOCUTION INTRODUCTIVE DE JEAN FRANÇOIS MINSTER	62
7.2. NOTE SUR L'OCÉANOGRAPHIE OPÉRATIONNELLE CÔTIÈRE.....	64
L'OCÉANOGRAPHIE OPÉRATIONNELLE CÔTIÈRE EN FRANCE, UNE ESQUISSE DE VISION	64
7.2.1. Besoins.....	64
7.2.2. Systèmes existant, nouvelles perspectives.....	64
7.2.3. Complexité des systèmes opérationnels côtiers	65
7.2.4. Esquisse de priorité en matière de besoins et de systèmes à développer.....	66
7.2.5. Partenaires	68
7.2.6. Perspectives.....	68

7.3. PROGRAMME :	69
7.4. COMPOSITION DU COMITÉ SCIENTIFIQUE ET DES GROUPES DE TRAVAIL.....	72
7.4.1. <i>Composition des groupes de travail</i>	72
7.4.2. <i>Comité Scientifique</i>	73
7.5. RECUEIL DES RÉSUMÉS DE COMMUNICATIONS ET DE POSTERS	74
1- LES NAVIRES D'OPPORTUNITÉS ET LES GLIDERS POUR L'OBSERVATION EN MILIEU CÔTIER.....	74
7.6. ANNUAIRE DES ÉQUIPES DE RECHERCHE	124
7.7. LISTE DES PARTICIPANTS.....	138

Remerciements

Nous remercions tout spécialement mesdames Josiane Brasseur (Grenoble) et Pascale Thomin (Brest) qui par leur travail de secrétariat avant, pendant et après les rencontres, ont permis le succès de ce séminaire. Le nombre important d'inscriptions a induit une charge de travail conséquente à laquelle elles ont fait face avec beaucoup d'efficacité.

Merci à Jean-François Le Roux qui a mis en place et assuré la maintenance sans faille du site dédié. Nous remercions également le service informatique du centre de Brest pour la mise à disposition en libre service d'un ensemble de machines durant les deux jours de colloque.

La participation active des membres des divers groupes de travail avant le séminaire a permis de soulever un ensemble de questions dont la pertinence est apparue lors des débats. Nous les remercions également pour leur investissement dans la rédaction des comptes rendus.

Merci également au centre de Brest, au service communication et au service des moyens généraux pour la mise à disposition de la salle de conférence, de son équipement et l'accueil des invités.

Le PNEC (Programme National d'Environnement Côtier) et le PATOM (Programme national ATmosphère et Océan à Multi-échelles) ont soutenu financièrement ce séminaire. Nous les en remercions au nom de la communauté, et nous espérons en retour que ce rapport constituera une contribution efficace à leurs travaux de perspective en cours.

1. Introduction

L'océanographie physique côtière a pour objet d'observer, de comprendre et de prévoir le fonctionnement hydrodynamique du milieu côtier, avec comme enjeux, dans le cadre d'applications pluridisciplinaires, la pollution côtière, la gestion et la préservation des écosystèmes et des ressources halieutiques, la contribution des zones côtières aux puits de carbone, l'hydrodynamique sédimentaire et les échanges eau - sédiments.

Contrairement à l'océanographie du large, l'océanographie côtière n'a pas bénéficié de grands programmes internationaux (tel que le World Ocean Circulation Experiment -WOCE) pour structurer ses activités de recherche dans le domaine de l'observation et de la modélisation au niveau national ou international. De plus, les problèmes traités dans le domaine côtier ont des caractères régionaux très marqués, qui favorisent un certain morcellement et parfois le cloisonnement des activités. Les problèmes posés par l'impact des activités humaines dans les zones côtières posent de nombreux problèmes de connaissance, et demandent que les efforts de recherche et les développements d'applications opérationnelles soient intensifiés et structurés pour plus d'efficacité.

C'est dans cette démarche que le séminaire en hydrodynamique côtière a été organisé, avec comme objectif de faire un état de l'offre nationale dans le domaine de la recherche.

2. Objectifs du séminaire

Afin de bien évaluer les investissements nécessaires au développement rapide de l'océanographie côtière et de ses applications dans un proche futur, ce séminaire a été organisé pour faire le point sur l'état de l'art de la recherche dans les différents organismes nationaux fortement impliqués dans cette thématique (CNRS-Universités, IRD, Ifremer, SHOM, Météo-France). Le séminaire a été associé aux prospectives en cours du PATOM et du PNEC.

Le séminaire s'est déroulé sous la forme d'une alternance de présentations scientifiques (orales et posters) et de séances de discussion. Les présentations scientifiques ont permis de faire un point exhaustif sur les problèmes scientifiques étudiés par la communauté, sur les méthodes et les outils utilisés et développés, et sur les avancées les plus récentes dans le domaine. Les séances de discussions ont, quant à elles, abordé les perspectives, les orientations à prendre pour augmenter les interactions et la mise en commun des compétences entre les équipes, les moyens existants et ceux à mettre en œuvre.

L'océanographie opérationnelle représente un secteur d'activité scientifique qui s'est considérablement développé en France ces dernières années, avec la création du GIP MERCATOR-Océan, et la mise en place d'un système opérationnel d'analyse et de prévision sur l'océan global et le secteur Atlantique Nord/Méditerranée. Le séminaire s'est également donné comme objectif d'examiner le défi que représente l'extension des activités opérationnelles aux régions côtières, et de débattre sur la réponse que la communauté peut apporter aux besoins de recherche et développement exprimés par ce secteur.

L'analyse de ce séminaire doit en particulier aboutir à des recommandations pertinentes pour les prospectives scientifiques du PATOM et du PNEC, et pour la prospective sur le développement de l'océanographie opérationnelle dans le secteur côtier que le Comité des Directeurs d'Organismes (CDO) en océanographie appelle de ses vœux.

Le domaine côtier et le domaine littoral ont un recouvrement important, aussi bien en terme de processus que d'interactions. Il n'est donc pas surprenant que des équipes de recherche mènent des activités de recherche dans les deux domaines. Cependant, pour garder au Séminaire une taille raisonnable propice à des discussions constructives, le Séminaire s'est clairement focalisé sur le domaine côtier, comme annoncé.

3. Organisation et déroulement du séminaire

3.1. Organisation thématique du séminaire

Le séminaire a été organisé en présentations scientifiques faites par les équipes de recherche et en discussions en séances plénières. Dans le cadre des discussions, les perspectives, les orientations à prendre pour augmenter les interactions et la mise en commun des compétences entre les équipes, les moyens existants et ceux à mettre en œuvre ont été abordés. Les recommandations et l'état de l'art ont été élaborés au cours de discussions selon 4 thèmes décrits ci après.

3.1.1. Observations/Mesures

L'acquisition de mesures in situ ou à distance (satellites, radar, capteurs aéroportés) de paramètres hydrodynamiques (courants, température, salinité, apports de rivières, ...) et des variables de surface (vagues, vents, flux, précipitations, ...), devient une priorité en zone côtière. Ces mesures répondent à deux types de besoins : d'une part décrire et comprendre l'environnement physique côtier et, d'autre part, valider des modèles hydrodynamiques et à terme les corriger et les contrôler par l'assimilation pour des fins d'analyse et de prévision opérationnelle. Le morcellement de la communauté des physiciens du côtier ne permet pas actuellement de mettre en place des programmes de mesures ambitieux qui puissent constituer un jeu de mesures conséquent ou faire émerger une stratégie de monitoring. La discussion a eu pour objet de faire un inventaire des capacités de mesures de chaque équipe tant en terme de matériel que de personnel. Les stratégies de mesures et de monitoring ont été abordées afin d'ébaucher une démarche de partenariat qui permette une intensification et une rationalisation des mesures en zone côtière, à des fins de recherche et opérationnelles. Enfin, cette discussion a tenté de faire ressortir le besoin en gros équipements et en développements instrumentaux.

3.1.2. Modélisation

La modélisation de l'océan côtier a pour objet de simuler l'évolution des écoulements océaniques en zone côtière, afin de mieux comprendre et prévoir le fonctionnement physique et biogéochimique de ce milieu. Cette session s'est concentrée sur la modélisation de la dynamique côtière, dans ses applications recherche et pour le développement de l'océanographie opérationnelle. Les présentations ont porté sur les problèmes scientifiques étudiés par la communauté, sur les méthodes et les outils de modélisation utilisés et développés, et sur les avancées les plus récentes dans le domaine. Les discussions ont abordé les perspectives, les orientations à prendre pour augmenter les interactions et la mise en commun des compétences et le partage des outils entre les équipes, les moyens existants et ceux à mettre en œuvre. La question des forçages (surface, frontières, marées) a été largement discutée.

3.1.3. Couplages de modèles physiques avec d'autres modèles (biologiques, biogéochimiques, sédimentologiques)

Le couplage de modèles hydrodynamiques avec d'autres modèles est une démarche amorcée depuis une dizaine d'années qui se généralise, et représente un champ d'application considérable pour la recherche en océanographie et les applications opérationnelles. L'ensemble des sites d'études du PNEC aborde ce type d'exercice. Un inventaire des types de couplage en cours ou

prévus a été élaboré. La réflexion s'est portée sur les besoins en hydrodynamique côtière exprimés par les utilisateurs tant en terme de processus que d'échelles de temps et d'espace.

3.1.4. Assimilation de données

L'état de l'assimilation de données dans le domaine de l'océanographie côtière peut être qualifié d'embryonnaire. La raison en incombe certainement plus au manque de données d'observations qu'à l'état d'avancement des méthodes. Le séminaire s'est concentré sur les problèmes pertinents au côtier auxquels l'assimilation de données peut apporter des réponses (forçage aux frontières, initialisation, etc...), sur l'observabilité du système côtier, et sur les besoins à venir du secteur opérationnel.

3.2. Déroulement du séminaire

Le Séminaire a enchaîné les présentations orales et les présentations de posters et les séances de discussion selon le programme annoncé (voir annexe 7.5). La participation a été très forte pendant les trois jours, et la communauté présente a été très réactive pendant les présentations (nombreuses questions), et très active pendant les séances de discussion. Un annuaire exhaustif des équipes de recherche impliquées dans le domaine de l'hydrodynamique côtière est présenté en Annexe 7.6.

4. Bilan des présentations orales et posters

Le nombre d'inscrits au séminaire était de 134. Le nombre participants enregistrés a été de 107 (voir liste des participants en annexe). Bien que le point central annoncé du Séminaire soit clairement l'hydrodynamique en domaine côtier, le séminaire est resté totalement ouvert et a enregistré la participation de quelques équipes menant des recherches dans le domaine littoral ou dans le domaine de la circulation générale. Cette participation a été très bénéfique, permettant de traiter des questions concernant les interactions entre les différents domaines. Nous avons regretté l'absence imprévue de certains de nos collègues de Météo-France, retenus à Toulouse à cause des perturbations du trafic aérien, d'autant plus que de nombreux besoins en données et en connaissances de la météorologie de surface en régions côtières ont été exprimés par les participants.

Les sessions ont été animées par 33 présentations orales et 23 posters ont été présentés au cours de deux sessions. Le bilan scientifique est très largement positif, tant par les orientations scientifiques qui ont été choisies que par la qualité scientifique des résultats obtenus. Le présent rapport ne propose pas de résumé extensif des sujets traités (un recueil des résumés des présentations et un recueil des posters sont joints en annexe). On peut cependant mentionner que les études présentées portent sur l'ensemble des façades côtières métropolitaines (Gascogne, Méditerranée, Manche), des DOM-TOM et sur les grands systèmes d'upwelling côtier (Canaries, Benguela, Californie). Le spectre des activités de la communauté s'avère être très large et les applications pluridisciplinaires nombreuses.

Les présentations font ressortir que la plupart des actions de recherche sont menées dans un cadre multi-disciplines, les compétences multiples nécessaires à la réalisation des travaux étant obtenues par des interactions volontaristes entre les équipes, une démarche fortement encouragée par les programmes nationaux (PNEC, PATOM), avec pour certaines actions une impulsion supplémentaire propre de certains organismes. Trois exemples sortent ainsi du lot, avec les études réalisées dans le Golfe du Lion, celles réalisées dans le Golfe de Gascogne (où le défi Golfe de Gascogne de l'Ifremer joue un rôle moteur), et les études pluridisciplinaires sur les grands systèmes d'upwellings de bord Est pilotées dans le cadre de IDYLE à l'initiative de l'IRD. A plus petite échelle, et à la frontière du côtier et du littoral, les études réalisées en Manche démontrent également des efforts de coopération importants. Il faut également noter que la participation des équipes à des projets européens est importante.

Les développements instrumentaux engagés par quelques équipes (CNRS et Ifremer) ont montré leur capacité à fournir des données de qualité et pertinentes dans un cadre opérationnel, en particulier les radars HF/VHF pour la mesure des vagues et du courant de surface, les bouées multi-instrumentées (MAREL) et dans un futur proche, les profileurs autonomes adaptés aux petits fonds (PAGODE). Ces développements sur les capteurs sont aussi doublés d'une réflexion sur des systèmes innovants associant des porteurs et capteurs plus traditionnels, par exemple pour de la mesure d'opportunité.

5. Bilan des discussions par thèmes et des groupes de travail

Le séminaire a réservé une large place aux discussions, qui ont été organisées en 4 sessions thématiques et une discussion générale en clôture du séminaire. Chaque session thématique a été préparée par un groupe de travail composé de scientifiques spécialistes du thème considéré (voir annexe 7.4). Le coordinateur de chaque groupe a animé la discussion et a également accepté la charge de rédiger une synthèse des discussions et des travaux du groupe. C'est ce travail de synthèse qui est présenté pour chaque thème dans les sections suivantes.

5.1. Observations et mesures

5.1.1. Contexte général

Il existe un besoin crucial d'expertise de terrain en océanographie dynamique côtière pour l'étude des facteurs physiques qui contrôlent les réponses, quantitatives et qualitatives, des écosystèmes côtiers aux modifications environnementales, qu'elles soient de nature climatique ou anthropique. Et plus généralement, pour contribuer au développement de la connaissance et des outils nécessaires à la gestion du milieu côtier (évaluation et maîtrise de l'impact des activités humaines sur les écosystèmes côtiers). Ce besoin renvoie à une multitude de questions qui n'ont pas toujours bien été déclinées jusqu'ici en terme de processus physiques fondamentaux et d'échelles spatiale et temporelle pour lesquels le manque de données est manifeste. Par ailleurs, la nature de certaines activités humaines dans les zones côtières et littorales et des risques qu'elles comportent met l'accent sur des phénomènes particuliers (surcôtes, état de mer, ...), sur les échelles de temps courtes et la prévision en temps réel pour lesquelles des observations opérationnelles sont nécessaires.

5.1.2. Etat des lieux

Problématiques. Processus. Principaux résultats

Les études qui ont progressivement constitué depuis une dizaine d'années la compétence des laboratoires en côtier doivent beaucoup aux questions posées par les chantiers du PNOC puis du PNEC, notamment sur les plateaux continentaux du Golfe du Lion et du Golfe de Gascogne. Parallèlement, la compétence existant dans les stations marines pour l'observation physique de leur plan d'eau (typiquement la baie) s'est développée, souvent en rapport avec des objectifs applicatifs (recrutement, chimie environnementale, ...). Ces travaux ont ainsi porté principalement sur des études de processus concernant les panaches des grands fleuves et le forçage de la circulation sur le plateau par la circulation générale océanique d'une part et sur la caractérisation des schémas et échelles de variabilité de la circulation dans un plan d'eau d'autre part.

La mise en place d'un suivi régulier hydrologique et de profils de courant par ADCP du Golfe du Lion est une illustration caractéristique. La vision synoptique courantologique et hydrologique fournie par ces suivis a permis une caractérisation plus fine des échelles spatiales et dans une moindre mesure temporelles (Petrenko & al., 2003). Le caractère systématique de l'acquisition de ces données, comme de celle de l'opération SAVED (voir ci-dessous), devrait permettre une première évaluation de l'intérêt de ces stratégies d'acquisition pour l'océanographie

opérationnelle qui ne dispose pour l'instant d'aucune source systématique de données in-situ sur le plateau.

La télédétection (radiométrie passive, IR et visible) grâce aux produits standard a également permis dans de nombreux cas une première évaluation des processus, voire quelques quantifications. Mais il demeure encore difficile d'accéder ou de développer des bases de données télédéteectées avec la résolution adaptée pour d'autres paramètres et les algorithmes standard se révèlent parfois inadaptés pour les quantifications.

Le haut niveau de compétence technique dans le domaine de la télédétection par radar HF ou VHF existant en France, s'est concrétisé par plusieurs opérations de terrain qui illustrent que cette technique permet aujourd'hui des observations faciles du courant de surface sur des échelles tout à fait compatibles avec celles des problématiques évoquées.

Enfin, il apparaît qu'un effort de collecte des données dispersées dans les laboratoires ou chez les fournisseurs de données peut se révéler payant en permettant la construction de climatologie (température et salinité) mensuelle année par année sur une longue période comme cela est le cas pour le golfe de Gascogne. Ce genre de produits est aujourd'hui indispensable pour l'ensemble des façades.

Parc instrumental. Bases de données

Le séminaire a été l'occasion d'entreprendre un premier recensement du parc instrumental disponible dans les laboratoires qui mènent des recherches dans le domaine côtier. L'objectif de ce recensement est de faciliter pour l'avenir immédiat le partage d'instruments dans une communauté pour l'instant peu organisée et n'ayant jamais entrepris de 'grosses' opérations. Ces informations sont présentées en annexe sous forme de tableau. A plus long terme, cette initiative pourrait prendre la forme d'un réseau destiné à gérer le besoin massif en équipement qui se dessine. En ce qui concerne les bases de données, cette initiative de recensement pourrait être relayée par le SISMER.(voir plus bas).

Réseaux ou stations d'observation (MAREL, SOMLIT, SLT, ...). Gestion des données

L'opération SAVED (Système d'Acquisition et de Validation Exploitation des Données du TéthysII) mérite d'être évoquée en détail. Le projet a été initié par le COM il y a sept ans : il s'agit d'acquérir de façon automatique les mesures de l'ADCP de la Téthys II lors de ses transits. SAVED, développé en partenariat avec la région PACA et d'autres acteurs régionaux, a été conçu pour faciliter l'accès à ces données et à l'expertise qui s'y rattache (statistique, modélisation, ...) avec les organismes en charge de gestion de l'environnement (e.g. AGE RMC). SAVED est actuellement géré entièrement par l'INSU. A noter que le SISMER procède de façon routinière à l'archivage des données hydrologiques et courantométriques (autres que celles des ADCP de coque) acquises lors des campagnes côtières.

Des réseaux d'acquisition automatique de données physico-chimiques reposant sur des stations de mesure sur bouées ou sur infrastructures côtières (bouées MAREL) ont été et sont en développement par IFREMER. Ils constituent, en un nombre limité de sites (principalement les grands estuaires), une source d'informations sur les apports anthropiques et les évolutions à long terme d'autant plus intéressantes que les séries pourront être longues et continues.

Les mouillages à long terme (10 ans) de courantomètres sur la pente continentale du Golfe du Lion (opération BILLION) ont mis en exergue la variabilité synoptique, saisonnière et interannuelle des courants et des échanges côte-large sur le talus. Mais, à quelques exceptions près de ce type, les réseaux d'observations existants aux seins des OSU (SOMLIT, SLT) semblent pour l'instant inadaptés à de nombreux égards pour répondre aux besoins de l'océanographie physique (nature des paramètres, extension spatiale trop limitée, échantillonnage temporel insuffisant, acquisition non automatique donc de coût élevé, ...) et ne semblent pas pouvoir évoluer pour intégrer les problématiques évoquées ici. Assez récemment, la gestion des données de ces réseaux a commencé à être rationalisée dans les laboratoires et pourrait dans un premier temps répondre aux exigences de gestion des flux de données physiques (radiales hydrologiques, séries courantologiques, ...).

Apports de/pour la modélisation

Les campagnes orientées sur l'étude des processus (FETCH, MOOGLI notamment) ont permis le développement de modèles de circulation pour la durée des campagnes (O(mois)) qui se sont révélés très efficaces pour l'interprétation des données. Ce sont les données des ADCP de coque acquises pendant les campagnes qui semblent l'ingrédient essentiel du succès en permettant une caractérisation suffisante de l'état initial et des forçages au large. Cette stratégie fonctionne également avec les données acquises pendant les suivis très courts SARHYGOL (O(jour)) où la couverture spatiale a été optimisée mais, en l'absence de toute autre donnée permettant de caractériser l'état initial à l'échelle de la région d'intérêt (monitoring hydrologique, modèle de plus grande emprise) une base de données comme SAVED ne semble pas à même de permettre ce type de modélisation.

5.1.3. Débats et perspectives :Processus, Monitoring, Paramètres, Echelles

Dans les années à venir, les activités devraient s'orienter vers les études de processus mais également la mise en place d'une capacité de monitoring.

Etude de processus

Les études à venir pourraient se focaliser sur les phénomènes et les processus se déroulant sur le talus continental qui apparaît comme une zone charnière, intéressant à la fois l'océanographie du large et l'océanographie côtière. Une coordination thématique et en terme de moyens entre les communautés concernées est indispensable sur cette zone. Il faut noter que la compétence des stations marines pour l'observation de leur plan d'eau pour des études de processus bien ciblées mais dont les résultats restent parfois difficiles à généraliser en l'absence d'un questionnement scientifique bien identifié.

Les thèmes à privilégier sont en rapport avec les études sur lesquelles la communauté s'est déjà impliquée ces dernières années et devraient se focaliser prioritairement sur le Golfe du Lion, le Golfe de Gascogne et les zones d'upwellings de bord Est :

- plongées d'eaux denses dans le Golfe du Lion, dont l'importance en terme d'export pour le plateau mais aussi à l'échelle de l'ensemble de la Méditerranée doit être mieux comprise et quantifiée,
- upwelling de talus,
- circulations de méso-échelle et subméso-échelle liées au vent, au forçage par les courants de grande échelle et à la topographie,

- ondes d'inertie-gravité, engendrées par les ajustements en rapport avec les phénomènes précités et avec la marée interne.

Il faut noter, qu'en dehors de l'aspect « mesure de routine », les couches en surface et au fond sont toujours très mal connues (profils de vitesse, caractéristiques du mélange, flux...), et mériteraient un effort de mesures ponctuelles dédiées et intenses (voir par exemple le programme C-BLAST aux Etats-Unis). Cette méconnaissance a été une fois de plus mise en évidence lors des débats sur la dérive de la pollution du Prestige. Pour la couche limite de fond, un travail prenant en compte la nature des sédiments est indispensable : il faut des données dans plusieurs types d'environnement afin que ces processus soient correctement paramétrés dans les modèles. Les études à privilégier concernent :

- la couche de surface et ondes courtes de gravité,
- la couche limite de fond, notamment par petits fonds.

Stratégies de monitoring

Le type de monitoring que les laboratoires pourraient contribuer à mettre en place devrait largement s'inspirer d'opérations comme GOLTS (Gulf of Lions Time Series). Ce type d'opération serait conçu pour répondre à un problème donné pour lequel on recherche une caractérisation fine de la variabilité temporelle de la méso-échelle à l'interannuel, voire la caractérisation des tendances liées aux changements climatiques. Elle resterait néanmoins dimensionnée par les capacités d'observation limitées du laboratoire. Un ou plusieurs mouillages instrumentés avec un ADCP, et des radiales hydrologiques par le navire de station sur une base bimensuelle ou hebdomadaire est ainsi un modèle adapté à de nombreuses problématiques physiques et à la mesure des moyens locaux. Cette approche pose naturellement la question de la maintenance et de la gestion du flux de données si un caractère opérationnel (e.g. le temps réel) est demandé par ailleurs et n'est pas forcément adapté à un domaine de plus grande emprise.

L'observation par des plate-formes autonomes ou semi-autonomes (voir ci-dessous) pourrait être une première étape pour aborder le monitoring à l'échelle du plateau. Comme cela est le cas pour l'océan global avec les PROVOR et autres flotteurs profilant, ces plate-formes pourraient fournir opérationnellement le flux de données hydrologiques nécessaires aux modèles de façades. L'observation au moyen de flotteurs profilants (PAGODE) et de capteurs autonomes mis en œuvre (en profilage pendant la mise à l'eau ou la remontée des engins) par les pêcheurs est ainsi envisagée dans le cadre du défi Golfe de Gascogne (RECOPECA), à l'instar de ce qui se fait dans le golfe du Maine (suivi T, S à l'aide de capteurs dans les casiers à homards) et pourrait constituer une première expérience dans ce domaine

Les autres approches (navires d'opportunité, glider et radar) sont présentées en détail plus bas.

Température et salinité. Autres paramètres

La salinité a toujours été reconnue comme un paramètre important aux hautes latitudes et dans les régions côtières mais l'intérêt suscitant une démarche structurée pour des mesures de salinité à l'échelle global est relativement récent (Atkinson et al., 1998). La communauté scientifique reconnaît maintenant l'importance de la mesure de ce paramètre sur le long terme que ce soit à l'échelle globale (réseau GMES, mission SMOS, ...) que plus récemment en zone côtière.

La compréhension des processus côtiers passe impérativement par la mesure de la température et de la salinité, chacun offrant une vue différente sur les processus actifs. La température renseigne sur les échanges de chaleur tandis que la salinité renseigne sur les apports d'eau douce et les mouvements et la dilution de ces apports. Ces deux paramètres ensemble sont des indicateurs sur le transport, le mélange, la stratification, les fronts, ...

Mais si la salinité est un bon indicateur sur les changements à long terme, il est difficile de détecter ces changements en zone côtière en raison de la variabilité très élevée due notamment à celle des apports pluviaux et fluviaux. Sa mesure doit ainsi impérativement s'appuyer sur des séries temporelles avec un bon échantillonnage spatial et temporel. La télédétection de la salinité s'appuyant par exemple sur des signaux d'opportunités (e.g. GPS) en est à ses balbutiements; cette mesure va s'appuyer sur une mesure de surface par TSG (Thermo-Salino-Graphe).

La mesure des courants (surface et colonne d'eau) doit-elle aussi devenir systématique. A noter que la mesure de la turbidité par ADCP est un signal très utile à de nombreuses applications.

Il faut également insister sur le besoin de disposer de mesures météorologiques fiables et systématiques sur navire, qui permettront de valider ou compléter les forçages fournis par les modèles ou analyses météorologiques.

Echelles spatiales et temporelles. Stratégies d'observation

Un effort important doit donc être fait pour l'observation des processus et des échelles allant des méso-échelles aux évolutions induites par le changement climatique par des méthodes classiques, mais également nouvelles (tout au moins pour le milieu côtier : stations fixes, flotteurs lagrangiens, systèmes autonomes autopropulsés ou de type glider, radar HF ou VHF, ...). Les stratégies d'observation doivent être adaptées aux spécificités du milieu côtier (milieu fortement énergétique et soumis aux influences anthropiques) et aux événements rares et intenses (e.g. les fortes tempêtes) qui jouent un rôle majeur pour la caractérisation des flux sur les marges. Ces stratégies d'observation doivent progressivement être en mesure de s'appuyer sur des modèles jusqu'à par exemple pouvoir pratiquer l'échantillonnage adaptatif à partir des informations fournies en temps réel par un modèle de prévision intégrant lui-même les mesures déjà effectuées.

Mais parallèlement, il importe ainsi de mettre en place une stratégie d'acquisition in-situ pour des périodes d'observation longues avec un nombre réduit de paramètres et un échantillonnage spatial optimisé. Ce type de données complétées par la télédétection seront celles qui permettront de construire les analyses de l'état du système répondant tant au client recherche qu'aux gestionnaires du milieu.

5.1.4. Débats et perspectives : Plate-formes d'acquisition

Navires scientifiques de façade et de station. VOS/SOOP

De nombreuses expériences ont démontré l'intérêt des mesures systématisées avec des instruments embarqués sur des navires océanographiques ou pas (TSG, ADCP, XBT, prise d'échantillons d'eau, ...). Les observations réalisées par des navires océanographiques sont généralement effectuées avec une problématique scientifique identifiée et sont de bonne qualité. En revanche, elles fournissent souvent des observations non synoptiques, avec un faible

échantillonnage spatio-temporel, un manque de récurrence, et des lacunes en ce qui concerne l'archivage et la mise en réseaux.

Les programmes de type VOS (Voluntary Observing Ship) et SOOP (Ship Of Opportunity) avec des centrales d'acquisitions complètement automatisées sont une bonne solution pour atteindre un échantillonnage spatio-temporel acceptable. En revanche, cela nécessite un service d'exploitation chargé de la maintenance des systèmes de mesure et de la bancarisation des données et pose des problèmes d'inter-calibration, de mise en place, et de coût initial d'installation. Mais il faut noter que les compagnies engagent leurs ferries sur des programmes de navigation connus à l'avance sur une longue période (O(5 ans)), ce qui est un atout remarquable pour concevoir un échantillonnage s'appuyant sur ces navires.

Les exemples européens (FerryBox : 9 lignes de ferries en Mer du Nord, Baltique et Egée) ou américains (Seakeepers, Fleetlinks) sont particulièrement instructifs et peuvent offrir dans l'immédiat leur structure de projets à des initiatives pionnières comme c'est le cas pour le Laboratoire d'Océanologie Biologique de Marseille (installation d'un module Seakeepers sur un ferry de la SNCM). Ce type de projets montre que les ingrédients du succès sont les suivants :

- Dimension inter-organismes : les acteurs potentiels sont les EPR, EPIC, services centraux, associations (contrats de baie, syndicats intercommunaux), la Marine Nationale, les compagnies de navigation.
- Opportunités offertes par les différents types de navigation commerciale ou de loisir (cargos, paquebots et ferries, pêche, la navigation privée, SNSM, ...).
- Partage de compétences techniques, sur une base non-marchandes.
- Capteurs et systèmes embarqués (Capteurs de surface : SST, SSS, turbidité, fluorescence, nutriments, chlorophylle, métaux lourds, dioxyde de carbone, CPR (Continuous Plankton Recorder)).
- Télédétection et capteurs de sub-surface : ADCP, engins remorqués (e.g. SEASOR, chaluts...) préleveurs d'eau, centrale d'acquisition incluant l'acquisition de la navigation, et idéalement centrale météo.
- Collecte à terre : Délocalisation des centres de collecte, mise en réseau, analyse et contrôle, archivage et distribution.

Les flotteurs profilants

Les flotteurs profileurs adaptés au milieu côtier pourraient fournir opérationnellement le flux de données hydrologiques nécessaires aux modèles de façades. Plusieurs projets contribuent au développement des instruments et à la validation du concept (PAGODE, SWARM, ...). Le PAGODE développé par IFREMER est adapté du PROVOR ; il reste posé sur le fond (jusqu'à 400 m) entre deux profils verticaux réalisés jusqu'en surface où il transmet les données. Il devrait bientôt être évalué dans le cadre du défi Golfe de Gascogne où il répondrait au besoin de mesures multiparamètres en zone exposée (au large des îles) qui ne pourra probablement pas être techniquement couvert par des bouées MAREL.

Les engins remorqués

L'utilisation de capteurs remorqués est une technique, déjà classique, qui permet d'assurer un recueil de données au sein de la masse d'eau (typiquement sections verticales jusqu'à 300 m) dans une zone de grande étendue selon une stratégie compatible avec l'échelle de variabilité

temporelle des phénomènes sur le plateau. Là encore, il s'agit moins de développement que d'équipement.

Les AVs ou AUVs

Véhicules propulsés. Les AUV commercialisés sont assez nombreux. Les problèmes d'utilisation sont les mêmes que pour les bouées : chalutage.... Ce type d'appareil peut être mis en œuvre depuis un navire léger (de station). IFREMER devrait acquérir un AUV par façade, qui serait mis partiellement à disposition de la communauté scientifique dans le cadre des chantiers du PNEC. En raison de leur coût, ce type d'appareil semble limité à des utilisations « études de processus ».

Glisseurs ou Gliders. Les glisseurs (planeurs) ou gliders en anglais sont littéralement des planeurs sous-marins autonomes de petite taille (ordre 50 kg, 1 m) réutilisables. Ils ont été récemment développés aux Etats-Unis et en France et conçus pour plonger, dans une direction donnée, de la surface jusqu'à une profondeur prédéterminée et ensuite remonter en surface. Ils peuvent ainsi mesurer des paramètres physiques et biogéochimiques (température, salinité, courant moyenné sur la verticale, O₂, chlorophylle, rétrodiffusion optique...) le long de trajectoires en dents de scie à travers l'océan, réalisant ainsi un très bon échantillonnage le long d'une section verticale de l'océan. Ils commencent à être utilisés aux Etats-Unis dans le contexte de campagnes océanographiques. Les glisseurs existent pour des applications côtières avec des immersions de l'ordre de 200 m ou hauturières avec des immersions qui peuvent atteindre aujourd'hui 1500 m.

Ayant une autonomie (qui reste à démontrer) de 2000 km à 7000 km, ces instruments présentent un grand intérêt pour des applications opérationnelles. Etant capables de remonter la plupart des courants océaniques (très intenses surtout en surface), on peut les forcer à effectuer des mesures le long de sections au travers de l'océan ou encore les utiliser en mode « mouillage virtuel » au sein d'une même zone d'extension réduite. En fait, on peut concentrer les mesures là où on veut, en fonction des objectifs. Leur coût réduit (prototype de l'ordre de 50000 € pièce actuellement) permet d'envisager la constitution de réseau de mesures, de la même façon que les flotteurs profileurs sont actuellement utilisés dans le cadre du réseau ARGO.

Dans le cadre de MFSTEP (Mediterranean Forecasting System, projet européen d'océanographie opérationnelle), un glisseur de type SLOCUM de la firme américaine Webb Research Corporation naviguera en mer Ionienne à l'automne 2004 le long d'une radiale Italie-Lybie. Une chaîne d'acquisition en temps quasi-réel devrait être mise en place. Par ailleurs, le projet intégré MERSEA prévoit dans les 4 ans de mettre en œuvre 5 gliders dont 2 qui seront acquis fin 2005. L'ENSIETA a développé un prototype (le STERNE) aux performances hydrodynamiques remarquables avec un programme de navigation qui l'apparente aux prototypes côtiers (immersion de l'ordre de 200 m) américains. Des tests dans le contexte d'une campagne océanographique sont envisagés dans un proche avenir.

Les stations fixes

Les stations fixes de mesure constituent une source de données haute fréquence des grandeurs physico-chimiques de base (à la condition que des capteurs existent en version industrielle pour la mesure de ces paramètres). Installées sur des sites judicieusement choisis (estuaires ou zones d'intérêt socio-économique sensible au plan environnemental) ou bien mouillées plus au large, elles peuvent servir de référence spatiotemporelle utile pour la validation des modèles d'écosystèmes et de leurs prédictions.

Plusieurs bouées météorologiques et océanographiques côtières sont actuellement en activité sur la façade Atlantique et Méditerranéenne. Les bouées de type MAREL sont gérées par l'IFREMER. La bouée de type Technicap mise en oeuvre récemment par le CEFREM en Méditerranée devrait permettre de conclure sur les capacités de maintenance par un laboratoire. Ces plates-formes fournissent en temps quasi-réel des séries temporelles à haute fréquence des conditions météorologiques, hydrologiques, courantologiques locales. Bien qu'ayant une représentativité spatiale restreinte, elles peuvent fournir des informations sur l'évolution temporelle de structure de la colonne d'eau (stratification, épaisseur des couches de mélange de surface et de fond). Elles peuvent servir en outre de zone de mouillage "sécurisé" pour d'autres instruments (ADCP de fond, tripodes pour l'étude de la couche de fond). Le treuil automatique de fond semble également une plate-forme simple à promouvoir et développer pour réaliser des profils automatiques verticaux.

L'IFREMER a développé au cours de ces dix dernières années une gamme de stations automatisées pour la mesure à haute fréquence des grandeurs caractéristiques de l'état hydrologique des eaux côtières : le système MAREL, installé en baie de Seine depuis 1996 et en mer d'Iroise depuis 2000. L'expérience ainsi acquise a permis de confirmer le choix du concept (pompage des échantillons, capteurs en ligne, protection du circuit hydraulique par chloration intermittente, capacité de télécontrôle et de télémaintenance) et de la méthodologie de mise en oeuvre (maintenance externalisée des installations, procédure d'assurance qualité métrologique et validation des données à l'aide d'un outil logiciel d'aide au contrôle qualité des données). Plusieurs autres stations sont aujourd'hui en cours de construction notamment à Boulogne (une station) et dans l'estuaire de la Gironde (4 stations).

Il est à noter que la plupart des réseaux MAREL existants ou en développement ont tous été financés par des collectivités territoriales et les agences de l'eau avec le concours de l'Etat et de l'Europe. Ils sont exploités à leur profit mais les données restent disponibles gratuitement à des fins d'usage scientifique.

Le retour d'expérience acquis par l'exploitation de ces stations pendant plusieurs années et l'apparition sur le marché de nouvelles sondes multiparamètre fiables ont permis de faire évoluer les systèmes instrumentaux vers des systèmes plus simples à installer et à opérer et surtout moins coûteux à qualité de mesures égale.

5.1.5. Débats et perspectives : Télédétection

Satellites

Altimétrie. Il semble que l'apport de l'altimétrie soit globalement bien moindre pour l'océanographie côtière que pour l'océanographie hauturière, et ce pour plusieurs raisons :

- l'importance moindre de l'équilibre géostrophique et donc de la hauteur dynamique pour déterminer le courant, à cause des processus de friction et d'un intérêt clair pour la petite échelle,
- la fiabilité non-avérée de l'altimètre en zone côtière et la résolution insuffisante des altimètres actuels.

On peut espérer une amélioration avec Jason 2 (WSOA) et des programmes d'altimétrie en bande C, Ku ou Ka basé sur des constellations de satellites (AltiKa, WITTEX) mais cela ne règlera probablement pas tous les problèmes.

Circulation. Les techniques d'estimation de la circulation côtière comme le MCC (méthode de corrélation de type « PIV » à partir d'images de SST), aussi applicable à la couleur de l'eau développé par Emery & al. (1992) ou Tokmakian & al. (1990), mais aussi l'exploitation du signal Doppler d'images radar (Romeiser & al., 2002 et 2003 pour le futur TerraSAR en bande X), pourraient se révéler utiles mais en restant sans doute limitées à des études de cas.

Visible. La radiométrie passive dans le visible permet d'accéder à des quantités comme le contenu en chlorophylle ou la MES (couleur de l'eau). L'amélioration des algorithmes de restitution pour les eaux côtières, qui est actuellement en cours, devrait permettre une utilisation systématique de ces images optiques pour quantités de vues comme des traceurs des processus dynamiques ou pour la validation des modèles.

Téledétection depuis de littoral ou sur navire. Signaux radio d'opportunité

Les radars Haute Fréquence sont probablement une des technologies les plus mûres permettant de couvrir l'ensemble de la zone côtière (parfois jusqu'à la limite de ZEE) pour la mesure du courant de dérive en surface. Pour la zone littorale, des essais en UHF par le LSEET permettent d'espérer une couverture à plus haute résolution. L'exploitation des signaux de radar en bande X (systèmes MIROS, WaMoS ou autre) pour estimer les courants de surface est une technique très prometteuse (estimation utilisant la relation entre courant de surface, spectre en nombre d'onde et spectre en fréquence des vagues, ces deux derniers étant mesurés par ce radar). L'exploitation de ces mêmes signaux pour la mesure des états de mer à partir d'un navire ou de la côte est globalement satisfaisante mais nécessite un effort de validation supplémentaire. Enfin, l'utilisation de signaux d'opportunité réfléchis par l'océan (GPS, télévision numérique hertzienne, ...) en est encore à ses balbutiements et doit faire ses preuves, pour la mesure altimétrique, l'état de mer, ou encore le vent.

5.1.6. Débats et perspectives : Partenariats. Services d'observation. Logistique

Les opérations multiorganismes

On peut considérer qu'il n'existe pas de réseaux opérationnels in-situ pour l'acquisition de paramètres physiques pour le milieu côtier en France, à l'exception de la mesure du niveau de la mer par marégraphes (SONEL) qui constitue un réseau opérationnel au sens propre, et d'opérations de démonstration comme SAVED.

Le programme SONEL est un exemple instructif. Il est développé par l'IGN et le SHOM, et a pour but d'organiser sur le plan national les efforts et ressources en matière de marégraphie et de géodésie spatiale pour mesurer le niveau de la mer. L'objectif est de mettre à la disposition des utilisateurs des produits élaborés à partir des techniques d'observation et d'analyse existant dans ces deux domaines. SONEL n'a pas à proprement parler de réseau d'observatoires, et constitue plutôt une fédération de réseaux indépendants sous la responsabilité d'organismes partenaires : La plupart des ressources existent déjà, et nécessitent simplement un effort de coordination et des développements qui apporteront la cohérence nécessaire à leur exploitation.

Pour SAVED, on s'est trouvé aussi devant un cas de coopération dans le domaine de l'océanographie côtière à vocation opérationnelle : Région PACA, Agence de l'Eau, INSU, et bureau d'étude. Mais, maintenant que la faisabilité de l'acquisition/distribution de la donnée a été démontrée, l'intérêt opérationnel de cette base pour les clients de l'AGE reste toujours à démontrer. Cela est probablement dû au manque de communication entre les différents

organismes, et dans l'absence d'objectif stratégique initial commun. Cependant, et même s'il convient de s'interroger sur les stratégies de valorisation de telles données si elles restent limitées à un navire par façade, SAVED démontre qu'un projet initié par un scientifique peut recueillir l'adhésion d'organismes extérieurs dès l'instant que d'autres clients que le seul besoin recherche sont prévus dans le projet.

Partenariat scientifique avec le SHOM

Les scientifiques du SHOM œuvrent avec leurs partenaires au développement de modèles côtiers couplés pour la circulation et les vagues, englobant la zone littorale caractérisée par le déferlement des vagues, avec comme vocation leur utilisation opérationnelle pour la prévision avec des échéances de l'ordre de une semaine. Il existe un besoin fort de validation de ces modèles. Plusieurs campagnes sont prévues dans le cadre du Plan d'Etude Amont (PEA) « Modélisation d'un théâtre d'opérations navales » et du PEA actuellement en projet « ECORS » (dynamique littorale) ainsi que dans le prolongement du projet MODYCOT, en commun avec Ifremer, pour le suivi des panaches et de la turbidité sur le PCAF (Plateau Continental Atlantique Français). Ces campagnes sont généralement ouvertes à toute collaboration extérieure comme cela a pu être le cas de la campagne EPEL-GNB 2003 qui a été réalisée en parallèle de campagnes du PNEC pour le chantier Mont St.-Michel. Dans la mesure de ses moyens, le SHOM est disposé à contribuer et participer à d'autres campagnes qui peuvent fournir une validation des modèles en développement, les thèmes essentiels étant la circulation côtière, la turbidité et le couplage atmosphère-vagues-circulation-sédiments superficiels. Par ailleurs, le SHOM a amorcé le processus d'acquisition d'un système radar HF pour la mesure des courants et états de mer avec une installation de plusieurs années prévue en Iroise et une expérimentation sur la côte aquitaine. L'ensemble de ces données sera publique et le SHOM invite les laboratoires à les utiliser et participer à leur interprétation scientifique.

SOMLIT (Service d'Observation en Milieu Littoral). ORE, OOE

Ils ne fournissent que des paramètres hydrologiques, trop localisés ; à noter qu'une politique de diffusion de ces données se met en place (sites WEB, ...). Voir par exemple [http://www.obs-
vlfr.fr/jgofs/html/bdjgofs.htm](http://www.obs-vlfr.fr/jgofs/html/bdjgofs.htm)

Les actuels SOMLIT sont susceptibles de devenir des ORE (Observatoires de Recherche en Environnement) voire des OOE (Observatoires Opérationnels en Environnement). Les ORE et OOE visent à définir et piloter une stratégie nationale d'observation et de surveillance de l'environnement (pas uniquement marin). Le but est de concilier les objectifs de recherche des scientifiques et ceux opérationnels des décideurs et gestionnaires en matière d'environnement, en mettant au point une stratégie d'observation.

Le but est de produire des séries de longue durée concernant l'état et de fonctionnement des systèmes environnementaux pour connaître leur état et leur évolution sous l'effet des pressions anthropiques ou des aléas naturels. Ils doivent s'inscrire dans un contexte international : recherche sur le changement climatique, la biodiversité... Ils sont supposés se constituer à partir des universités et des organismes de recherche.

En côtier, les actuels SOMLIT donneraient les ORE, la création d'OOE venant alors en complément. Le nombre total d'ORE étant limité, il aurait donc un unique ORE marin. La priorité est mise sur la mise en place de systèmes d'acquisition régulière de données sur de longues périodes (supérieures à dix ans) dans un cadre pérenne.

Gestion des données, archivage

A court terme, SISMER peut contribuer au travail d'inventaire des données et de publicité/diffusion que les participants au séminaire jugent indispensables. Cette activité concerne :

- les données, qui ne sont pas toutes dispersées, car l'IFREMER/SISMER opère selon sa mission nationale l'archivage et la diffusion des données océanographiques. Ce service compile et sauvegarde systématiquement les copies des données et méta-données qui lui sont confiées, ceci selon les normes internationales (formats documentés unifiés et indépendants des systèmes utilisés à l'origine, contrôles de qualité normalisés) et il serait possible de mettre en ligne un état des lieux, façade par façade, de ce qui est disponible.
- les inventaires des données des laboratoires (EDMED : European Directory of Marine Environmental Data) et des observatoires opérationnels (en majorité côtiers) (EDIOS : European Directory of the Initial Ocean-observing System) qui sont déjà réalisés et disponibles. Ils sont en principe remis à jour régulièrement. Un travail similaire d'inventaire a été déjà effectué dans le cadre du défi Golfe de Gascogne (accès restreint actuellement).
- des compilations de données et création de produits. Ces dernières années, SISMER a été, dans le cadre de projets européens (Mater, Medar) maître d'œuvre de grands projets de compilation de données dans la Méditerranée et cette expérience a été mise à profit dans le cadre du défi Golfe de Gascogne pour constituer avec l'apport du SHOM et du Centre Mondial de Données Hydro une vaste compilation qui aboutira à la production d'une climatologie. Ces opérations mettent en oeuvre des standards et procédures maintenant bien rodées, des outils de mise au format, contrôle et diffusion dont nous disposons. Elles demandent bien sûr un minimum d'investissement et SISMER est prêt à discuter avec la communauté scientifique concernée de la possibilité d'appliquer cette démarche aux autres façades si elle est jugée utile.

Lien avec SISMER et CORIOLIS

Différents organismes pourraient contribuer à une démarche de mise en place d'une organisation opérationnelle des réseaux d'observation de l'océanographie côtière. SISMER notamment, en tant que centre national de données océanographiques et Coriolis, opéré par SISMER dans un contexte multi-organismes en tant que service opérationnel de collecte et de diffusion de données, pourraient ensuite contribuer au fonctionnement de ces réseaux.

Coriolis est l'outil que la communauté scientifique hauturière s'est forgé dans une perspective opérationnelle définie par les organismes contributeurs. La question de son extension au domaine côtier va se poser dans les années qui viennent. Cette extension ne devrait pas poser de grands problèmes techniques et d'organisation tant qu'il s'agira d'acquérir à partir de systèmes et de type de données que nous maîtrisons (Profileurs Pagode, Marel, données navires normalisées,...). Mais il faudra aussi adapter ce service à d'autres types de données (ADCP) et à d'autres besoins, et sans doute revoir l'organisation pour travailler avec de nouveaux partenaires.

Logistique externe

Pour la mesure in-situ Eulérienne, un des points crucial est la « pérennité » de la plate-forme dans des zones de forte activité humaine (pêche de coquillages par exemple). Le problème se pose aussi pour les AUVs. En ce qui concerne des mouillages autonomes sur le fond, la concertation avec les usagers de la mer, et en particulier les comités des pêches est primordiale, et la définition d'un protocole commun national entre les différents acteurs (Laboratoires, SHOM, IFREMER, CETMEF, ...) permettrait une meilleure compréhension de la part de nos interlocuteurs. Il semble que le marquage en surface des mouillages associé à une communication, même s'il excite la curiosité, a permis un meilleur succès que les développements de cages anti-chalutage. Cette « présence » en surface peut aussi être le moyen de mettre en place une transmission radio pour une utilisation « opérationnelle » des données.

A noter que l'équipement des balises de navigations sont des plate-formes de mesures fiables, régulièrement visitées par les services maritimes et souvent pourvues d'énergie.

Les flottes de pêche peuvent offrir une excellente base d'observation, qu'il s'agisse d'observation de paramètres physiques ou bien sûr halieutiques. Si on ne peut envisager maîtriser l'échantillonnage spatial, la couverture temporelle, en particulier par gros temps, peut se révéler très bonne. L'opération RECOPECA entreprise dans le cadre du défi Golfe de Gascogne d'IFREMER en est un exemple.

5.1.7. Conclusions et recommandations

- Campagnes orientées vers l'étude des processus. La réalisation d'expériences à la mer coordonnées et structurées autour d'un problème scientifique ciblé doit devenir plus systématique. Le soutien de ce type d'opération est naturellement du ressort du PATOM. En rapport avec les priorités affichées par le PATOM (cf. le document de prospective 2004-2007) et avec certaines des problématiques PNEC, ces opérations devraient porter en priorité sur l'étude de la variabilité des courants sur le talus et des échanges côte-large qui y sont associés.
- Réseaux d'observations. Nécessité d'acquérir des séries temporelles longues de paramètres essentiels (température, salinité, courant) au sein de "réseaux" (stations fixes, navires d'opportunité, flotteurs et AUV). Nécessité de définir les contraintes humaines et matérielles de maintenance des systèmes d'acquisitions.
- Développement et maîtrise de nouvelles techniques. Il est important de participer au développement, à l'évaluation, et d'acquérir la maîtrise des nouveaux moyens d'observations que sont les AUV, propulsés ou non.
- Télédétection satellitale. Exploitation systématisée des images optiques et évaluation des nouvelles données altimétriques.
- Télédétection hertzienne. Développer une approche systématisée pour la couverture côtière par radar HF ou VHF pour la mesure du courant de surface et pour le monitoring.
- Navires scientifiques. Pour des opérations longues d'emprise régionale, éventuellement répétitives, les navires de façade sont parfois sous-dimensionnés. De son côté, le Suroît n'est pas toujours adéquat (par ex. ADCP limité à 300 m) pour ce type d'opération. Par

ailleurs, ce dernier avançant en âge, il importe d'intégrer les contraintes de ce type d'opération dans la définition de son successeur.

- Les navires de façade constituent de facto des navires d'opportunités lors de leurs transits fréquents entre les laboratoires. Pendant ces transits, comme pendant les campagnes scientifiques, l'acquisition en routine des principaux paramètres de surface de même que les courants sur la colonne d'eau doit être systématisée. La gestion de ces données doit également être centralisée dans un service national.
- Définition des besoins en gros équipements. Les besoins lourds en équipement devraient logiquement porter sur :
 - la constitution d'un parc national de capteurs classiques (CTD, courantomètres classiques, ADCP, ...) et de la logistique ou des plate-formes de mouillages.
 - l'équipement en TSG, ADCP de coque et CPR (Continuous Plankton Recorder) des navires de façade, voire des navires de station, et de ferries,
 - l'acquisition de bouées fixes pour mouillage au large,
 - l'acquisition d'ADCP pour des mouillages classiques,
 - l'acquisition de profileurs autonomes profileurs pour le côtier,
 - l'acquisition ou le développement d'une flottille de gliders,
 - l'équipement de certains navires de recherche du système WAMOS,
 - l'acquisition de radars HF ou VHF pour la télédétection des courants de surface.

La question des priorités et des organismes porteurs reste posée.

- Mise en place de prototypes de réseau. La mise en place de réseaux d'observation (y compris le traitement, la calibration et la diffusion des données), pour un objectif de recherche devrait idéalement se faire en liaison avec d'autres objectifs plus applicatifs et les organismes concernés par ces applications. Une structure de projet avec le choix d'un organisme porteur adéquat peut être une voie à encourager.
- Partenariats. Insertion nationale et internationale. Les observations in-situ de longue durée dans la zone côtière resteront difficiles à réaliser tant au voisinage de la côte que sur le talus. L'organisation de partenariats au sein des organismes scientifiques permettrait une meilleure efficacité et des projets scientifiques plus ambitieux. Dans cette optique, le support d'autres organismes et services de l'Etat (CETMEF, CETE, AGE, ...) doit impérativement être recherché tant au niveau des scientifiques que des tutelles. Enfin, il existe au niveau international une dynamique soutenue pour mettre en place la connaissance et les outils nécessaires à la gestion des milieux côtiers et de leurs ressources. Il est essentiel de veiller dès aujourd'hui à intégrer les initiatives françaises dans ce contexte international.

5.1.8. Bibliographie

- Larry Atkinson, Catherine Woody, 1998. Salinity Measurements in the Coastal Ocean Workshop. <http://www.ccpo.odu.edu/~carole/salinityreport.html>.
- Emery W.J., C.W. Fowler, C.A. Clayson, 1992: Satellite image derived Gulf Stream currents. J. Atmos. Ocean. Tech., 9, 285-304.
- Petrenko A., Leredde Y. et Marsaleix P., 2003..Circulation in a stratified and wind-forced Gulf of Lions, NW Mediterranean Sea: in-situ and modeling data. Continental Shelf Research, en préparation.

- Roland Romeiser, Helko Breit, Michael Eineder, Hartmut Runge, Pierre Flament, Karin de Jong, and Jur Vogelzang. On the Suitability of TerraSAR-X Split Antenna Mode for Current Measurements by Along-Track Interferometry. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 2:1320-1322, July 2003 .
- Roland Romeiser, Helko Breit, Michael Eineder, and Hartmut Runge. Demonstration of Current Measurements from Space by Along-Track SAR Interferometry with SRTM Data. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, 1:158-160, June 2002.
- Russ E. Davis, Charles C. Eriksen, Clayton P. Jones. Autonomous Buoyancy-driven Underwater Gliders. The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles, G. Griffiths, ed., Taylor and Francis, London, 2002.

5.2. Modélisation

5.2.1. Etat des lieux

Modèles de circulation

Un tableau rassemblant les caractéristiques des modèles utilisés par la communauté française a été établi (voir Tableaux 1a et 1b). Ce tableau illustre la variété de modèles utilisés (8 modèles différents), et permet d'identifier les principales différences et similarités. On peut toutefois définir des classes de modèles en fonction de leur type de coordonnées ou de leur méthode numérique.

Tous les modèles 3D utilisent la méthode de séparation des modes internes et externes (ondes de surface). Les modes externes sont explicites ou semi-implicite (ADI). Par contre, les couplages des deux modes sont spécifiques à chaque modèle, et sont en général directs. Seul le modèle MARS utilise une méthode itérative pour le couplage qui permet d'augmenter les pas de temps. La majorité des modèles utilisent des méthodes en différences finies (généralement d'ordre 2). Seuls les modèles Télémac et Mog 2D/3D sont basés sur les éléments finis. Les modèles Siam et Roms et OPA utilisent des systèmes de transformation des coordonnées horizontales qui permettent des raffinements locaux tout en conservant un maillage structuré.

Les systèmes de coordonnées verticales sont très variés. Plusieurs modèles (Hycom, Mog, OPA) proposent différents systèmes à l'utilisateur. Les coordonnées sigma sont les plus utilisées. Cependant, le niveau de sophistication de ces coordonnées est variable d'un modèle à l'autre, avec des conséquences pour le traitement du talus. Les coordonnées géopotentielle sont utilisées par les modèles Siam et proposées dans OPA. Un système hybride sigma – « marches d'escalier » est proposé dans Symphonie.

Les moyens affectés au développement sont très variables. Le modèle Télémac (LNHE) bénéficie de moyens importants (10 ingénieurs). Les modèles américains bénéficient également des moyens importants. A l'inverse, les modèles des laboratoires CNRS/Université (à l'exception d'OPA) sont développés et maintenus par les chercheurs sans le soutien d'ingénieurs. La question du manque de soutien technique à la communauté recherche pour le développement et les applications a souvent été relevée.

La convergence des différents modèles vers un modèle unique ou communautaire n'a pas soulevé un enthousiasme général. Les équipes se sont accordées sur le fait que la diversité, si elle traduit des différences fondamentales entre les modèles est un facteur-enrichissant pour la recherche. La communauté s'est accordée sur le fait que dans le futur les développements devraient être concertés et pourvoir bénéficier au plus grand nombre. On peut donc espérer à moyen terme, une convergence vers un nombre limité de modèles pour lesquels plusieurs équipes s'investissent.

Tableau 1-a: Inventaire et caractéristiques des modèles de circulation utilisés dans le domaine côtier

Nom du modèle Laboratoire d'origine	Laboratoires utilisateurs	Moyens affectés au développement	Gamme d'échelles spatio-temporelles traitées	Couplage	Assimilation	Transfert d'échelle
<i>HYCOM</i> <i>RSMAS</i>	<i>Usa</i> : RSMAS, LANL, NCEP, Univ Wash., NASA/GSFC, NOAA/OML, GFDL, NRL, WHOI... <i>Europe</i> : NERSC, DNMI, SOC... <i>France</i> : LEGI, SHOM/CMO...	De l'ordre de 5 ingénieurs (dont environ 0.5 ingénieur équivalent temps plein en interne au SHOM/CMO)	100m-100km Journée à variations climatiques.	Biochimie Modèle atmosphérique	Assimilation de données selon différentes techniques (OI, filtrage adaptatif, méthodes d'ensemble)	one way simple avec méthode des caractéristiques pour traiter les ondes de gravité de surface.
<i>MARS</i> <i>Ifremer DEL/AO</i>	Labo côtiers ifremer IRSN Bureaux d'études	1 ingénieur temps plein 1 postdoc (parallélisation)	50m-5km De la semaine à la décennie. De la baie (qq km) à la façade (qq 1000 km)	Biologie Sédimentologie Bactériologie Suivi lagrangien	Non	One way AGRIF (one way,two way)
<i>MOG2D-3D</i> <i>POC/LEGOS</i>	LEGOS BIO (Halifax, Canada) Puertos del Estados (Madrid, Espagne) DMI (Copenhague, Danemark) Université de Tunis	Développement par équipe chercheurs 1 permanent CNRS 1 permanent DMI 1 postdoc (BIO)	10 m à 100 km de quelques heures à un mois	Glace de mer Traceurs lagrangiens	Représentateurs, OI, EnKF	Au besoin, imbrication one way avec méthode radiative sous contrainte aux frontières
<i>OPA</i> <i>LODYC</i>	Communauté climat et hauturier (48 sites dans le monde dont 18 en France) Mercator, Hadley Centre En côtier: LODYC, LSEET, LEGI, UBO, Hadley Centre	Equipe système OPA 2.5 ingénieurs + 1 ingénieur Hadley Centre à partir de 2004 + utilisateurs / développeurs sur les applications	Du millier d'années à au cycle diurne. Du global au régional côtier. 400 km – 1 km	Bio-géochimie Atmosphère Glace de mer	Assimilation de données selon différentes techniques (OI, SEEK, 3D et 4Dvar)	One-way, two- way AGRIF et frontières ouvertes
<i>ROMS</i> <i>Rutgers & UCLA</i>	Laboratoires côtiers sur les 5 continents	De l'ordre de 5 ingénieur temps plein sur le kernel + utilisateurs / développeurs sur les applications	100m – 100km Diurne – multidécadale	Biogéochimie ; Ecosystème ; Qualité de l'eau ; Sédiments ; Flotteurs Lagrangiens ;	VAR3D ; OI ; Filtre Kalman ; F. de Green ;	One-way, two- way AGRIF + méthode caractéristiques pour mode barotrope
<i>SIAM</i> <i>Ifremer DEL/EC</i>	IFREMER/(DEL/EC, DEL/PC et DRO/GM) CREMA Ecole des Mines universités Bordeaux, La Rochelle	2 chercheurs.an pour le développement hydrodynamique + couplages. 0.5 chercheur par an pour les évolutions	Résolution de 100m à 10 km, de l'estuaire (qq km) à la région côtière (100 km), de qq minutes (glissements) à qq décennies (couplages morphodynamiques en 1D cross-shore)	Transport sédimentaire et échanges particulaires et dissous avec le sédiment, chimie (adsorption/ désorption), écologie	Non	Maillage cartésien irrégulier (raffinement à la côte).
<i>SYMPHONIE</i> <i>POC/LA</i>	LA, LEGOS, LSEET, COM, CEFREM, OOB	Développement par équipe chercheurs du LA + développeurs sur applications	100m-3km De quelques à jours quelques mois	Biologie sédiment	Représentateurs, OI, Méthodes d'ensemble	One way « Symphonie/ symphonie » Imbrication OGCM/symphon iepar méthode variationnelle (VIFOP & MPV
<i>TELEMAC</i>	<i>France</i> : CLDG, LEGI, HMG, ESIM, Muséum National d'Histoire Naturelle, LASAGEC, IMST, CETMEF, SHOM/CMO, LNH, SOGREAH... <i>Europe</i> : BAW, Université de Karlsruhe, Delft Hydraulics, HR Wallingford, Univ. de Tweente	10 ingénieurs temps complet	Pas de limite ni spatiale, ni temporelle	Qualité de l'eau, sédiment	Non	Eléments finis

Tableau 1-b: Principales caractéristiques techniques

Nom du modèle Laboratoire d'origine	Coordonnées verticales	Surface libre	Schémas temporels	Schémas d'advection	Schéma de fermeture turbulente
<i>HYCOM</i> <i>RSMAS</i>	Hybride (isopycnal,z,sigma)	Oui	Splitting pour la partie barotrope. Schémas Explicites Leap-frog (+euler)	MPDATA pour traceurs, Sadourny ou « de type QUICK » pour les vitesses (moment) Adv. Verticale (nécessaire seulement si coordonnées z ou sigma) : schéma d'ordre 1.	Kraus-Turner, KPP, Canuto
<i>MARS</i> <i>Ifremer DEL/AO</i>	Sigma	Oui Prise en compte des bancs découvrants automatique	ADI Procédure de couplages des modes interne et externe itérative	Quickest	1 eq. pronostique pour ECT et 1 eq. diag. pour longueur mélange
<i>MOG2D-3D</i> <i>POC/LEGOS</i>	Plusieurs choix et combinaisons possibles : Sigma généralisé, z ou Isopycnal	Oui Prise en compte des Bancs découvrants	Splitting pour la partie barotrope (option semi- implicite ou explicite ordre 4), schémas explicite Leap-frog	1 ^{er} ordre upstream ou 2 ^{ème} ordre RK explicite 2 ^{ème} ordre upstream pour traceurs	Modifié MY2.5 (Galperin, 1988)
<i>OPA</i> <i>LODYC</i>	Géopotentielle avec ou sans partiel steps et/ou Sigma généralisé avec rotation des opérateurs de diffusion	Oui	Leap frog + euler forward et backward Splitting explicite pour la surface libre en cours de validation	Arakawa centré, TVD, Muscl, ou Smolarkiewicks	TKE, KPP, ou Richardson dépendant
<i>ROMS</i> Rutgers & UCLA	Sigma généralisée	Oui	- Splitting explicite avec filtre temporel optimisé (en cosinus) - Schémas predicto-corrector Leapfrog-Adams-Molton (ordre 3)	- Horizontale: upstream, ordre 3 (type QUICK) - Verticale : parabolic splines (équivalent ordre 8 pour propriétés de dispersion)	KPP MY2.5 (sur certaines versions)
<i>SIAM</i> <i>Ifremer DEL/EC</i>	Géopotentielle, couches d'épaisseurs localement variables près du fond et de la surface	Oui	Mode barotrope ADI, ? T variable. Mode barocline explicite en horizontal, semi- implicite sur la verticale	Schéma de Bott (1989) pour le transport de constituants	Longueur de mélange avec amortissement des turbulences (fonction empirique de Rigrad.) et accroissement non newtonien de la viscosité dans fortes concentrations particulaires.
<i>SYMPHONIE</i> <i>POC/LA</i>	Hybride sigma/step	Oui	Leap frog	Version standart : Hybride « centré/upstream » Voir aussi développements communauté des utilisateurs (LSEET) : TVD, QUICKNV	Schéma de Gaspar : 1 eq. pronostique pour ECT et 1 eq. diag. pour longueur mélange voir aussi développements communauté utilisateurs (LSEET)
<i>TELEMAC</i>	Sigma Sigma double	Oui	Pas de temps fixe ou variable	Caractéristiques ou semi- implicites	2D : k-ε, viscosité turbulente, Elder, Smagorinsky 3D : k-ε, viscosité trubulente, longueur de mélange

Modèles de vagues

Si les vagues sont un processus fondamental pour l'océanographie littorale, elles ont également un rôle très important sur certains aspects de l'océanographie côtière. La prise en compte des vagues, soit par une paramétrisation, soit le couplage entre modèles de vagues et modèles de circulation dans le domaine côtier est donc une activité à développer. Un tableau récapitulatif (sans doute non exhaustif) des modèles de vagues est présenté (Tableaux 2a et 2b).

On distingue deux grandes familles de modèles, les modèles spectraux et les modèles en domaine temporel. Ces modèles peuvent par ailleurs être basés sur les équations d'Euler ou leur approximation de Boussinesq.

Les modèles actuellement les plus développés et fournissant une information à des échelles compatibles avec les modèles de circulation sont probablement les modèles de type WAM qui intègrent une équation d'évolution du spectre. On citera en particulier WAM, SWAN, TOMAWAC et Wavewatch III. Ces modèles peuvent fournir, outre une information spectrale (fréquences et directions) sur l'état de la mer, des statistiques de vitesse, une information de rugosité de surface, de couverture d'écume et d'intensité du mélange en surface qui sont encore assez peu exploitées et donc peu validées, à l'exception de la tension de cisaillement au fond, déterminante pour la dynamique sédimentaire.

Les défis actuels concernent la prise en compte de la houle dans l'évolution de la mer du vent, les interactions vagues-courants et les interactions vagues-fond, en particulier la dissipation des vagues sur fond vaseux.

Les abords du littoral sont mal représentés par ces modèles qu'il vaut mieux alors remplacer par une prise en compte interactions de trois vagues, soit par l'adjonction d'une équation d'évolution du bispectre, soit par le passage au domaine temporel (FUNWAVE). Enfin les zones artificielles (ports, jetées), caractérisées par de forts gradients à l'échelle de la longueur d'onde, sont mieux représentées par des modèles représentant la diffraction, et souvent basés sur l'équation de la pente douce (« mild slope » ou équation de Berkhoff éventuellement étendue ou modifiée), soit elliptique, soit parabolisée lorsque les conditions s'y prêtent. Ces derniers modèles (de type Berkhoff) peuvent aussi être adaptés à la zone littorale par ajout d'effets non-linéaires.

Tableau 2-a: Inventaire des modèles d'état de mer utilisés.

Nom du modèle Laboratoire d'origine	Laboratoires utilisateurs	Moyens affectés au développement	Gamme de résolution	Gamme d'échelles maximales	Transfert d'échelle
REF-DIF UCSD – SIO	SHOM, CDIP (Californie)	0	1-50 m	10-400 km stationnaire	
Coupled Mode Model NTU Athens	NTUA, SHOM	2 * ½ thésard	1-50 m	1-8 km stationnaire	
HISWA Delft Hyd.	Ifremer /DEL				
VAG Météo-France	Météo-France Prévi/MAR	¼ ingénieur	10 km – 2 deg	régional / global	emboîtement
WAM Groupe WAM	CEP, KNMI, GKSS Hambourg, Météo France, DNMI, NAVOCEANO, KU Leuven, Proudman O. L., Oceanweather Inc, RSMAS, USACE, ...	1/2 post-doc (Previ/MAR) + 1 ingénieur (CEP)	10 km – 2 deg	régional / global	emboîtement
Wavewatch III NCEP	NCEP, FNMOC, SHOM, Prévi/MAR ...	1 ingénieur (NCEP) 0,1 ingénieur (SHOM) + ...	1 km – 2 deg	régional / global	emboîtement
TOMAWAC EDF-LNHE	LNHE, CETMEF, HR Walingford, Sogreah ...	1 ingénieur	100 m – 2 deg	Local / régional / global	Emboîtement et grille irrégulière
SWAN Delft Univ.	Delft University, NRL Stennis, BIO, ... SHOM ... bureaux d'étude	1 + ingénieur	100 m – 2 deg	Local / régional / global	emboîtement
FUNWAVE U. Delaware	BRGM				
Delft3D –wave (research version)					
CREST SHOM / NPS Monterey	SHOM	0,2 ingénieur	100-30 km	Local / régional	Grille irrégulière
Herbers' spectral Boussinesq NPS Monterey	NPS, SHOM	0,5 ingénieur	1-10 m	plage	Sans objet

Tableau 2-b: Principales caractéristiques techniques des modèles d'état de mer utilisés.

Nom du modèle Laboratoire d'origine	Equation de base	Génération et dissipation des vagues par le vent	Effets non- linéaires	Schémas d'advection	Autres processus
REF-DIF UCSD – SIO	Mild slope parabolise	Non			
Coupled Mode Model NTU Athens	Modified mild slope + modes evanescents	Non		Solveur matriciel (matrices creuses)	
HISWA Delft Hyd.	Conservation de l'action (integree)	Oui			
VAG Meteo-France	Conservation de l'énergie (spectral)	Oui			
WAM Groupe WAM	Conservation de l'énergie (spectral)	Snyder et al. + Janssen	DIA (Sn14)	Upwind 1	friction : JONSWAP
Wavewatch III NCEP	Conservation de l'action (spectral)	Snyder et al. / Tolman Chalikov	DIA / XNL (Sn14)	Ultimate Quickest / Upwind 1 + special GS	friction : JONSWAP
TOMAWAC EDF-LNHE	Conservation de l'action (spectral)	Snyder et al. + Janssen	DIA, Hashimoto (Sn14) / LTA et autres (Sn13)	rayons	Deferlement: Battjes et Janssen, friction : JONSWAP
SWAN Delft Univ.	Conservation de l'action (spectral)	Snyder et al. / Tolman Chalikov	DIA, XNL (Sn14) / LTA (Sn13)	Implicite 1er ordre / 3eme ordre	Deferlement: Battjes et Janssen, friction : JONSWAP
FUNWAVE U. Delaware	Boussinesq (temporel)				
Delft3D –wave (research version)	Energie a l'échelle des groupes				
CREST SHOM / NPS Monterey	Conservation de l'énergie (spectral)	Snyder et al.		rayons	Friction et diffusion au fond
Herbers' spectral Boussinesq NPS Monterey	Boussinesq spectral + bispectre			RK4	Deferlement: Battjes et Janssen + Mase et Kirby

5.2.2. *Bilan : Processus et paramétrisations à développer*

Le problème du *passage du talus* est un point crucial tant pour les aspects physiques de transfert d'énergie entre l'océan ouvert et la zone côtière que par les questions liées à la biologie (les talus sont des zones privilégiées pour certaines espèces), la bio-géochimie, la sédimentologie (devenir des apports continentaux : quantification des flux vers le sédiment versus exportation vers le large perdus pour la zone côtière), la géologie (construction des strates sédimentaires à partir des apports continentaux avec le talus comme zone privilégiée de formation des hydrocarbures).

La communauté française est investie dans l'ensemble de ces études et est donc fortement sensibilisée à la représentation correcte de la physique de l'ensemble de la zone côtière (plateau et talus). Les différents modèles utilisés dans la communauté proposent différentes façons de traiter ce problème (coordonnée sigma avec schémas d'ordre élevé, coordonnées hybrides (i.e. multiples sigma, sigma-isopycnal, sigma-z) visant un traitement adapté en terme de résolution verticale à la fois des zones peu profondes et de la plaine abyssale, ...).

La marge de progression des modèles sur ces sujets semble encore importante en raison du caractère très récent de ces développements, et les études de validation (sur les aspects numériques mais surtout sur les processus physiques) sont indispensables et doivent être poursuivies en partenariat avec l'ensemble de la communauté de modélisation océanique.

L'étude des *propriétés des schémas numériques* des principaux modèles reste à faire. La dissipation induite par les schémas est un aspect important qui peut masquer de manière artificielle des instabilités physiques du milieu. Leur importance sur les résultats des études pluri-disciplinaires (advection des paramètres biologiques par exemple) doit être quantifiée.

La nécessité de *prendre en compte la houle* dans les modèles de circulation côtière est l'un des points fréquemment évoqués lors de la discussion.

La paramétrisation du *mélange induit par les ondes internes* et leur déferlement est indispensable et des progrès sont nécessaires dans ce domaine.

Les modèles de *fermeture turbulente* ne font pas l'unanimité et il semble que cette thématique n'est pas épuisée, en particulier dans la perspective du couplage avec d'autres modèles (biologie, sédimentologie).

Le paramétrage de la *couche limite de fond* apparaît également comme une thématique à développer. Bien que cette problématique soit en partie traitée par l'ART7 du PNEC, notamment pour les aspects liés aux interactions avec la houle, des études fondamentales sont nécessaires. La prise en compte de cette couche limite dans des modèles de circulation côtière soulève également le problème de la discrétisation et du choix de la coordonnée verticale.

5.2.3. *Les forçages*

Le problème des données atmosphériques de forçage se situe à plusieurs niveaux : d'une part l'accessibilité de la donnée et d'autres part l'adéquation des données disponibles avec les besoins des modèles.

L'ensemble des laboratoires présents a noté la difficulté d'obtenir à faible coût et dans des délais raisonnables les données de modèles météorologiques existants (ECMWF, Arpège, Aladin, ...).

Le problème de la fréquence temporelle des sorties modèles a été abordé. Il semble nécessaire d'engager une action auprès des fournisseurs de données pour que les résultats de modèles atmosphériques puissent être délivrés, au moins pour les façades océaniques, sur une base horaire plutôt que toutes les 6 heures comme on peut le constater actuellement.

La précision des flux fournis par les modèles atmosphériques a été mise en cause à plusieurs reprises. Des méthodes alliant différentes sources de données (modèles, mesures satellitaires, in situ) sont actuellement développées pour accroître la fiabilité de ces forçages. L'exploitation de cette voie doit être poursuivie.

L'utilisation de modèles atmosphériques locaux forcés par des modèles atmosphériques à mésoéchelle a été mentionnée pour pouvoir reproduire de manière réaliste les disparités dans les forçages liés aux effets topographiques locaux. L'utilisation de ce type de modèles, si possible en coopération avec des équipes de recherche spécialisées en météorologie des zones côtières pourrait constituer une action commune entre plusieurs laboratoires.

Un couplage cohérent océan-atmosphère peut aussi permettre des améliorations des flux, comme le couplage avec les vagues réalisé à ECMWF et au service Météorologique finlandais, ou le développement du « Wind Over Wave Coupling » au KNMI. Une réflexion sur ce sujet est désirable dans la phase actuelle de définition par Météo-France du futur modèle opérationnel AROME.

5.2.4. Transfert d'échelle et couplage avec les modèles hauturiers

La communauté française s'est largement investie dans le développement de méthodes permettant l'initialisation et le pilotage aux frontières d'un modèle côtier à partir d'observations et/ou de résultats de modèles de plus grande emprise. Deux approches principales, assez différentes dans leurs objectifs, sont explorées, et représentent une grande avancée par rapport aux conditions de frontières ouvertes classiques. L'une repose sur l'emboîtement ou le couplage synchrone des modèles, avec continuité de la physique entre les domaines (downscaling - upscaling). L'autre, qui repose sur une approche variationnelle, est davantage une technique d'estimation, cohérente avec la dynamique du modèle côtier utilisé, et s'intègre potentiellement bien à tout algorithme d'assimilation dans le modèle côtier, dont par exemple les méthodes d'ensemble.

L'emboîtement de modèles (en particulier le raffinement de maillage) commence à être maîtrisé dans la plupart des modèles de la communauté. Il reste par contre un travail méthodologique important pour traiter correctement du couplage synchrone entre modèles différents et développer plus avant le raffinement adaptatif qui reste embryonnaire. Il semble nécessaire à l'avenir de coupler le développement de ces méthodes avec celui des modèles. Il faut donc consolider la coopération qui s'est établie entre la communauté océanographique et celle des mathématiques appliquées. Par ailleurs une évaluation des intérêts respectifs des techniques de raffinement, soit par emboîtement de modèles, soit de façon continue, reste à faire. Il est à noter que les modèles à éléments/volumes finis représentent une solution originale et naturelle au transfert d'échelle spatiale. Sur ce dernier point une équipe explore une voie permettant également une résolution temporelle variable qui conduit à une imbrication complètement intrinsèque (MOG3D).

Le développement et l'application des méthodes variationnelles a très largement progressé. Ces méthodes peuvent maintenant être utilisées à la fois lors de l'initialisation (réduire les chocs numériques liés au manque de cohérence entre les champs de forçage et la physique des modèles

côtiers) et pour le contrôle aux frontières. Elles permettent d'intégrer simultanément dans ce contrôle plusieurs sources d'information (observations, résultats de modèles de circulation de grande emprise, résultats de modèles de marées, ...), et ont donc le potentiel d'assurer dans la contrainte du modèle côtier une représentation cohérente assez complète du spectre de variabilité spatio-temporelle.

Quelques demandes spécifiques (liées par exemple aux problèmes de sédimentologie) se sont exprimées pour l'emploi de systèmes de maillages structurés non nécessairement orthogonaux qui permettent de mieux suivre les contours bathymétriques

Le traitement du couplage entre modèle hauturier et modèle de plateau (ou bien entre modèles de physique différente) a donc beaucoup progressé ces dernières années, et les travaux des équipes françaises sont largement reconnus et appliqués dans le contexte international. Ces développements étant récents, les équipes de recherche doivent cependant approfondir leur expertise dans ce domaine par une généralisation de leurs applications, et par la poursuite des développements méthodologiques en cours. Ce champ d'investigation est donc encore largement ouvert.

5.2.5. Les applications et l'opérationnel

Les outils de modélisation utilisés par la communauté sont suffisamment performants et maîtrisés pour des applications scientifiquement pertinentes dans le domaine de l'hydrodynamique comme dans des domaines pluridisciplinaires, dont nombre ont fait l'objet de présentations pendant le séminaire.

Le concept nouveau d'océanographie opérationnelle côtière a été largement débattu. Il est apparu nécessaire de bien définir au préalable les besoins afin de développer et proposer les produits adéquats. Plusieurs applications présentées telles que les études des interactions physique-halieuistique ou sédimentologie ont montré que l'océanographie opérationnelle ne se limitait pas, loin de là, à traiter du temps réel et des prévisions à court terme. Les échelles de temps peuvent s'étendre à la saison (problématique du recrutement des poissons) voire au-delà (sédimentologie, bio accumulation par ex.). La demande civile concernant les prévisions à court terme ne semble pas pléthorique. Les pollutions accidentelles et événements météorologiques extrêmes (problèmes liés à la navigation et aux états de mer, surcôtes) rassemblent l'essentiel des besoins. Les pétroliers ont été cités comme clients potentiels.

Les résultats présentés au colloque, et le bilan réalisé concernant les modèles hydrodynamiques montrent que les équipes de recherche en modélisation sont compétentes pour répondre aux besoins de recherche et de technologie exprimés par un système opérationnel côtier en développement.

5.2.6. Organisation

L'organisation par la communauté d'une base de données de forçage et de bathymétrie recueille un intérêt de la plupart des laboratoires présents. En effet, beaucoup de temps est passé dans chaque laboratoire pour acquérir et mettre en forme les données nécessaires aux modèles. La constitution de base de données communes permettrait de faire de sérieuses économies de moyens et de temps. La communauté océanographique reconnaît néanmoins que les besoins de météorologie de surface dépassent largement le cadre de la fourniture de données. Un besoin d'interactions continues avec une communauté de recherche en météorologie des zones côtières

est évident, afin de travailler et développer dans le long terme une approche couplant océanographie et météorologie de surface dans ces régions.

Bien que l'unanimité se fasse sur la nécessité d'une organisation plus forte de la communauté des physiciens du côtier, l'élaboration d'un projet ou programme en commun est encore difficile. Plusieurs pistes ont été explorées. La comparaison sur une zone test de différents modèles a été plusieurs fois évoquée. Le Golfe de Gascogne a été cité plusieurs fois comme pouvant être une de ces zones test. Le Golfe du Lion en Méditerranée est certainement une zone où un tel exercice serait fructueux dans la mesure où, depuis déjà plusieurs années, une communauté de modélisateurs et expérimentateurs physiciens (mais également d'autres disciplines) se coordonne pour mener l'étude de cette région.

Selon plusieurs interventions, ce type de comparaison ne pourra déboucher sur des conclusions constructives qu'à condition que soit envisagé dans le même temps un programme de mesures intensif. En effet, pour aller au delà d'une simple liste de différences entre modèles, un tel exercice doit s'accompagner d'une comparaison avec la réalité, il est très difficile d'établir la liste des processus bien reproduits et des développements à envisager, et il est encore plus difficile d'en déduire une hiérarchie. Ce jeu de données permettrait également de prolonger l'exercice de modélisation jusqu'à l'assimilation.

Une forte coopération doit s'établir entre les équipes afin de coordonner plus efficacement le développement des modèles hydrodynamiques. A terme, une telle coopération pourrait permettre à la communauté de converger naturellement vers un système de modélisation communautaire, permettant une mutualisation des moyens nécessaires à son développement et au maintien dans l'état de l'art.

5.2.7. Conclusions et recommandations

- Certaines différences fondamentales entre les modèles peuvent être considérées comme enrichissantes et devraient être préservées dans le domaine de la recherche tout en encourageant une modularité nécessaire pour faire face à la complexité des phénomènes représentés et couplages possibles.
- En revanche, lorsque les différences ne sont pas fondamentales, un développement coordonné entre les équipes devrait à terme permettre une convergence des codes. Il faut donc créer les conditions favorables à de telles activités.
- Les études fondamentales portant sur les paramétrisations physiques sont indispensables, dans les modèles de circulation mais aussi de vagues, et doivent être co-ordonnées, sans doute au sein des programmes scientifiques du PATOM et du PNEC. Cependant, ces paramétrisations ont généralement un impact considérable sur les applications couplées (avec la biologie et la sédimentologie en particulier). Ces éléments doivent donc faire partie intégrante de leur validation.
- Les applications et les développements concernant le transfert d'échelles doivent être encouragés, mais il apparaît important qu'ils soient coordonnés avec les travaux en assimilation de données.
- Parmi les modèles côtiers existants, certains vont se confronter à l'exercice de l'opérationnel dans le cadre de projets nationaux et européens. Ces exercices pourraient constituer un cadre

particulièrement intéressant à la définition de travaux de terrain en permettant un encadrement de l'expérience (conditions avant et pendant l'expérience, recherche de zones propices à tel ou tel processus...).

Certaines actions sont d'ores et déjà identifiables. Elles concernent les bases de données d'une part et le développement des modèles. Deux recommandations peuvent ainsi être dégagées.

- Bases de données : un effort portant sur l'organisation et la mise à disposition de bases de données de bathymétrie, lignes de côte, de météorologie de surface, de validation de modèles, etc.. doit être mené de façon coordonnée. IFREMER et le SHOM semblent bien placés pour prendre une telle activité à leur charge, dans un cadre permettant la participation des diverses communautés (recherche, opérationnel) à la définition précise des besoins et aux décisions concernant leur évolution.
- Services: Afin d'initier de nouvelles collaborations entre les différentes équipes et de mutualiser les efforts, on peut également proposer de développer et mettre à la disposition de la communauté de nouveaux outils « communautaires » de forçage et d'exploitation des modèles. Parmi les différents types d'outils on peut citer :
 - Construction de jeux de forçage atmosphériques combinant modèles, sémaphores et données satellitales.
 - Génération de conditions initiales à partir de mesures et climatologie.
 - Interpolation/kriégeage de bathymétrie.
 - Interfaçage avec les modèles hauturiers.
 - Méthodes d'analyse de résultats de modèles (statistiques, typologie, classification).

Le développement de certains de ces outils pourrait être proposé dans le cadre du PNEC.

- Développement de modèle : une coordination des développements des différents modèles pourrait être initialement fondée sur des exercices d'inter-comparaison et d'amélioration des modèles existants. Le PATOM semble être le cadre le plus favorable pour démarrer une telle action.
- Soutien technique : le manque de soutien technique à la communauté des chercheurs pour le développement et les applications a atteint un niveau critique compte tenu de la complexité sans cesse croissante des modèles, des modules d'assimilation et du volume des données de forçage (OGCM, Météorologique,) et de données de validation (in situ, spatial...) et de la nécessaire adaptation des codes pour une utilisation optimale des nouveaux moyens informatiques. Le recrutement d'ingénieurs (recherche et étude) doit être soutenu.

5.3. Couplages de modèles physiques avec d'autres modèles (biologiques, bio-géochimiques, sédimentologiques)

5.3.1. Introduction

Les termes de référence pour cette session étaient les suivants : Le couplage de modèles hydrodynamiques avec d'autres modèles est une démarche amorcée depuis une dizaine d'années qui se généralise, et représente un champ d'application considérable pour la recherche en océanographie et les applications opérationnelles. L'ensemble des sites d'études du PNEC aborde ce type d'exercice. Il est proposé de faire un inventaire des types de couplage en cours ou prévus. La réflexion se portera sur les besoins en hydrodynamique côtière exprimés par les utilisateurs tant en terme de processus que d'échelles de temps et d'espace.

La session a été préparée en proposant une discussion organisée autour de deux points majeurs :

- un inventaire des différents types de couplage,
- un débat sur le couplage et la manière de l'aborder.

5.3.2. Inventaire

Couplage physique/physique.

Le couplage de modèles physiques avec des modèles de circulation côtière concerne:

- les modèles de vagues,
- les modèles atmosphériques (forçage des configurations côtières, rétroaction entre l'océan et l'atmosphère),
- les modèles océaniques : forçage aux frontières des configurations côtières, rétroaction côtier-talus-large.

Couplage physique/sédimentologie.

Le couplage de modèles physiques avec des modèles de sédimentologie concerne :

- le transport en suspension et la capacité de transport,
- la gestion du fond sédimentaire,
- le couplage morphodynamique.

Ce type de couplage doit prendre en compte le couplage vagues-courants.

Couplage direct entre physique, biologie ou bio-géochimie.

Dans ce genre de couplage les modèles biologiques ou bio-géochimiques sont de deux types :

- des modèles eulériens (NPZD, contaminants, bio-accumulation, etc.),
- des modèles lagrangiens: modèle IBM (Individual Based Models ou modèles individus centrés), censés représenter une population.

Couplage indirect physique-biologie.

Dans cette approche, l'intégration des différents modèles n'est pas synchrone (on parle alors de forçage off-line de la biologie par la physique). Les applications sont variées, avec par exemple :

- L'inclusion de variables environnementales dans des modèles de dynamique de population comme cela peut être fait en halieutique.
- L'utilisation des simulations (physique et bio-géochimie) comme source de données pour décrire par exemple des habitats.
- Les modèles de type « Ecosystème » (ECOPATH, ECOSIM, ECOSPACE, ERSEM) ou autres (IBM multi-spécifique type OSMOSE...).

5.3.3. Débat sur les couplages

Le débat a démarré par une discussion sur la notion de couplage. Il semble nécessaire de donner un sens large à ce terme, notamment lorsqu'on aborde le couplage physique/biologie. Les modèles couplés physique/biologie ne sont pas couplés *sensu-stricto* puisqu'il y a rarement une rétroaction de la biologie sur la physique. Par contre, il existe réellement un couplage dans la démarche de réalisation de modélisation de processus physiques et biologiques, démarche dans laquelle les caractéristiques des modèles physiques à développer sont le plus souvent contraintes par les processus biologiques à étudier. Par exemple le transport d'organismes vivants (plancton, œufs ou larves de poissons) est très dépendant de paramètres comme la diffusion turbulente, l'advection, ou la profondeur de la couche de mélange. Pour résoudre les questions biologiques liées au transport, les modélisateurs hydrodynamiciens doivent apporter des solutions à la modélisation du transport (schéma d'advection, modèle de fermeture turbulente, etc.) qui soient satisfaisantes pour le traitement des questions biologiques.

Il existe des différences fondamentales entre les objets décrits par la physique et ceux de la biologie:

- les objets biologiques, souvent, ne sont pas des particules inertes mais des individus, caractérisés par leur comportement, leur capacité d'adaptation et d'évolution,
- l'évolution des individus biologiques n'est pas décrite par un système d'équations différentielles bien définies (comme celles de Navier Stokes pour la physique),

La définition des échelles d'espace et de temps pertinentes pour le couplage entre physique, biogéochimie, biologie ou sédimentologie est une étape essentielle dans une démarche de couplage. Les contraintes ne seront pas les mêmes suivant le type d'organismes (phytoplancton ou zooplancton, poisson), son stade de développement (œuf, larves, adulte) ou le type de processus à étudier (houle, marée). Ces questions doivent être abordées au stade initial de la démarche de couplage et non pas a posteriori, une fois les modèles mis en place. Cela pose plus généralement, la question de la pertinence de l'utilisation de modèles ou de simulations existantes pour aborder des thématiques multidisciplinaires. Sans une démarche associant les différents intervenants dès la conception des outils ou des simulations, le risque est grand de ne pouvoir réaliser une intégration pluridisciplinaire. De même, la calibration et la validation des modèles hydrodynamiques sont le plus souvent réalisées sur des processus et échelles de temps de la physique. Dans une démarche de couplage et de multidisciplinarité, une réflexion doit être menée pour adapter la validation sur des échelles d'espace et de temps pertinentes pour les autres domaines.

La prise en compte de la demande sociétale est aujourd'hui un élément essentiel dans le montage de projets. L'hydrodynamique côtière *sensu stricto* s'intéresse en premier lieu à des questions de physique qu'il est souvent difficile de relier à la demande sociétale. Le couplage des modèles hydrodynamiques à des modèles de sédimentologie, de biogéochimie ou de biologie permet, par sa capacité à aborder des problématiques liées à la pollution, aux ressources, à l'aménagement côtier, de replacer l'hydrodynamique côtière au cœur des préoccupations de nos sociétés.

Le constat a été fait de la difficulté à aborder la variabilité basse fréquence ainsi que les évènements extrêmes tels que la tempête de 1999/2000 ou la canicule de 2003. L'absence de séries de données *in situ* sur le long terme, de même que l'absence de forçage atmosphérique à des échelles compatibles avec celles de la modélisation côtière sont autant d'éléments qui rendent difficile l'analyse des effets de ces évènements sur les systèmes côtiers

5.3.4. Recommandations et besoins exprimés

La démarche du couplage est d'abord une démarche spécifique. En effet, on ne peut généralement pas se contenter de partir de simulations existantes pour réaliser le couplage (modèles de bio-géochimie type JGOFS ne sont pas forcément adaptés pour des études de recrutement de poissons). Il faut impérativement partir de l'objectif scientifique pour identifier des questions scientifiques et les décliner en processus à étudier. Cela conduit à définir les échelles importantes et à définir et construire/adapter alors les outils de modélisation et les simulations.

L'océanographie opérationnelle, quant elle est placée dans un contexte multidisciplinaire, ne signifie pas obligatoirement le temps réel. Les échelles de temps (et d'espace) sont dépendantes des questions spécifiques des utilisateurs des modèles. L'halieutique par exemple est concernée par des prévisions à moyen terme (saison) ou long terme (années) plus que par des prévisions à court terme (jours). Les problématiques liées à l'évolution du trait de côte ou au transport sédimentaire ont également un intérêt à la prévision à moyen terme. De même dans le cas des efflorescences algales (toxiques ou non). Il est donc important de définir pour chaque application, les échelles de temps pertinentes pour l'opérationnel. Un système opérationnel apparaît d'abord comme un ensemble cohérent de modèle/données/processus dont chaque composante a été validée.

Dans une perspective de développement d'une plate-forme de modélisation-prévision à l'échelle régionale, il semble nécessaire de définir au préalable les problématiques régionales pour la biologie, la sédimentologie, les vagues, etc. Les priorités doivent être définies en amont sinon la liste des problèmes, processus et questions à attaquer grâce à une telle plate-forme risque de rapidement devenir ingérable.

Il existe un déficit en modèles qui prennent en compte la dynamique des réseaux trophiques. Les modèles de type NPZD abordent de manière satisfaisante les premiers maillons de la chaîne trophique. A l'autre extrémité, les modèles IBM sont de plus en plus utilisés pour simuler la dynamique des maillons supérieurs (zooplancton, larves de poissons, adultes). Relier ces deux types de modèles reste aujourd'hui à réaliser. Il ne s'agit pas de construire un seul modèle qui permettrait d'intégrer l'ensemble de la chaîne trophique, mais de construire une suite de modèles connectés qui puissent dialoguer entre eux.

Dans un contexte multidisciplinaire, il apparaît essentiel de développer une réflexion sur les processus à prendre en compte et de développer des outils capables d'interpréter les sorties de modèles pour les rendre pertinentes pour des domaines autres que ceux de l'hydrodynamique. Par exemple, pour l'halieutique il est pertinent de transformer U,V, T, S en indicateur de processus de rétention, de concentration, d'enrichissement ou bien en habitat.

L'impact de la variabilité et des changements climatiques sur les domaines régionaux est un thème de recherche d'actualité sur lequel les scientifiques vont être de plus en plus sollicités. Pour cela, il sera nécessaire de coupler des modèles régionaux avec des modèles de bassins et de lancer des simulations forcées par des rejeux de modèle de bassin afin d'explorer la régionalisation des grands signaux climatiques. Outre un intérêt évident pour les aspects climatiques, ces expériences seront particulièrement utiles pour la compréhension des mécanismes d'interactions entre la biologie et la physique. Ce type d'étude nécessite en effet le développement d'analyses rétrospectives des séries biologiques et la mise en parallèle avec les conditions hydrodynamiques que seules des simulations peuvent fournir du fait de l'absence de séries d'observations longues et homogènes.

La multiplicité des modèles suivant les chantiers ou les groupes et instituts ne doit pas être vue comme un handicap mais comme une réponse souvent adaptée à des contextes particuliers. La sélection et la convergence vers un nombre réduit d'outils se feront sans doute naturellement sur des critères de performance.

5.4. Assimilation de données

5.4.1. Bilan des discussions

La discussion sur l'assimilation de données dans les modèles côtiers, menée en séance plénière, a permis des échanges utiles sur les points suivants :

- Les nombreux usages envisageables de l'assimilation dans les mers côtières et de plateau: surveillance en continu, rejeu (hindcast), prévision, imbrication, estimation de paramètres (identification), études de sensibilité, test de la performance de réseaux d'observation.
- Les différentes catégories de données assimilables, spatiales et *in situ*, actuelles et futures; la quasi-absence de campagnes synoptiques couvrant à la fois l'océan côtier et hauturier, qui permettraient de "caler" les schémas d'assimilation.
- L'intérêt de l'assimilation pour l'optimisation des futurs réseaux d'observation, au travers notamment de l'approche stochastique (méthodes d'ensemble, valeurs propres de la matrice des représentants).
- Les différences méthodologiques de l'assimilation côtière par rapport au hauturier. Ceci est dû notamment aux conditions aux limites ouvertes, et à la perte de certaines propriétés statistiques (homogénéité, isotropie, séparabilité, stationnarité) qui a permis l'adoption de méthodologies simples dans l'océan hauturier.
- Les rôles respectifs de l'assimilation et de l'imbrication : ce sont deux facettes du même problème d'estimation.
- Les méthodes disponibles actuellement pour l'exploration du sous-espace d'erreur des modèles côtiers (encore très mal connu) et pour le choix des variables de contrôle.
- Les méthodes de contrôle de l'état. Il a notamment été rappelé qu'il n'existe pas à l'heure actuelle d'adjoint de modèle tridimensionnel à surface libre (un adjoint de ROMS est cependant en cours de développement, cf. Moore et al., 2003).
- Les méthodes d'initialisation et de projection sur le "bon" attracteur dynamique. Ce point est particulièrement important pour les modèles côtiers qui sont à surface libre. En outre la définition d'un attracteur dynamique côtier et l'existence même d'une "climatologie côtière" sont encore *terrae incognitae*.
- L'intérêt et les limites de la prévision, en particulier pour le test d'hypothèses et l'étude des processus limitants pour la prédictibilité.
- Les objectifs opérationnels, et en particulier les interactions méthodologiques, numériques et organisationnelles entre les "problèmes" régionaux et côtiers d'une part, et l'océanographie opérationnelle à grande échelle comme le projet MERCATOR par ailleurs.

Ces échanges ont permis de compléter les travaux du GT4 et ont été pris en compte dans la rédaction des recommandations ci-dessous. On trouvera davantage de détails ainsi qu'une bibliographie sommaire dans la revue incluse ci-après.

5.4.2. *Recommandations*

Axes scientifiques amont

Malgré son intérêt scientifique propre et son importance pour le secteur opérationnel, l'assimilation de données est encore très peu présente dans les modèles côtiers en France.

- D'une part, l'océan, et en particulier l'océan côtier qui est un milieu ouvert de tous côtés, ne sont pas des systèmes dont l'évolution peut être considérée comme étant intégralement déterministe; il importe donc, en plus de l'élaboration de modèles numériques performants, d'étudier et de modéliser cette part stochastique, et de la relier à la part stochastique des forçages physiques.
- D'autre part, dans le domaine côtier, notre connaissance des paramétrages des lois physiques, des contours géométriques du domaine, des forçages, et de leur variabilité reste souvent très approximative; il importe donc de tirer parti des lois et relations dynamiques existant entre ces différents paramètres et les équations d'évolution.
- En conséquence, les méthodes d'estimation s'appuieront sur cette *double approche déterministe et stochastique* pour fournir des paramètres, des champs ou des prévisions présentant un caractère d'optimalité accru au regard de toute l'information dont on dispose.

Un objectif prioritaire nous semble de *renforcer* la composante d'assimilation dans les modèles côtiers. Ceci passe par l'affichage de thèmes scientifiques spécifiques, par l'ouverture de postes, par le *ciblage de bourses* de thèse, et aussi par la prise en compte plus fréquente de l'assimilation dans la stratégie d'utilisation des modèles numériques dans les différents laboratoires développant ces modèles.

Nous recommandons tout d'abord le développement et la validation algorithmique et physique de *méthodes d'estimation* dans les domaines suivants :

- "Imbrication avec critère d'optimalité" : estimation de conditions initiales et de conditions aux limites des modèles cohérentes et compatibles avec la dynamique et avec les informations disponibles (solutions à grande échelle, observations locales).
- Identification de paramètres ouverts des modèles régionaux et côtiers (méthodes variationnelles, Monte-Carlo et MCMC).
- Estimation séquentielle de l'état et amélioration de la prédictibilité des écoulements côtiers (filtres de Kalman, Kalman d'ensemble, etc.).
- Etudes de sensibilité, exploration des sources d'écart entre données et modèle et test de réseaux d'observation (array design).

On note l'intérêt particulier des méthodes variationnelles et des méthodes d'ensemble pour les objectifs ci-dessus. Il est en outre important de développer l'adjoint et le linéaire tangent des modèles 3D à surface libre qui seront développés dans les années à venir.

Il nous semble utile, à la fois du point de vue du travail collaboratif que de l'intérêt scientifique, de disposer de *jeux de données suffisants* pour valider convenablement ces méthodes. De tels

jeux de données n'existent quasiment pas actuellement sur nos côtes, mis à part dans le Golfe du Lion.

Les thèmes scientifiques amont spécifiques qu'il nous semble utiles de développer sont les suivants:

- Modélisation stochastique et statistique des systèmes côtiers.
- Diagnostics d'assimilation et scores. Il faudrait en particulier travailler sur des fonctions de coût multi-échelle, qui donnent plus de poids à la représentation des processus qu'à leur localisation exacte : il est plus important de savoir reproduire un état de stratification, un degré de morcellement d'un panache, que la position exacte des structures.
- Analyse des erreurs des modèles côtiers, en particulier par méthodes d'ensemble; méthodes de génération d'ensembles dans les modèles non-linéaires
- Etude d'un attracteur côtier; existence ou pas d'une "variété lente" et d'une climatologie; projection d'une solution du modèle sur cette variété; erreur de représentativité associées aux observations (in situ et spatiales). Cette étude sera probablement à mener au coup par coup, en fonction de la bathymétrie (largeur du plateau), du forçage tidal (cas de la Manche), etc.
- Prise en compte des couplages spécifiques à l'océan côtier dans la modélisation stochastique des erreurs : en particulier couplage plateau-large, couplage haute fréquence-basse fréquence, prise en compte de la bathymétrie, couplages océan-atmosphère.
- Estimation de la prédictibilité intrinsèque des écoulements (temps de doublement des erreurs), amélioration des performances des modèles en prédictibilité et configurations optimales (p.ex. modèle de CLA + modèle côtier + modèle barotrope de bassin).
- En parallèle avec le développement prévu de modèles 3D à surface libre (par exemple aux volumes finis) développement de l'adjoint et du linéaire tangent de ces modèles.
- Préparer l'assimilation dans les modèles couplés de biologie, sédimento, etc., afin de pouvoir travailler par exemple sur la couleur de l'eau.

Rôle de l'assimilation dans un exercice pré-opérationnel

Dans le cadre d'un exercice pré-opérationnel, l'assimilation pourrait avoir pour rôle primaire de fournir des *solutions réalistes et optimisées* d'un modèle régional, et des conditions initiales et aux limites de modèles côtiers imbriqués dans ce modèle régional. Elle permettrait donc de relier entre elles ces différentes études côtières et littorales avec tout le réalisme nécessaire, les différents processus étant présents ensemble dans le modèle du fait de l'assimilation.

Les techniques d'assimilation permettraient également *d'affiner les futures stratégies d'observation pérennes*. Par exemple, les méthodes d'ensemble permettent de calculer des fonctions d'influence des observations ainsi que la matrice des représentants; le rang de cette matrice fournit un "score" pour chaque réseau d'observation envisagé, permettant de tester différents réseaux et de se focaliser sur les contraintes observationnelles les plus efficaces en configuration pérenne. Les méthodes variationnelles peuvent servir, par l'évaluation d'un gradient de sensibilité d'une fonction d'écart, à déterminer l'emplacement spatial comme

temporel de sentinelles d'observation permettant ensuite une *extraction optimale d'information* au regard des paramètres sensibles à optimiser.

L'assimilation est en mesure d'améliorer la performance d'un modèle en *prévision*. Les campagnes de mesure ayant lieu au sein de cet exercice pré-opérationnel pourraient certainement tirer bénéfice de prévisions que l'on pourrait utiliser comme un guide pour décider de l'emplacement des observations. Afin de caler le cycle d'assimilation d'un futur système opérationnel, l'existence de réseaux d'observation répétés permettraient de mettre en place des exercices de prévision d'un réseau à l'autre.

Il est à noter que l'assimilation séquentielle, qui inverse essentiellement des écarts données-modèle, calcule et stocke ces écarts. L'implémentation d'un code d'assimilation permet donc également de comparer simplement différents modèles entre eux et à différents jeux d'observations, sans nécessairement les assimiler. En outre, différentes techniques d'estimation fournissent une estimation des *barres d'erreur* autour des solutions optimisées. L'assimilation peut donc contribuer de manière significative à un effort de *validation régionale* préliminaire à la mise en place d'un système opérationnel.

5.4.3. Assimilation de données dans les mers côtières et de plateau: revue et orientations

On synthétise ici les travaux du groupe de travail 4 "Assimilation". Nous présentons de manière assez détaillée une analyse de la problématique associée à l'assimilation dans les modèles côtiers et régionaux: essentiellement, pourquoi et comment assimiler.

Usages possibles de l'assimilation dans les mers côtières et de plateau

Précisons tout d'abord que nous incluons dans le mot "assimilation" toutes les méthodes d'estimation faisant intervenir un caractère d'optimalité, soit explicite (fonction de coût), soit implicite. Nous utiliserons dans la suite indifféremment "méthode d'assimilation" et "méthode d'estimation".

L'assimilation en côtier, pour quoi faire ?

- Lorsqu'on parle d'assimilation, on pense souvent d'abord aux méthodes séquentielles comme le filtre de Kalman, qui permettent d'estimer l'état de l'océan de manière séquentielle dans le temps. On utilise cette approche pour effectuer une *surveillance en continu* (monitoring) de l'océan. C'est le cas par exemple du système MERCATOR. L'intérêt d'un tel système se situerait à notre avis plutôt à l'échelle régionale. Ce mode de fonctionnement peut être utile par exemple pour étudier des dérives de nappes ou d'objets.
- La même méthodologie, mais appliquée à des situations passées et avec les meilleurs forçages disponibles, permet d'obtenir la meilleure estimation d'une situation particulière : c'est le *rejeu*, ou *hindcast*. Il s'agit d'un mode de fonctionnement particulièrement indispensable à la compréhension des processus couplés, ou à proprement parlé, des processus bio-géochimiques forcés par l'hydrodynamique.
- On peut utiliser également les techniques d'estimation pour estimer ou améliorer les performances d'un modèle numérique donné en termes de *prévision* (prévisibilité); ceci est utile bien entendu en opérationnel, mais la prévision fournit aussi un excellent test pour valider un modèle numérique.

- S'il utilise un critère d'optimalité, le calcul de conditions initiales et aux limites (*imbrication*) d'un modèle à aire limitée à partir d'une solution à plus grande échelle utilise également des techniques d'estimation. L'estimation des conditions aux limites côté terre (apports) et de forçage à l'interface océan-atmosphère peut bénéficier de techniques similaires.
- Certaines méthodes d'estimation peuvent être utilisées pour *estimer* des valeurs optimales de *paramètres inconnus* des modèles hydrodynamiques, comme par exemple des coefficients de mélange ("*problème d'identification*"). Les changements d'échelle induits par le côtier sont une des causes majeures de la mauvaise estimation initiale de ces paramètres.
- Les *études de sensibilité* faisant appel au calcul optimal d'un "gain" (sensibilité d'un paramètre par rapport à un autre paramètre, processus ou forçage) reposent sur des techniques apparentées (adjoint, modélisation d'ensemble). Cette approche peut être utilisée pour analyser les sources d'écart entre données et modèle, pour l'identification des sources de pollution, etc.
- Enfin, les techniques d'assimilation permettent de *tester objectivement la performance de réseaux d'observation* pour contraindre efficacement le modèle.

L'assimilation est donc en mesure de contribuer de manière significative à l'océanographie côtière, qu'elle soit à visée scientifique (étude des propriétés dynamiques et statistiques, estimation optimale, identification de paramètres) ou opérationnelle (monitoring, prévision, optimisation de réseaux).

Quelles données ?

Dans l'océan hauturier, l'altimétrie satellitale fournit depuis une dizaine d'années la principale contrainte aux modèles océaniques assimilateurs, du fait de sa disponibilité globale en routine, sur une grille relativement régulière et répétée à des échelles de temps compatibles avec la variabilité des grands courants et la mésoéchelle, du fait de sa compatibilité avec la dynamique quasi-géostrophique à ces échelles, et du fait de son insensibilité aux nuages et à la pluie (sauf les instruments en bande Ka). Certes, les modèles assimilent également les données in situ et la SST, mais il n'est pas exagéré de dire que sans altimétrie un système comme MERCATOR ne pourrait plus fonctionner convenablement.

La situation est assez différente dans les mers régionales et dans l'océan côtier. Du fait des échelles de temps et d'espace, toutes deux plus courtes dans l'océan côtier que dans l'océan hauturier, l'échantillonnage de l'altimétrie nadir comme ERS ou JASON-1 est essentiellement inadapté. De plus, la mesure altimétrique est à la fois plus entachée d'erreur et plus difficile à interpréter dans l'océan côtier, du fait en particulier de la modification de l'onde rétrodiffusée par le trait de côte, de la correction plus significative de biais électromagnétique dû à l'état de mer, de la correction de marée plus complexe, et de la correction de troposphère humide. Ceci ne veut pas dire que l'altimétrie nadir est inutile dans les mers côtières et de plateau, mais un système d'assimilation ne pourra s'appuyer uniquement sur elle.

Dans les modèles 2D (barotropes), on peut espérer que du fait des échelles spatiales relativement grandes, le problème de régularisation ne se pose pas de manière trop aiguë. De plus les marégraphes forment un réseau relativement dense bien qu'essentiellement côtier (ce qui est préférable pour la correction des erreurs dues aux forçages, les incertitudes étant souvent plus grandes dans l'océan côtier). Dans les modèles 3D (baroclines), une forme de continuité spatiale

et temporelle et de contrainte de régularisation spatiale pour le problème d'assimilation pourrait être apportée par les produits de type SST, qui sont constamment améliorés tant en termes de résolution spatiale que temporelle (produits journaliers du SAF Océan mis à disposition de MFS et MERCATOR). Reste bien entendu le problème de la sensibilité à la couverture nuageuse. De plus l'utilisation des futurs produits SST à haute résolution temporelle imposera la résolution du cycle diurne dans les modèles.

Les mesures de couleurs de l'eau sont l'illustration d'un jeu de données à fort potentiel. Cependant, malgré quelques essais dans des modèles hauturiers couplés physique-biogéochimie, elles restent à ce jour des observations de validation car les processus en jeux ne sont pas suffisamment compris et modélisés pour construire un opérateur d'observation. Les campagnes d'étude de processus récentes (POMME par exemple), et les analyses en cours contribueront à cette compréhension, sans nécessairement résoudre les problèmes spécifiques au côtier.

Enfin l'assimilation de données de vent (Quickscat) est envisageable si on ouvre ce degré de liberté dans le problème d'estimation.

Le besoin d'un réseau d'observations dense est particulièrement critique pour le contrôle via l'assimilation de la vorticité dans les modèles numériques résolvant la sub-mésoéchelle côtière. La conservation de la vorticité potentielle par l'écoulement, et l'éventuelle correction des balances de vorticité par l'assimilation, sont en effet au cœur des applications de prévision de la pénétration d'un courant côtier sur le plateau (dérive de nappes dans les golfes et les bras de mer, etc.). Ce type de contrainte ne nous paraît pas accessible à l'heure actuelle, mais les projets d'altimètres imageurs comme l'interférométrie radar (projet WSOA de la NASA, qui pourrait voler sur OSTM) permettront peut-être de traiter ces problèmes d'ici à quelques années, d'autant que ces instruments seraient insensibles aux nuages et à la pluie.

Passons maintenant aux données *in situ* qui peuvent être rangées dans 3 catégories :

a) Les mesures d'opportunité

Il s'agit de mesures collectées depuis un navire qui peut être :

- un navire océanographique, pour lequel le trajet n'est pas maîtrisé
- un navire commercial, là le trajet a généralement été choisi parmi un nombre limité de possibilités, il n'est pas nécessairement idéal.

Les paramètres mesurables sont :

- T et S de surface,
- vitesse des 100-200 premiers mètres,
- fluorimétrie,
- autres paramètres chimiques et biologiques à préciser.

b) Les campagnes scientifiques

Là toutes les mesures sont permises mais sur une zone et pendant une période limitée (navires, mouillages, profileurs, etc.).

c) Les réseaux d'observation

Ils peuvent comporter

- des stations au point fixe, fournissant des séries temporelles de niveau de la mer (marégraphes), courants et météo (bouées instrumentées), T, S, U, V, O₂ autres paramètres,
- des sections répétées (CTD, XBT, AXBT, ADCP),
- des profileurs dérivants,

- des gliders,
- des radars côtiers mesurant les courants. (NB : techniquement c'est de la télédétection).

C'est ce type de réseau qui devrait idéalement alimenter l'assimilation. A l'heure actuelle, ils sont à l'état embryonnaire, sauf en ce qui concerne les marégraphes, et certains réseaux de bouées instrumentées comme celles des Puertos del Estado.

Une *démarche pratique* pourrait être de mettre à profit les mesures de type a) et b) et les bribes de c) qui existent pour définir, commencer la mise en place et optimiser les futurs réseaux. Cela passerait par :

- I. des expériences d'assimilation centrées sur les campagnes de mesures intensives,
- II. des expériences d'assimilation sur des zones étendues (par exemple le Golfe de Gascogne), et sur des durées assez longues avec 1 type de données (par exemple les thermosalinomètre), puis avec un second type (par exemple ADCP).

Intérêt de l'assimilation pour l'optimisation des futurs réseaux d'observation

Les techniques d'assimilation « avancées » permettent de tester l'impact d'un réseau d'observation sur le contrôle de la trajectoire d'un modèle et sur l'identification de paramètres. C'est le cas des techniques variationnelles et des méthodes d'ensemble (Echevin et al., 2000) : les deux approches permettent le calcul des fonctions d'influence des observations sur l'ensemble des variables de contrôle (on les appelle aussi ces fonctions d'influence "représentateurs"). Bennett (in: De Mey et al., 2002) propose une technique permettant de discriminer les représentants effectivement discernables des erreurs liées aux observations, et donc de déterminer le nombre de degrés de liberté effectif de l'espace de contrôle. Ainsi, le test de réseaux d'observation et la vérification des modèles via l'assimilation sont liés: le premier objectif nécessite une bonne spécification des erreurs de prévision du modèle, et le second nécessite des réseaux d'observation adaptés.

Il convient donc d'ajouter à la *démarche pratique* ci-dessus :

- III. des expériences jumelles simulant des réseaux, basées sur l'expérience acquise avec des données réelles.

Une recommandation est claire que *les assimilateurs soient associés aux décisions concernant la mise en place des futurs réseaux d'observation.*

En quoi les méthodologies d'assimilation diffèrent-elles du hauturier ?

Tout d'abord la dynamique côtière ainsi que sa modélisation diffèrent du hauturier. Le *spectre d'énergie* y est plus étendu qu'en océanographie hauturière (sauf peut-être à l'équateur) : nous sommes en effet en présence de toute une gamme de processus en grande partie *forcés* et *couplés* entre eux, allant de l'évolution climatique au passage des ondes de Kelvin et à la génération et à la dissipation des ondes internes. Le système côtier est *dynamiquement ouvert*, en ce sens qu'il est contrôlé par des forçages externes (atmosphère, fleuves, circulation à grande échelle). La *composante haute fréquence* y est significative, due en particulier à la divergence du vent à la côte, aux écarts par rapport à la réponse dite « baromètre inverse », au forçage d'ondes internes par la marée, etc. La présence de gradients importants de bathymétrie (talus) induit la présence *d'ondes piégées par la topographie*, éventuellement sous forme de modes couplés (Rossby/plateau), et induit également la présence de *circulations tridimensionnelles* souvent forcées par l'atmosphère, en particulier dans les canyons.

En conséquence, pour être en mesure de représenter les différents processus présents *ensemble* dans les observations, et pour être en mesure d'assimiler ces observations, les modèles côtiers dits « réalistes » (POM, SYMPHONIE, ROMS, etc.) doivent représenter une *gamme très riche de processus* et disposer de caractéristiques spécifiques (surface libre, frontières ouvertes, systèmes de coordonnées verticales, traitement des gradients de pression, schémas d'advection, couche limite de fond, éventuellement formulation en éléments ou volumes finis, etc.). Les *conditions aux limites ouvertes* sont à la fois nécessaires (voir section suivante) et intrinsèquement imparfaites. En outre la finesse de la grille spatiale et le faible pas de temps induisent un *coût relatif* assez élevé, ce qui peut avoir des conséquences sur le choix d'une méthode d'assimilation pour un usage donné.

Dans l'océan côtier, on s'intéresse la plupart du temps à des échelles de processus plus fines que dans l'océan hauturier et à des variables plus diversifiées (courants, niveau de la mer, turbidité, variables biogéochimiques, etc.), alors que les forçages d'un système côtier (conditions aux limites latérales, flux océan/atmosphère, bathymétrie, orographie) ne sont en général disponibles qu'à des échelles plus grandes et avec des résolutions plus grossières. D'où le concept transversal de *downscaling*, qui inclut à la fois les observations, les modèles, et la méthodologie d'estimation, et qui couvre à la fois la composante océanique et la composante atmosphérique. On peut par exemple imaginer à terme un modèle côtier couplé avec un modèle atmosphérique (complet ou de couche limite), assimilant à la fois une estimation océanique à grande échelle et les observations multidisciplinaires disponibles localement.

Dans l'océan hauturier, l'assimilation s'appuie largement sur les satellites (notamment altimétriques). C'est beaucoup plus difficile en côtier, du fait comme on l'a vu plus haut de la couverture spatio-temporelle, des corrections d'environnement, etc. Cela a des implications sur les types de développements nécessaires en assimilation. D'une part, en côtier, *le problème d'assimilation sera nécessairement multivarié*, dans la mesure où il devra prendre en compte les covariances entre les variables afin de compenser l'inhomogénéité des mesures. Par ailleurs, le besoin *d'interpolation dynamique* via le modèle ou tout autre interpolateur performant sera plus critique dans la mesure où l'altimétrie ne pourra plus jouer le rôle de régularisation spatio-temporelle de l'inversion qu'elle a en hauturier.

Enfin deux caractéristiques propres à l'assimilation rendent le problème plus ardu dans l'océan côtier :

- Contrairement à la circulation à l'échelle synoptique et à la mésoéchelle, les propriétés de *l'attracteur dynamique côtier* n'ont pas à notre connaissance fait l'objet d'études spécifiques. L'existence d'une variété lente n'est pas garantie. En conséquence, l'initialisation d'un modèle côtier, et sa réinitialisation après correction par un schéma d'assimilation séquentielle, sont encore des opérations assez mystérieuses. En outre, la notion de climatologie côtière n'a peut-être pas de sens (tout au moins si l'on se limite à la *moyenne climatologique*).
- La structure spatio-temporelle des *erreurs* des modèles côtiers est généralement mal connue. Ceci est vrai à la fois des erreurs des modèles (« erreurs de prévision ») et des erreurs de représentativité (en gros, la différence entre un processus vu par le modèle et le même processus vu par les observations). Ceci n'est pas propre aux modèles côtiers. Cependant, les erreurs des modèles côtiers sont inhomogènes au moins dans la direction perpendiculaire à la côte, et des couplages existent entre les composantes des erreurs de prévision. En outre ces

erreurs sont non-séparables verticalement et horizontalement (Echevin et al., 2000). Enfin, l'océan côtier étant un système ouvert, les statistiques d'erreur sont non stationnaires. Par contre, dans l'océan hauturier, des modélisations du sous-espace d'erreur (la fameuse "matrice **B**") utilisant des EOFs 3D (Testut et al., 2002) ou des EOFs 1D avec hypothèse de séparabilité horizontale/verticale (De Mey et Benkiran, 2002) ont été essayées avec un relatif succès, dans la mesure où l'approche en EOFs fournit une troncature aisée du problème, permet de mettre en évidence les structures covariantes des erreurs et de les relier à des processus physiques particuliers, et dans la mesure où les EOFs dominants (3D ou 1D) sont en pratique observables par l'altimétrie et la SST, et sont donc contrôlables. Dans l'océan côtier, du fait de l'absence de propriétés statistiques similaires, il semble peu probable que nous puissions parvenir à des recettes aussi simples pour modéliser, propager et réduire l'ordre des erreurs (p.ex. Dee, 1991; De Mey, 1997). En conséquence, ces « recettes » sont à réinventer en côtier.

L'existence de ces difficultés particulières demande des études spécifiques. Nous recommandons notamment l'utilisation de méthodes d'ensemble pour l'exploration du sous-espace d'erreur de modèles côtiers « réalistes ». Nous discutons ci-après un peu plus en détail le problème d'imbrication.

Rôles respectifs de l'assimilation et de l'imbrication

Dans un modèle régional ou côtier, le problème du contrôle des conditions aux frontières et des forçages de surface est probablement incontournable. Par conséquent, une première caractéristique commune aux différents usages listés plus haut est qu'il y a en général deux contraintes principales : (1) une ou plusieurs solutions à plus grande échelle, mais pas nécessairement avec la même physique, et (2) les observations locales. Dans ce contexte, que peut-on attendre de l'assimilation au premier ordre ? Si les conditions aux frontières proviennent d'un modèle à grande échelle, *les problèmes d'imbrication et d'assimilation ne pourront pas être dissociés*. En fait, ce sont les deux facettes du même problème d'estimation de conditions aux frontières, avec d'une part des données qui proviennent d'un modèle à grille grossière et d'autre part des données provenant de systèmes d'observation.

Le projet européen MFSTEP en Méditerranée définit une imbrication à trois étages : (1) le modèle de bassin (toit rigide); (2) des modèles régionaux à 3 km de résolution spatiale, imbriqués dans le modèle de bassin; (3) des modèles dits "de plateau" à une résolution spatiale d'environ 1 km imbriqués dans les modèles régionaux. Les réseaux d'observation suivent la même logique. On parle dans ce cas de *downscaling*: les informations disponibles à grande échelle, comme la réponse au forçage par le vent à l'échelle des gyres Méditerranéens, "descendent" la chaîne des modèles et contraignent les modèles régionaux et de plateau. Parallèlement, les chercheurs impliqués dans MFSTEP travaillent à *l'upscaling* des observations locales, et au couplage des espaces d'erreur des différents étages.

Dans cette perspective, peut-on dire que l'estimation de conditions aux limites est plus importante que l'estimation de conditions initiales dans les modèles côtiers ? Oui et non. S'il est vrai que les modèles à aire limitée oublient en général assez rapidement leurs conditions initiales, des conditions initiales non physiques pour un modèle à surface libre produiront des transitoires eux-mêmes non physiques dont il sera très difficile de se débarrasser. Il nous semble préférable comme il a été dit ci-dessus de considérer un seul problème d'estimation cherchant à obtenir une *solution globale cohérente*, que ce soit en termes de conditions initiales, aux limites ou des paramètres que l'on cherche à estimer.

Une autre question que l'on peut se poser est la suivante: l'assimilation de données locales (dans la mesure où ces données existent) est-elle réellement utile ou peut-on se contenter d'imbriquer ? Au-delà du principe général de l'assimilation, qui consiste à utiliser toute l'information disponible, il est probable que les observations locales contiendront des informations qui ne seront pas disponibles dans les étages supérieurs de la hiérarchie de modèles. On pourra par exemple vouloir assimiler des données de courants de surface (radars, ADCP) dans un modèle côtier à surface libre imbriqué dans un modèle à grille grossière et toit rigide ne permettant pas d'assimiler ce type d'observations. De plus, rien ne nous interdit d'assimiler une même observation à deux étages adjacents de la hiérarchie de modèles, dans la mesure où ce qui sera réellement inversé dans le problème d'assimilation du modèle de petite échelle n'aura pas été déjà inversé dans le modèle de plus grande échelle (résidus d'innovation). Une chose est relativement claire : les observations locales contiennent des informations utiles. Ce sont en effet les seules à disposer des bonnes échelles spatio-temporelles.

Méthodes d'exploration du sous-espace d'erreur et choix des variables de contrôle

En pratique, les schémas d'assimilation utilisent l'interpolation dynamique, statistique, et l'extrapolation d'une variable à une autre (caractère multivarié) pour combiner les différentes informations disponibles (par exemple pour combiner les observations à l'ébauche). Ces opérations d'interpolation sont réalisées dans l'espace d'erreur du modèle ("les degrés de liberté ouverts"), ou plus exactement dans un sous-espace qui est modélisé d'une certaine manière (p.ex. De Mey, 1997). La première étape est donc *d'explorer l'espace d'erreur du modèle* (comme il a été signalé plus haut, cela peut se faire à l'aide de méthodes d'ensemble comme dans Auclair et al., 2003). Ensuite, il convient d'examiner les jeux d'observation disponibles et de se poser la question : quelle physique particulière ces observations permettront-elles de corriger ? Cette question est centrale; elle va se traduire en choix particuliers de modélisation du sous-espace d'erreur. Comme on l'a vu plus haut, les "recettes" utilisées dans l'océan hauturier ne sont plus valides ici.

Les sources d'erreur principales des modèles hydrodynamiques côtiers sont données dans le Tableau 1.

Tableau 1: Sources d'erreur principales des modèles hydrodynamiques côtiers

<i>Source d'erreur</i>	<i>Variables sensibles à ces erreurs</i>	<i>Gamme de fréquences</i>
Forçage atmosphérique (pression, vent, flux)	h, w, T(surf), S(surf)	BF / HF
Forçage latéral, modèle parent	u,v,T,S(z), h	BF
Bathymétrie, friction de fond	h, u,v(z), w (HF) ; KE(z) (BF)	BF / HF
Mésoéchelle, instabilités	z(dens), h	BF
Mélange vertical, panaches	u,v,T,S,KE(z)	BF

A défaut de pouvoir directement tarir les sources d'erreur (c'est parfois possible, surtout s'il s'agit de paramétrisations internes), c'est en particulier sur les variables de la seconde colonne (variables de contrôle) que l'assimilation peut agir. Du choix du sous-espace d'erreur dépendra la façon dont les observations corrigeront ces variables de contrôle et l'ensemble de l'état du système.

A notre connaissance, le problème n'est pas résolu à l'heure actuelle. Plusieurs études en cours au POC se proposent de générer des ensembles en perturbant directement les sources dans la

colonne de gauche et en réalisant des expériences de Monte-Carlo; on en tire les statistiques nécessaires aux problèmes d'assimilation, et en particulier la génération d'un sous-espace d'erreur *ad hoc* par une base composée des EOFs d'ensemble dominants. Tout ceci est en cours de test en Méditerranée et dans le Golfe de Gascogne, sur des modèles 2D et 3D.

Enfin, signalons que pour leur importance vis-à-vis de la plupart des questions environnementales, le suivi des panaches constitue un processus à maîtriser absolument. La position de la couche de mélange et l'état de la stratification doivent être également estimés avec une précision accrue, du fait de leur influence sur les événements de type efflorescence algale, diffusion des polluants dissous, transport des larves, etc.

Quelles méthodes de contrôle de l'état ?

Il existe une palette d'algorithmes permettant d'assimiler dans les modèles numériques atmosphériques et océaniques. L'objectif de cette section n'est pas de les passer en revue; on pourra à cet effet consulter Ghil et Malanotte-Rizzoli (1991), Bennett (1992), De Mey (1997), ou Bertino et al. (2003) pour ne citer que quelques articles de revue. Ces méthodologies sont souvent un peu arbitrairement classées en "méthodologies simplifiées" et "méthodologies avancées". On considère habituellement comme méthodologies avancées, soit des méthodes proches du filtre de Kalman étendu (KF), qui estiment à la fois l'état et les covariances d'erreur (ces méthodes incluent donc l'exploration en ligne du sous-espace d'erreur), soit des méthodes utilisant pleinement la dynamique du modèle (comme le 4D-var). On peut également considérer comme avancées les méthodologies hybrides associant plusieurs méthodes, comme par exemple l'association d'une méthode d'ensemble à une étape de projection dynamique faisant intervenir un algorithme variationnel. Enfin, une méthodologie simplifiée comme l'interpolation optimale (OI) peut utiliser des statistiques issues d'une méthode de Monte-Carlo comme exposé dans la section précédente.

Les exemples d'implémentation de l'assimilation de données dans l'océan côtier sont bien moins nombreux, et plus récents, que dans l'océan hauturier (où ils sont à leur tour moins nombreux et plus récents que dans l'atmosphère). Dans l'océan côtier, et en se limitant aux modèles de circulation, l'assimilation a été implémentée dans des modèles 2D (niveau de la mer, courants barotropes) et 3D (idem + traceurs et courants baroclines). Citons les travaux en assimilation côtière de Madsen et Canizares (1999) et Wolf et al. (2000) sur différents types de filtres de Kalman; Arango et al. (comm. pers., 1999) et Oke et al. (2002) sur l'interpolation optimale; Lermusiaux (2001) sur l'assimilation à ordre réduit; Echevin et al. (2000) et Auclair et al. (2003) sur le calcul de statistiques d'ensemble en vue de leur utilisation en assimilation; Sørensen et al. (2001), Kurapov et al. (2002) et Mourre et al. (comm. pers., 2003) sur les méthodes d'ensemble; Devenon et al. (2001), Leredde et al. (2002), Taillandier et al. (2003), et Moore et al. (2003) sur le 4Dvar avec optimisation des frontières ouvertes; pour ne citer que quelques études significatives. Moore et al. développent en particulier un linéaire tangent et un adjoint de ROMS, qui serait donc le premier modèle tridimensionnel à surface libre à disposer d'un tel outil.

De manière générale, les caractéristiques souhaitables d'une méthodologie d'estimation de l'état dans l'océan côtier sont les suivantes:

- Prise en compte des erreurs du modèle hydrodynamique (mélange, interaction avec la bathymétrie) et des erreurs de forçage (grande échelle, atmosphère); capacité à identifier les paramètres "constants" de ces erreurs (biais, mélange vertical).

- Utilisation de statistiques d'erreur multivariées (du fait d'une observation très partielle par les mesures), et utilisation de la dynamique du modèle comme interpolateur inter-variables.
- Extension possible à des distributions non gaussiennes; au minimum, existence d'un critère de cohérence interne (valeur minimum d'une fonction coût).
- Capacité, pour un schéma séquentiel, à prendre en compte les changements de régime atmosphérique et océanique (conditions d'instabilité des courants côtiers, pénétration sur le plateau), ce qui implique la capacité à faire évoluer une partie au moins des modes d'erreur.
- Traitement du problème de conditions initiales/conditions aux limites comme un problème d'estimation traité de manière cohérente avec l'assimilation de données.
- Approche permettant la prise en compte de différentes contraintes : modèle de circulation générale assimilant les observations à grande échelle (*in situ* et spatiales), modèle barotrope de bassin assimilant les marégraphes et représentant les hautes fréquences (marée, réponse aux forçages atmosphériques), observations locales, contraintes biogéochimiques, géochimiques et sédimentologiques.

A notre connaissance, aucune des études citées plus haut ne répond à l'heure actuelle à ce cahier des charges, qui est d'ailleurs probablement incomplet, ce qui donne une idée du chemin restant à parcourir. Dans le futur proche, il nous semble utile de poursuivre l'exploration du sous-espace d'erreur des modèles (p. ex. Auclair et al., 2003), afin de caractériser ces erreurs et orienter les développements d'algorithmes d'assimilation. Il nous semble également utile d'étudier la meilleure façon d'utiliser les modèles numériques comme interpolateurs dynamiques et de caractériser l'attracteur dynamique propre à l'océan côtier : c'est le cas par exemple du problème de contrôle simultané des hauteurs d'eau et des vitesses de courant en des points frontières en correspondance via la partie hyperbolique de l'opérateur aux dérivées partielles du modèle (Taillandier et al., 2003). En parallèle, l'exploration des méthodes permettant l'identification de paramètres constants (méthodes variationnelles *ad hoc*, Monte Carlo Markov Chain, filtre adaptatif, etc.) doit être poursuivie.

Quelles méthodes d'initialisation / de projection sur un attracteur dynamique ad hoc ?

Sous le terme « initialisation » sont souvent regroupés deux problématiques : d'une part l'estimation de l'état du système côtier à partir d'un ensemble d'informations et d'autre part l'ajustement de la dynamique du modèle afin qu'elle reste cohérente avec cette estimation ou avec tout autre estimation à venir.

La problématique de l'estimation de l'état de l'océan côtier est d'autant plus complexe que les informations à disposition (observations *in situ* ou satellitaires mais aussi sorties de modèles de circulation générale, de modèles de marée et plus généralement de modèles d'ondes de surface...) sont souvent disparates, parfois contradictoires et rarement synoptiques. La prise en compte de ces informations est un problème d'estimation complexe bien que classique dont une solution peut être obtenue par minimisation d'une fonctionnelle. Une telle méthode s'appuie inévitablement sur une connaissance à priori d'un certain nombre de propriétés statistiques du système « océan côtier ». A ce titre, « estimation de l'état initial » et assimilation sont très proches, comme on l'a vu plus haut.

L'ajustement de la dynamique du modèle est, dans le domaine côtier, un problème en soi. En effet, les temps de *spin-up* qui sont classiquement nécessaires pour l'ajustement de la dynamique sont du même ordre de grandeur que les processus modélisés (quelques jours). A cela, il convient

d'ajouter le fait déjà mentionné que le domaine côtier est par nature un système ouvert. Ainsi la durée du spin-up est du même ordre de grandeur que l'horizon de prédictibilité, même s'il reste certainement plus faible. De nouveau, cet ajustement dynamique est donc indissociable du problème général de l'assimilation à savoir le contrôle de la trajectoire du modèle côtier et dans ce cas précis son maintien sur un « attracteur » ou tout au moins une « variété » ad hoc.

A la suite de Machenhauer (1977), le problème peut être ramené à la recherche d'un équilibre entre les modes lents « de Rossby » et les modes rapides de gravité. Une solution consiste à augmenter le vecteur d'information des tendances temporelles des variables modèles ou tout au moins d'une observation indirecte de ces tendances. L'opérateur d'information est, en parallèle, augmenté d'un certain nombre de contraintes dynamiques associées au calcul de ces tendances : équations du mode externe du modèle côtier permettant le contrôle des ondes externes de gravité (Auclair et al., 2000a), composante géostrophique permettant la minimisation des erreurs de troncature du gradient horizontal de pression (Auclair et al., 2000b) ou encore ajustement de la vorticité potentielle (Auclair et al., 2003). L'ensemble de ces contraintes doit enfin être ajouté au problème global d'assimilation, dans le cas idéal où assimilation et projection sont réalisées simultanément.

Intérêt et limites de la prévision

L'échelle de temps des processus côtiers s'échelonne principalement de quelques heures à quelques jours, ce qui correspond à leurs forçages dominants que sont la météorologie et les ondes inertielles. Les interactions avec la mésoéchelle du large peuvent ajouter des échelles de temps plus longues. En conséquence, les applications de l'assimilation qui visent la prédiction vont rencontrer les mêmes limites que celles de la météorologie, au moins pour la partie des écoulements directement sujette à cette météorologie. Par contre il n'est pas sûr que la prévision océanique soit bonne ; même si la prévision météorologique l'est; c'est peut-être l'une des premières choses à tester.

Dans la prévision, à l'exception du problème des surcotes, ce n'est pas seulement la donnée physique obtenue par la circulation qui importe, mais les variables transportées, les traceurs conservatifs ou non (crise d'origine microbiologique, phytoplanctonique, apparition de la turbidité pour les applications militaires).

Comme on l'a vu plus haut, l'assimilation peut avoir pour objectif de remédier aux paramétrisations inexactes des modèles et aux incertitudes des forçages. Pour le côtier, les erreurs de modèles proviennent de l'influence des phénomènes à très haute résolution (frottement de la marée sur la micro-bathymétrie, prise en compte de l'état de mer dans l'effet du vent) ainsi que des flux aux interfaces ( vaporation-précipitation, apports d'eau douce en dehors des débits mesurés). En ce sens, l'identification de paramètres permet l'amélioration de la prévision. Elle permet par exemple l'ajustement des Strickler, paramètre intégrant le frottement sur le fond. En Manche, le forçage par la marée et la météo étant prédominant, on pourrait se demander si le rôle de l'assimilation en tant que contrôle de l'état serait encore central une fois les paramètres du modèle bien ajustés. Ceci reste bien entendu à démontrer.

Bibliographie

- Auclair F., P. Marsaleix and C. Estournel, 2000b: Sigma coordinate pressure gradient errors: evaluation and reduction by an inverse method. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 17, 1348-1367.
- Auclair F., S. Casitas and P. Marsaleix, 2000a: Application of an inverse method to coastal modeling. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 17, 1368-1391.

- Auclair, F., P. Marsaleix and P. De Mey, 2003: Space-time structure and dynamics of the forecast error in a coastal circulation model of the Gulf of Lyons. *Dyn. Atmos. Oceans*, 36, 309-346.
- Bennett, A. F., 1992 : Inverse methods in physical oceanography. Cambridge University Press, New York, 346 pp.
- Bertino, L., G. Evensen and H Wackernagel, 2003: Sequential data assimilation techniques in oceanography. *Int.l Statistical Review*, 71, 2, 223-241.
- De Mey P. and A. Robinson, 1987: Assimilation of Altimeter Eddy Fields in a Limited-Area Quasi-Geostrophic Model, *J. Phys. Oceanogr.*, 17, 2280-2293.
- De Mey, P., 1997: Data assimilation at the oceanic mesoscale : A review. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 75, 415-427. In : Data assimilation in meteorology and oceanography : Theory and Practice, Ghil *et al.*, Eds, Universal Academy Press, Tokyo, 496pp.
- De Mey, P., T. Awaji, M. J. Bell, A. F. Bennett, P. Brasseur, G. Evensen, K. Haines, I. Fukumori, O. M. Smedstad, D. Stammer, et A. Weaver, 2002: Approaches to data assimilation within GODAE. Soumis à *Ocean Modeling*.
- De Mey, P., et M. Benkiran, 2002 : A multivariate reduced-order optimal interpolation method and its application to the Mediterranean basin-scale circulation. In : *Ocean Forecasting, Conceptual basis and applications*, N. Pinardi and J.D. Woods, Eds., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 472pp.
- Devenon, J.-L., I. Dekeyser, Y. Leredde, J-M. Lellouche, 2001: "Assimilation de données par méthode variationnelle utilisant l'adjoint d'un code de circulation côtière tridimensionnel". *Oceanologica Acta*, 24, 395-407.
- Echevin, V., P. De Mey, et G. Evensen, 2000 : Horizontal and vertical structure of the representer functions for sea surface measurements in a coastal circulation model. *J. Phys. Oceanogr.*, 30, 2627-2635.
- Ghil, M., and P. Malanotte-Rizzoli, 1991: Data assimilation in meteorology and oceanography. *Adv. Geophys.*, 33, 141-226.
- Kurapov, A.L., G.D. Egbert, R.N. Miller, & J.S. Allen, 2002: Data assimilation in a baroclinic coastal ocean model: ensemble statistics and comparison of methods, *Mon. Wea. Rev.*, 130, 1009-1025.
- Leredde Y., Dekeyser I., Devenon J.L., 2002: T-S data assimilation to optimise turbulent viscosity. An application to the Berre lagoon hydrodynamics. *J. Coastal Research*, 18, 3, 555-567.
- Lermusiaux, P.F.J., 2001: Evolving the subspace of the three-dimensional multiscale ocean variability: Massachusetts Bay *J. Marine Systems, Special issue on "Three-dimensional ocean circulation: Lagrangian measurements and diagnostic analyses"*, 29, 385-422.
- Madsen, H. and R. Canizares, 1999: Comparison of extended and ensemble Kalman filters for data assimilation in coastal area modelling. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 31, 961-981.
- Moore, A. M., H. G. Arango, E. Di Lorenzo, B. D. Cornuelle, A. J. Miller, and D. J. Neilson, 2003: A comprehensive ocean prediction and analysis system based on the tangent linear and adjoint of a regional ocean model, soumis à *Ocean Modeling*.
- Oke, P. R., J. S. Allen, R. N. Miller, G. D. Egbert and P. M. Kosro, 2002: Assimilation of surface velocity data into a primitive equation coastal ocean model. *J. Geophys. Res.*, 107 (C9), 3122.
- Sørensen, J.V.T., Madsen, H. and Madsen, H., 2001: Data assimilation of tidal gauge data in a three-dimensional coastal model, 4th DHI Software Conference, 6-8 June, 2001, Scanticon Conference Centre, Helsingør, Denmark.
- Taillandier V., V. Echevin, L. Mortier, J-L. Devenon, 2003: Controlling boundary conditions with a 4-D variational data assimilation method in a non stratified open coastal model. Soumis à *Ocean Modelling*.

- Testut C.-E., Brasseur P., Brankart J.-M., and Verron J., 2002 : Assimilation of sea-surface temperature and altimetric observations during 1992-1993 into an eddy-permitting primitive equation model of the North Atlantic Ocean, *J. Mar. Syst.*, submitted.
- Wolf, T., J. Sénégas, L. Bertino, and H. Wackernagel, 2000: Application of data assimilation to three-dimensional hydrodynamics: the case of the Odra lagoon. In: Monestiez, Allard, and Froidevaux, editors, *GeoENV III : Geostatistics for Environmental Applications*, Amsterdam.

6. Conclusions et recommandations

6.1. Remarques conclusives générales

Le séminaire a rassemblé une part importante de la communauté nationale menant des travaux de recherche dans le domaine de l'hydrodynamique côtière. Certaines équipes présentes sont impliquées à la fois dans le domaine côtier et le domaine littoral. Le séminaire a également bénéficié de la présence d'un petit nombre d'équipes engagées dans des activités de recherche dans le domaine littoral, sans pour autant représenter le spectre d'activité complet de ce secteur.

Le bilan montre que la communauté Recherche mène depuis plusieurs années, avec des moyens que l'on peut qualifier de faibles face à l'ampleur des questions scientifiques posées, des recherches d'un très bon niveau scientifique, dans des domaines variés couvrant globalement l'essentiel des aspects de l'hydrodynamique côtière et nombre de ses applications pluridisciplinaires. Des compétences remarquables existent donc au sein de cette communauté. Le recueil des résumés des communications et des posters joint en Annexe est bien représentatif de la richesse des activités scientifiques. Le rapport propose également en Annexe une description des équipes de recherches qui donne une image assez complète de la communauté impliquée dans la recherche en hydrodynamique côtière au moment du Séminaire.

Le comité scientifique propose la mise en place d'un nombre limité de programmes sur un ou plusieurs chantiers qui seraient de préférence thématiques. Cette démarche devrait permettre l'acquisition des connaissances et du savoir-faire pour la construction progressive d'un système intégré pour l'étude et la prévision du domaine côtier. Afin de bien définir et d'initier ce type d'action, qui n'a pas été débattu en profondeur au cours du Séminaire, le comité scientifique propose la création d'un Groupement de Recherche.

Une série de recommandations a été émise pour chacun des thèmes scientifiques discutés (observations, modélisation, couplage, assimilation) et qui pourront servir de socle pour les actions envisagées. Nous émettons aussi quelques remarques d'ordre plus général, ou sur des aspects importants qui n'ont pas été couverts lors des discussions thématiques.

Le développement de la recherche et de l'opérationnel nécessite la formation de scientifiques et de techniciens de haut niveau. Les aspects formation n'ont pas été débattus lors du Séminaire, mais ils restent clairement une préoccupation de la communauté, en particulier du fait du caractère très pluridisciplinaire de ce domaine scientifique.

- L'océanographie côtière se distingue par la diversité des disciplines scientifiques auxquelles elle fait appel, à la diversité des questions que lui pose notre société, et à la diversité des outils utilisés. Si l'on veut développer une cohésion d'objectifs et de moyens dans le cadre de cette diversité (liée à la richesse des activités scientifiques et techniques propre au domaine côtier), *il nous semble que le minimum indispensable est de parvenir à un niveau de communication et d'échanges au sein de la communauté qui soit bien supérieur à celui actuel. Les propositions faites ci après par le comité scientifique (section 6.5) vont donc dans ce sens.*

6.2. Remarques conclusives sur l'état de l'art, les équipes et les moyens

Le séminaire a montré des regroupements significatifs dans la communauté recherche autour d'objectifs et de moyens. Les progrès constatés ces dernières années dans l'organisation de la communauté sont cependant fragiles, car les facteurs de dispersion sont importants. La participation à des projets européens a un effet dispersif dans la mesure où les équipes répondent souvent aux appels d'offre de façon individuelle. L'impact des activités humaines dans les zones côtières pose de nombreux problèmes de connaissance, et demande une intensification des efforts de recherche et d'applications selon de multiples directions. Les équipes de recherche sont donc fortement sollicitées et attirées par des pôles d'activités divers.

- La dispersion en terme de sites est importante. Ceci traduit l'intérêt de la communauté pour l'ensemble des façades maritimes, intérêt souvent provoqué par leur spécificité en terme de processus et de champs d'applications scientifiques. *Il ne serait donc pas forcément judicieux de tenter de regrouper l'ensemble des activités de la communauté sur un nombre restreint de sites géographiques. Il semble beaucoup plus intéressant de faire travailler la communauté à la construction d'un système d'étude des régions côtières qui soit transportable d'une région à une autre. On pourrait ainsi identifier pour chaque chantier un ou deux thèmes scientifiques prioritaires pour lesquels le chantier constituerait un laboratoire d'étude et sur lesquels seraient concentrés les moyens disponibles.*

- La capacité de la communauté à concevoir des campagnes à la mer d'envergure et à développer des « observatoires » de recherche ou opérationnels de paramètres physiques in-situ reste limitée. Ces lacunes sont bien sûr imputables au petit nombre de chercheurs concernés. *Ce nombre n'étant pas appelé à évoluer fortement à court ou moyen terme, il est probable que les moyens viendront du développement de collaborations interdisciplinaires au sein des organismes, de redéploiements, mais surtout de la mobilisation d'autres organismes en charge de la surveillance et/ou de la gestion de l'environnement côtier.*

- Une certaine diversité des modèles traduisant des différences fondamentales relativement à la physique, au numérique ou aux applications, est considérée comme un facteur enrichissant pour la recherche. Néanmoins, la diversité actuelle des modèles utilisés par la communauté n'est pas totalement justifiée par de telles différences, et une convergence vers un nombre plus limité de modèles est souhaitable à moyen terme. *Une direction à prendre pour y parvenir serait d'organiser et de renforcer la coopération et la concertation entre les équipes sur les développements et la maintenance des modèles.*

- L'assimilation de données est encore très peu présente dans les modèles côtiers en France, alors que son importance pour les applications ayant des finalités de recherche ou opérationnelles est largement reconnue. *Un objectif prioritaire nous semble donc de renforcer cette composante. Ceci passe par l'affichage de thèmes scientifiques spécifiques, par l'ouverture de postes, et aussi par la prise en compte plus systématique de l'assimilation dans la stratégie d'utilisation et de développement des modèles numériques dans les différents laboratoires.*

6.3. Remarques conclusives sur les besoins scientifiques

- Le développement d'une capacité d'observation orientée vers l'étude des processus d'une part et vers le monitoring d'autre part (préfigurant une capacité d'observation opérationnelle) doit être entrepris. *Ceci passe par la constitution d'un parc d'instruments et de moyens classiques d'observation in-situ qui soit cohérent avec les échelles spatiales à observer, par la maîtrise de*

la télédétection (hertziennne et spatiale) en zones côtières, et par une contribution aux développements de nouveaux moyens d'observations (AUV). La mise en place des réseaux d'observations correspondants devrait être initiée en rapport avec les besoins scientifiques identifiés prioritaires par la communauté.

- Il existe un besoin de collecte, archivage, compilation et de mise à disposition d'observations dans le domaine côtier (bathymétrie, lignes de côte, météorologie de surface, observations océaniques, ...). *Cette fonction devrait être gérée par les services existants tels que SISMER et CORIOLIS, mais il est probable que les diverses communautés (recherche, opérationnel) devront participer à la définition précise et évolutive des besoins.*

- La météorologie de surface des régions côtières est loin de satisfaire les besoins exprimés par l'océanographie physique. *Les organismes de recherche devraient développer ce secteur d'activité scientifique en affichant cette thématique dans leurs priorités, et en incitant des équipes de recherche à s'investir dans ce domaine.* Le PATOM semble être le cadre privilégié pour de telles incitations.

- Les modèles côtiers ouverts sur l'océan (pour la recherche ou opérationnels) doivent être forcés par des modèles globaux opérationnels, de type MERCATOR. Une réflexion est à mener sur les outils à mettre en place pour que les systèmes côtiers puissent être correctement forcés (fréquence et densité des champs issus du système BR, localisation des zones de forçages, mode de mise à disposition des données, modifications à apporter au système BR (marée, prise en compte de la frange côtière ? ...).

- La télédétection dans le domaine côtier est un thème à développer car c'est un des rares outils permettant d'échantillonner la dynamique méso-échelle (dans l'espace et le temps). La télédétection est aussi un volet indissociable de l'opérationnel.

- Dans le domaine côtier, le couplage représente un champ d'application considérable pour la recherche en océanographie et les applications opérationnelles. Le couplage hydrodynamique-biogéochimie apparaît comme la première étape à aborder pour la mise en place et la validation en configuration réaliste d'un système opérationnel côtier. Une seconde étape sera d'adapter les modèles hydrodynamiques pour qu'ils soient capables de prendre en compte la dynamique des réseaux trophiques et de faire le lien entre les modèles de biogéochimie et ceux décrivant la dynamique des maillons supérieurs (IBM et autres).

- La transition côtier-littoral est encore mal connue. La dynamique littorale est assez déconnectée de la dynamique côtière, à l'exception de la marée, et est soumise essentiellement à l'action des vagues qui y génère d'importants courants soumis à de multiples instabilités, ainsi que des ondes longues de forte amplitude qui sont cruciales pour le transport de sédiment et l'érosion des côtes. Les études portant sur la transition côtier-littoral sont rares, et indiquent une décroissance progressive de l'importance relative des vagues au-delà de la zone de déferlement. Une étude plus poussée des phénomènes de couplage entre la circulation et les vagues est nécessaire pour progresser sur la connaissance de cette transition côtier-littoral (ce qui devrait par ailleurs permettre une meilleure représentation de la zone littorale elle-même). *Cependant, ces deux domaines ont en commun de nombreux processus dynamiques fondamentaux (transport, ondes, vagues, interactions ondes-courants) et certains processus de couplage (les aspects de dynamique littorale utiles aux modèles d'écosystème doivent également être pris en compte). Il est donc indispensable que ces deux communautés aient des interactions fortes et de véritables échanges scientifiques.*

6.4. Remarques conclusives pour l'océanographie côtière opérationnelle

- Concernant le développement de l'océanographie côtière opérationnelle, il est clair que les énormes progrès réalisés au cours des cinq dernières années sur les modèles et le savoir-faire en océanographie côtière démontrent que la communauté recherche est prête et qualifiée pour répondre au besoin de recherche amont des acteurs opérationnels. *Comment les gestionnaires et aménageurs peuvent prendre en compte ce savoir faire et l'utiliser reste à clarifier. Le développement de l'océanographie côtière et de son volet opérationnel ne doit pas se faire de manière isolée des utilisateurs potentiels (i.e. la demande sociétale). Le défi est donc d'arriver à instaurer un dialogue entre ces utilisateurs et la recherche.*

- Observations à caractère opérationnel : il semble clair, dans le domaine côtier, qu'il existe un déficit de données temps réel disponibles pour utilement contraindre les systèmes opérationnels (résolution insuffisante, altimétrie défaillante, ...). On s'attend en outre à ce que le domaine côtier ait besoin de données de nature différente par rapport au domaine hauturier pour être correctement contraint (par exemple on peut se poser la question de l'intérêt d'une donnée altimétrique en côtier). Outre les études à mener, dans le domaine de l'observation spatiale et in situ, pour combler le vide de données disponibles en « temps réel », il s'avère important de définir, par des études académiques (expériences jumelles) le type, la fréquence, la densité spatiale des données contraignant optimalement les modèles opérationnels côtiers.

- Opérationnel, couplage et système intégré : un système opérationnel ne peut se limiter à l'hydrodynamique et au temps réel. La mise en place d'un système opérationnel est une démarche complexe qui passe par l'identification de questions scientifiques et leurs traductions en processus à étudier et modéliser. La finalité est d'aboutir dans un chantier donné à un ensemble cohérent de modèles/données/processus dont chaque composante a été validée. Les composantes d'un système intégré pourront être bâties autour d'un noyau commun mais en ayant des spécificités régionales définies en fonction des objectifs identifiés par la gestion et l'aménagement. Plutôt qu'une contrainte, le développement de plates-formes intégrées doit être vu comme une opportunité pour placer l'océanographie côtière au cœur des problèmes de société et comme un défi scientifique majeur capable de fédérer les équipes travaillant sur le côtier.

- Couplage hydrodynamique/biogéochimie : un système opérationnel côtier ne peut en effet avoir d'utilité sans cette composante et sa validation en configuration réaliste doit reposer sur des aspects biogéochimiques en domaine côtier (noter que les possibilités de validation des modèles de circulation seront ainsi fortement accrues). Pour ce faire, il faut pouvoir disposer de modèles d'écosystème performants, ou au moins avoir une idée claire sur leurs possibilités/limites. *La mise en place de couplage des modèles hydrodynamiques avec les modèles biogéochimiques dans un système opérationnel côtier est donc une priorité.*

6.5. Propositions du Comité Scientifique

6.5.1. Un objectif scientifique à long terme : la construction d'un système intégré pour l'étude et la prévision du domaine côtier

Pour augmenter la synergie entre les équipes de recherche et parvenir à une complémentarité effective de leurs activités, la communauté recherche a besoin d'objectifs communs bien identifiés dans le long terme, et d'une structure organisationnelle qui fédère ses activités pour leur réalisation.

Cet objectif pourrait être de fournir une contribution majeure à la construction d'un système intégré (i.e. fondé sur des systèmes d'observations et de modélisation/assimilation) pour l'étude, la simulation et la prévision des différentes composantes (physiques, biogéochimiques, etc.) de systèmes côtiers (français, européens, et autres comme les grands upwellings de bords Est). Le développement et la mise en place d'un tel système intégré reste encore du domaine de la recherche. Ce système intégré devra cependant être élaboré pour répondre aux besoins exprimés par les acteurs de la société dans le domaine côtier (recherche, collectivités locales, etc..). Il pourrait être constitué d'un ensemble de systèmes régionaux interconnectés, avec à la base un système transportable d'une région côtière à une autre.

6.5.2. Une Organisation à court terme selon un Groupement de Recherche

Pour encadrer la communauté de recherche dans la réalisation de cet objectif à long terme, le comité scientifique propose la création d'un groupement de recherche - GdR en hydrodynamique côtière dont les tâches seraient de :

- . définir les questions scientifiques prioritaires que la recherche doit adresser,
- . définir, en concertation avec une large communauté travaillant dans le domaine de l'océanographie côtière, le contenu scientifique et technique du système intégré,
- . contribuer à organiser les activités scientifiques de la communauté autour de la construction de ce système (selon un plan d'implémentation progressif) et de son application aux questions scientifiques majeures.

Dans le court terme et moyen terme, cette organisation devrait permettre à la communauté de se rassembler sur des projets pluridisciplinaires précis et de définir le long terme.

A moyen et long terme, de permettre à cette communauté de contribuer à bâtir le système intégré pour l'étude, la simulation et la prévision des systèmes côtiers.

La création de ce GdR en hydrodynamique côtière, la mise en place de son comité de direction et la définition fine de ses tâches et de son calendrier à court terme devraient être rapidement décidées par les organismes.

6.5.3. Des rencontres programmées de la communauté scientifique active dans le domaine de l'océanographie côtière

Le séminaire a permis à la communauté d'échanger et de partager les résultats scientifiques et techniques les plus récents, et de discuter en profondeur les questions scientifiques d'actualité et les besoins émergents. Il nous semble très important que ceci puisse se faire de façon régulière. Nous proposons la tenue régulière de Journées de Rencontres en Océanographie Côtières, qui réserverait une large part à la discussion. Il nous semble qu'une fréquence de 3 ans (la durée d'une thèse) est une bonne fréquence pour un tel événement.

7. Annexes

7.1. Allocution introductive de Jean François Minster

Ce séminaire sur l'océanographie côtière me semble intéressant. Je vous remercie de me donner l'occasion de l'introduire, et en particulier Bruno Barnouin qui m'a laissé sa place.

Avec Ph. Courtier et J.P. Beysson d'une part, et Yves Desnoes d'autre part, nous avons pensé pouvoir y apporter une contribution. Celle-ci est rédigée dans une note que nous avons cosignée et qui vous est présentée dans ce rapport en annexe 6.2).

L'océanographie côtière pose de très nombreux problèmes de connaissance - tellement qu'il est difficile de focaliser l'effort. C'est assez frappant à l'échelle mondiale quand on examine les priorités du programme LOICZ, d'IGBP. Cependant, vous savez bien que l'étude des processus pour des raisons de curiosité n'est pas le seul mode de recherche. En tout cas pas pour les organismes de mission comme Météo-France, le SHOM ou l'Ifremer. Si bien qu'avec Philippe et Yves, nous nous sommes demandés quels enjeux et quels objectifs prioritaires nous voyions pour l'océanographie opérationnelle côtière.

Les enjeux sont assez bien connus et assez clairs. Ce sont les enjeux de GOOS, liés aux différents usages et à l'exploitation des ressources de la mer, aux problèmes environnementaux et aux aléas naturels. Météo-France met principalement l'accent sur les services liés à la sécurité, dans l'océan côtier et sur le littoral : états de mer, dérives en relation avec les accidents, surcotes en relation avec les marées-tempêtes et les crues. Le SHOM est concerné par la sécurité de la navigation, les connaissances de l'environnement en relation avec la propagation acoustique près de nos côtes et la maîtrise des outils en relation avec les besoins d'intervention de la marine sur les théâtres extérieurs. L'Ifremer est plutôt positionné sur les questions d'environnement (dispersion de polluants, état et évolution de l'écosystème, effets des activités de l'homme comme sur les transports sédimentaires, risques sanitaires liés à la consommation des produits de la mer etc.). Nous aurions pu ajouter les enjeux d'autres organismes de mission comme le Cetmef ou l'IGN.

On voit bien que les outils et compétences nécessaires sont multiples, et en même temps qu'ils ont beaucoup de points communs pour les différents enjeux. Aujourd'hui, il est impératif que nous tirions parti de l'ensemble des moyens et compétences de façon synergétique pour optimiser nos capacités de développement. Croyez-moi, à l'heure des restrictions budgétaires, personne – les politiques locaux et nationaux aussi bien que le public – ne comprendrait que nous ne fassions pas un tel effort de synergie. Ceux qui ont lu les rapports parlementaires ou la presse en relation avec l'affaire de l'Erika d'une part, où la concertation n'a pas vraiment joué, et celles de Ievoli Sun ou du Prestige, où nous avons travaillé ensemble, le savent bien.

Ces enjeux, comme vous le savez bien, se déclinent en systèmes de surveillance et d'alerte en systèmes d'études d'impact et en systèmes de prévision. Il n'est pas question d'opposer ces approches qui sont toutes les 3 nécessaires et se complètent. Néanmoins, il est impératif de choisir des priorités en matière de systèmes à construire.

Ces critères de priorités sont :

la satisfaction des besoins les plus essentiels, ou critiques, face aux attentes de notre société, mais aussi des systèmes contribuant à satisfaire le plus de besoins possibles ;

la maturation, les compétences et les outils disponibles permettant de construire le système ; l'offre de connaissance et de technologie ;
mais en même temps l'ambition et la volonté de provoquer des ruptures qui augmentent la motivation de tous et la capacité à mobiliser les moyens, et de mettre nos équipes en situation de leadership....

Nous n'avons pas effectué une analyse détaillée des priorités. En fait, nous estimons qu'un séminaire comme le vôtre doit permettre cela. Cependant, en en discutant, nous avons assez vite convergé vers une esquisse de vision qui est proposée dans la note :

D'une part, nous pensons qu'il faut mettre l'accent sur les systèmes de prévision. Il nous semble que ce sont eux qui satisfont le mieux les critères de priorité, aussi bien qu'ils facilitent la synergie. Il faut pour cela qu'ils incluent l'écosystème. Ce sont eux qui présentent les ruptures les plus intéressantes ;

D'autre part, nous avons ciblé 2 systèmes de prévisions :

un ou des systèmes à l'échelle des zones côtières (à distinguer des zones littorales et estuariennes) en Manche Atlantique et en Méditerranée occidentale ;

des systèmes littoraux, dans des sites clés, en relation avec les aléas naturels : les problèmes de surcôtes notamment.

Comme tout système de prévision du système naturel, cela se décline en observations, en modélisation numérique, en assimilation de données et en organisation, gestion, diffusion... Comme tout système opérationnel de prévision, il y a des contraintes fortes de prévisibilité et d'échéance. Comme tout système opérationnel, ils ne seront durables que s'ils sont intrinsèquement liés à de la recherche, parce qu'elle est source d'innovation, de validation, de réponse aux besoins, et parce qu'elle est cliente du système.

Dans la note, nous avons élaboré de façon préliminaire, les questions que nous semblent poser une telle ambition. Mais bien sûr, vous êtes les personnes compétentes pour décliner les questions. Notre message est que vous devez inclure dans vos réflexions, la sélection de priorités en nombre limité, pas seulement en matière de recherche mais aussi de systèmes opérationnels à construire ensemble, en réponse aux besoins de la société. Il faut ensuite décliner ces systèmes en travaux de recherche et développements technologiques et ainsi nous permettre de défendre et concentrer les moyens nécessaires – qui sinon risquent fort de ne pas être obtenus.

Bon travail.

7.2. Note sur l'Océanographie opérationnelle côtière

Afin de rassembler tous les éléments ayant contribué aux débats du séminaire, nous incluons ici la note de Messieurs J.-F. Minster (IFREMER), P. Courtier (Météo-France) et Y. Desnoes (SHOM), qui a été distribuée lors de l'introduction du séminaire. Cette note présente la vision et rappelle les missions des organismes qu'ils représentent en terme d'outils de prévision opérationnelle temps réel. Cette ébauche de l'océanographie opérationnelle des régions côtières doit bien sur être complétée par la vision qu'en ont les grands organismes de recherche que sont le CNRS, l'IRD et les Universités.

L'Océanographie opérationnelle côtière en France, une esquisse de vision

Jean-François Minster, Philippe Courtier, Yves Desnoes

La logique de construction de l'océanographie opérationnelle inclut un volet pour le large et un volet côtier (IOC, 1998). En France, comme dans le monde, le volet du large se construit progressivement, tandis que le volet côtier est moins structuré. Cette note vise à aider à construire une vision de ce que peut être ce volet côtier en France. Elle cherche notamment à identifier en quoi ce volet côtier doit nécessairement être différent du volet hauturier.

7.2.1. Besoins

Compte tenu des activités humaines le long du littoral et dans les zones côtières, les besoins d'océanographie opérationnelle sont plus nombreux et plus diversifiés qu'au large. Selon le plan de développement du GOOS (Global Ocean Observing System, IOC, 2002), on peut citer :

- la sécurité et l'efficacité des usages de la mer et du littoral (civils et militaires) ;
- la mitigation des effets des risques naturels ;
- les conséquences des variations et du changement climatique sur le littoral et les écosystèmes côtiers ;
- la réduction des risques de santé publique ;
- la protection et la restauration des écosystèmes marins ;
- l'exploitation durable des ressources de la mer ;
- les opérations militaires (acoustique, guerre des mines, amphibie, etc.) sur des théâtres d'opérations variés.

De nombreuses réglementations et conventions nationales, européennes et internationales sous tendent ces besoins.

Ces besoins amènent à concevoir des systèmes :

- de surveillance de l'environnement littoral et côtier permettant d'alerter les autorités et les usagers en cas de risques ;
- des outils d'étude d'impact, notamment d'aménagement ou de l'exploitation des ressources ;
- des outils de prédiction, notamment pour les usages de l'espace marin, face aux risques naturels et de santé, ou aux accidents.

Ces trois types de systèmes doivent être conçus comme complémentaires.

7.2.2. Systèmes existant, nouvelles perspectives

Des sous-systèmes relevant de l'océanographie opérationnelle littorale et côtière existent depuis de nombreuses années. On peut citer :

- des systèmes de surveillance et d'alerte : profil des côtes, rejet des centrales nucléaires, qualité des eaux, microbiologie, algues toxiques, état des ressources vivantes (en relation avec la pêche et l'aquaculture), trafic maritime, sauvegarde maritime du territoire et de ses approches. Ces systèmes s'enrichissent continûment, le dernier dossier concernant les

écosystèmes marins côtiers (benthiques et masses d'eau) en relation avec la directive cadre sur l'eau et les conséquences des marées noires. La spatialisation des observations (données satellites et aéroportées, modèles numériques), l'automatisation et l'observation autonome haute fréquence en temps réel sont des axes d'évolution technologique de ces réseaux. La problématique du porté à connaissance est diversifiée (alerte des autorités civiles, SIG pour la gestion intégrée des zones côtières...);

- des modèles numériques d'étude d'impact, qui sont disponibles de façon opérationnelle pour des besoins d'étude et d'expertise dans les établissements publics et des bureaux d'études (impact de travaux d'aménagement du littoral ou d'exploitation des espaces marins, principalement). Les modèles de recherche plus complexes (couplages avec les écosystèmes, transports particuliers, interfaces avec les fleuves etc...) doivent progressivement être opérationnalisés pour cela. Comme l'attente en matière d'études d'impact porte souvent sur le long terme, le couplage avec des outils de surveillance s'impose ;
- des outils de prévision opérationnelle temps réel (vents-vagues, surcôtes, marées, courants dans les ports...) existent ou se développent pour certaines composantes physiques du système, en liaison avec les missions des établissements publics (Météo-France, Cetmef, SHOM ...). *C'est à ce niveau que les perspectives nouvelles sont les plus importantes* : superpositions et interactions des différents processus physiques (marées, houles, transport BD par les courants forcés par les vents), couplages avec les courants et transports du large, inclusion des transports dissous et particuliers (transport, diffusion et dépôt de particules et de polluants, par exemple), inclusion de modèles d'écosystèmes ou de populations biologiques (transport de larves de poisson, panaches d'algues toxiques...). La logique du nowcast, hindcast, forecast rend ces systèmes de prévision très utiles en matière de surveillance à long terme.

Enfin, ces outils doivent être « transportables », que ce soient pour des besoins militaires (interventions sur des théâtres externes) ou civiles (aide au développement, par exemple).

7.2.3. Complexité des systèmes opérationnels côtiers

Par comparaison avec les systèmes opérationnels du large, les systèmes littoraux et côtiers présentent des particularités qui les rendent plus complexes à développer, notamment pour ce qui concerne les systèmes de prévision :

- les besoins sont plus diversifiés, impliquant notamment la nécessaire prise en compte de l'écosystème ; en outre ces besoins sont très souvent spécifiques d'une zone à l'autre ;
- les échelles spatio-temporelles des processus et des besoins nécessitent de hautes résolutions (la dizaine de mètres pour l'échelle spatiale dans un estuaire). En outre, les forçages à haute fréquence (vent) doivent être pris en compte, de même que les apports (crues des fleuves, pics de pollution, par exemple) ;
- de nombreux phénomènes physiques sont spécifiques : importance de la bathymétrie et de la nature du fond à haute précision (par exemple pour la ligne de côte, les installations et les découvrants, les fonds de faible profondeur, le talus continental); importance des interactions entre houles, courants de marée et courants dus au vent, rôle des apports d'eau douce, transports et dépôts sédimentaires, érosion, etc. ;
- les problèmes d'écosystèmes et de pollutions se posent souvent en termes spécifiques liés aux besoins (par exemple problèmes d'érosion, de la pêche, ou des algues toxiques), ou aux processus (couplage avec l'écosystème benthique...) nécessitant des modèles d'écosystèmes ou de dynamique de populations plus complexes que le seul écosystème primaire au large ;
- les outils d'observations sont encore mal adaptés à ces échelles spatio-temporelles locales, ou aux besoins d'études des polluants ou des écosystèmes ;

- les savoir-faire en matière d'assimilation de données dans les modèles côtiers (notamment les modèles couplés physique-écosystème) sont encore faibles, ce qui est bien sûr relié à la difficulté d'observation, mais est indispensable pour des systèmes de prévision.

Toutes ces questions nécessitent un programme de recherche coordonné, qui pourrait impliquer de nombreuses équipes et s'appuyer sur quelques grosses expériences à la mer (eg processus le long du talus...). Ce programme tirerait parti des résultats du PEA en cours, du PATOM, du PNEC et de Liteau ainsi que du défi Golfe de Gascogne de l'Ifremer, et devrait inclure un volet de validation des outils existants (y compris Mercator, prévi Mothy etc...).

Outre ces aspects génériques, la question des systèmes opérationnels littoraux et côtiers pose des problèmes d'extension entre le large et la côte, compte tenu des différences de processus entre la zone purement littorale et estuarienne, les plateaux continentaux côtiers et les zones profondes : faut-il disposer de systèmes littoraux et estuariens très haute résolution, de systèmes côtiers de plateau continental à plus faible résolution (par exemple le golfe de Gascogne) et de systèmes du large (par exemple Mercator) ou faut-il étendre les systèmes du large jusqu'à la zone littorale. Ce choix de principe se décline en questions de recherche comme de développement de systèmes et d'optimisation des moyens.

Ces difficultés impliquent une démarche en quatre volets :

- un volet de définition des priorités en matière de besoins et de systèmes à développer ;
- un volet de recherche en relation avec les besoins de ce système (modélisation, assimilation, principalement) ;
- un volet technologique (code et outil d'assimilation opérationnel, outils d'observation, système d'intégration de prévision, ingénierie de système) ;
- un volet institutionnel.

7.2.4. Esquisse de priorité en matière de besoins et de systèmes à développer

L'analyse précise en matière de besoins prioritaires à partir de critères explicites reste à faire.

Cependant, nous pensons que deux systèmes opérationnels temps réels peuvent être envisagés en priorité.

- a) Un système de prévision à l'échelle du golfe de Gascogne et de la Manche d'une part et du golfe du Lion (ou Méditerranée occidentale) d'autre part.

Ils seraient conçus comme incluant des composantes de l'écosystème et permettraient :

- de fournir les conditions d'environnement pour les opérations militaires ;
- de compléter par les champs de courants les systèmes de prévision de dérive et de dispersion de nappes ou de polluants à l'échelle du golfe, ou de dérives en cas d'accident maritime ou de pertes de cargaison ;
- de fournir les informations nécessaires à l'amélioration des prévisions d'états de mer ou des conditions météorologiques locales au large (bancs de brouillards), notamment en relation avec la sécurité maritime (couplages états de mer-courants, probabilité de vagues scélérates, impact sur la météorologie...) ;
- de fournir les champs de transport réalistes pour les transports de larves de poissons, en relation avec les pêches des petits pélagiques ;
- de fournir les conditions réalistes d'apparition et d'extension des floraisons au large induites par les apports côtiers ;
- de construire des hindcasts utiles pour décrire le changement climatique à l'échelle de ces zones ou pour mener des travaux de recherche relevant de Globec ou du cycle du carbone

- d'améliorer les conditions aux limites plus réalistes pour les modèles purement côtiers (locaux), en matière de courants et de transports (nutriments, plancton, larves, etc.) par rapport à ce qui existe ;
- de fournir des produits (eg forçages haute fréquence) également utiles pour les modèles littoraux de prévision.

Un avantage critique de tels systèmes serait que leur construction servirait de point de focalisation de nombreuses activités et augmenterait considérablement l'efficacité des travaux effectués en France dans ce domaine.

En matière de recherche, les questions prioritaires qui en découlent concernent les processus à l'aplomb du talus continental et leur modélisation (phénomènes agéostrophiques à haute résolution etc...), le couplage entre processus physiques, le couplage avec les modèles d'écosystèmes et de population, la signification des observations disponibles (altimétrie ?), le rôle des apports continentaux (eaux souterraines par exemple), l'assimilation des données (hydrographie, ADCP, bouées dérivantes, données de ferry box, couleur de la mer...) etc...

En matière de système d'observation, outre les traitements des données satellites, il est nécessaire de construire un réseau d'observation in situ. La composante « fixe » de ce système d'observation sera probablement plus importante que pour le large : l'équipement des navires océanographiques et halieutiques côtiers (ADCP, CUFES, AUV...) et de lignes de cabotage (ferry box), quelques mouillages pérennes (courantométrie, paramètres biogéochimiques), des radars côtiers... doivent être envisagés. L'utilisation des données des réseaux, levés existants ou programmés s'impose : cela pose la question de leur disponibilité temps réel. Ce système d'observation devra être intégré et optimisé à terme en tenant compte de l'impact des observations sur la qualité des prévisions. La gestion temps réel des données semble intégrable à Coriolis.

Des levés bathymétriques et de nature des fonds plus précis devraient être effectués. L'accès en temps réel aux débits et transports des fleuves est indispensable. Les nouveaux outils de description en temps réel des débits des rivières seraient probablement adaptés.

Les nouveaux modèles d'atmosphère régionaux de Météo-France (modèle AROME) pourraient inclure la description à haute fréquence et haute résolution sur le Golfe de Gascogne et la Manche.

En matière de système, les développements de code et de méthodes d'assimilation ainsi que les tests seraient plus naturellement effectués dans le cadre d'outils dédiés compte tenu des phénomènes spécifiques à prendre en compte. Une approche multimodèle est peut-être indispensable et à analyser. Cependant, penser à terme à un système opérationnel pose la question de son interface avec, ou de son inclusion dans Mercator, notamment en vue d'une optimisation des interfaces systèmes et des services. Cet outil serait client de systèmes existants (modèles de marées, de vent-vague...) et fournisseur pour les systèmes (Ifremer), les modèles de dérive et de surcôte (Météo-France) ou les modèles de propagation acoustique (SHOM). Cette articulation nécessite une analyse détaillée.

- b) Le besoin de prévision en temps réel pour les modèles littoraux et estuariens existe également, pour traiter de questions comme l'apparition des floraisons toxiques, la diffusion locale de polluants – par exemple lors d'orages, les conditions locales de courants aux abords des ports ou pour la plaisance etc....

Ces systèmes seraient développés et gérés plus localement mais bénéficieraient des outils, produits et services des systèmes côtiers.

Ce qui semble le plus urgent concerne les modèles de sur-côte dans certains sites clés, compte tenu de l'impact des risques naturels (marées, tempêtes, crues) en matière de sécurité pour l'homme et pour les installations (villes et ports, centrales d'énergie, parcs aquacoles).

Comme le précédent, un tel système doit se décliner en matière de recherche, d'observation, d'optimisation, de système. Compte tenu des missions des différents établissements, et des compétences et organisations nécessaires à la prévision et l'alerte à courte échéance, un tel outil est à gérer en mode opérationnel par Météo-France. Cependant, il devra bénéficier, selon une organisation à imaginer, aux services qui sont dans les missions des autres organismes partenaires : exploitation des ressources, surveillance, environnement, alerte et sécurité sanitaire associée (Ifremer), sécurité de la navigation (SHOM).

7.2.5. Partenaires

Les partenaires potentiellement concernés comme donneurs d'ordre, clients, fournisseurs ou financeurs sont nombreux :

- organismes publics opérationnels (Ifremer, Météo-France, SHOM) ;
- organismes publics de recherche (CNRS, Universités) ;
- organismes publics européens (Espagne, UK, Irlande) ;
- organismes régionaux (Agences de l'eau) ;
- tutelles (Recherche, Défense, Transport, Pêche) ;
- collectivités (Régions du littoral ou de l'Arc Atlantique) ;
- sociétés de service.

Des mécanismes de financements variés pourraient contribuer aux travaux de recherche et développement nécessaires (programmes incitatifs, PATOM, PNEC, Liteau, PEA, Interreg, Eurocore, projets européens...).

Le schéma d'organisation tel qu'il existe pour Mercator n'est donc pas nécessairement adapté. Une organisation incluant l'ensemble des partenaires, sur le modèle de celle qui gère l'océanographie opérationnelle dans le golfe du Maine (USA-Canada) pourrait être envisagée. Le réseau des équipes de développement et des services en accompagnement de ces systèmes (et en bénéfice) et par ailleurs différent du réseau qui accompagne Mercator. L'implantation des services doit enfin être analysée.

7.2.6. Perspectives

Notre analyse est qu'à l'échelle nationale, l'ensemble des compétences et des outils existe permettant de construire les systèmes évoqués ici. Une telle ambition est de nature à focaliser et renforcer les recherches et développements technologiques sur ces sujets tout en créant des outils au service de notre société : une approche incontournable dans le contexte économique actuel de la recherche.

Compte tenu des compétences et outils des différentes équipes, le séminaire sur l'océanographie physique côtière est l'occasion de débattre d'une telle vision, de sa pertinence et de sa modification, des besoins qu'elle soulève, des priorités et échéances réalistes.

Les responsables des trois organismes signataires sont prêts à étudier les conséquences d'une telle ambition avec les équipes et les autres organismes partenaires.

7.3. Programme :

Lundi 15 septembre

09h00 - 9h30 : Accueil, introduction.

Pascal Lazure : Bienvenue, organisation et déroulement du séminaire (10 mn)

Bernard Barnier : Rappel des objectifs du séminaire (5 mn)

Jean-François Minster : Introduction (15 mn)

09h30 - 11h00 : 6 présentations scientifiques de 15 mn. Président de séance : B. Barnier

1 - Mortier Laurent (LODYC - Paris) : Les navires d'opportunités pour l'observation en milieu côtier.

2 - Huret Martin (Ifremer DEL/EC - Brest) : Structures physiques du plateau continental du Golfe de Gascogne révélées par les images « Couleur de l'eau » de SeaWiFS.

3 - Vandermeirsch Frédéric (Ifremer DEL/AO - Brest) : Base de donnée hydrologique du golfe de Gascogne.

4 - Roy Claude (IDYLE-IRD) : La variabilité du système du Benguela vue par satellite.

5 - Sentchev Alexei (Univ. du Littoral - Wimereux) : Dynamique côtière en Manche orientale mesurée par le radar VHF Cosmer et des bouées dérivantes. Etude expérimentale et numérique appuyée par des observations satellitales.

11h00 - 11h30 : Pause

11h30 - 13h00 : 6 présentations scientifiques de 15 mn. Président de séance : L. Mortier

6 - Leredde Yann (COM - Marseille) : Le projet SARHYM : Suivi Automatique Régulier de l'HYdrologie du golfe du Lion et Modélisation.

7 - Legrand Jacques (Ifremer, TMSI - Brest) : Systèmes opérationnels de mesure in situ : en exploitation (MAREL) et en développement (PAGODE).

8 - Marchalot Claude (Ifremer SISMER - Brest) : Retour d'expérience sur grands projets de compilation de données et contribution à la définition d'une stratégie pour la gestion et la diffusion de données pour l'océanographie physique côtière.

9 - Mercier Herlé : Le système d'océanographie opérationnelle MERCATOR.

10 - Marchand Philippe (Ifremer TMSI/OP - Brest) : Eléments de prospective sur les outils de mesure in situ utilisables en océanographie opérationnelle côtière.

11 - Kerleguer Laurent (SHOM/CMO - Toulouse) : Retour d'expérience du SHOM en matière de soutien opérationnel (5 ans d'expérience).

13h00 - 14h15 : Pause

14h15 - 14h45 : 2 présentations scientifiques de 15 mn. Présidente de séance : A. Petrenko

12 - De Mey Pierre (LEGOS - Toulouse) : Assimilation par méthodes d'ensembles dans les modèles régionaux et côtiers.

13 - Morel Yves (SHOM/CMO - Brest) : Un programme d'étude amont sur la modélisation océanique d'un théâtre d'opération navale.

14h45 - 17h00 : Discussion du thème "Observations / Mesures". Animateur: L. Mortier

Présentation des questions soulevées par les membres du GT1 et discussion en séance plénière.

17h00 -20h00 : Session poster N°1

Mardi 16 septembre :

08h30 - 10h30 : 8 présentations scientifiques de 15 mn. Président de séance : Y. Morel

- 14 - **Douillet Pascal** (IRD - Nouméa) : Hydrodynamique et transport particulaire dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie.
- 15 - **Brenon Isabelle** (CLG - La Rochelle) : Circulation des masses d'eau dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire).
- 16 - **Katell Guizien** (LOB - Banyuls) : Modélisation de la dispersion larvaire dans une baie en Méditerranée.
- 17 - **Bailly du Bois Pascal** (IRSN - Octeville) : Validation de modèles hydrodynamiques de dispersion en mer macrotidale à l'aide de radiotraceurs solubles.
- 18 - **Fraunié Philippe** (LSEET - Toulon) : Modélisation et télédétection en milieu côtier Méditerranéen.
- 19 - **Garreau Pierre** (Ifremer DEL/AO - Brest) : Hydrodynamique côtière : de la modélisation à l'application.
- 20 - **Roy Claude** (IDYLE - IRD) : Une approche de la dynamique de l'écosystème du Benguela par la modélisation.
- 21 - **Cotty Pierre** (Ifremer TMSI/ID/RIC - Brest) : Eléments de réflexion sur les outils informatiques nécessaires à la modélisation, de la collecte des données à la diffusion des résultats des modèles.

10h30 - 11h00 : Pause dans le hall des posters

11h00 - 13h00 : Discussion thème "Assimilation de données". Animateur: P. De Mey

Présentation des questions soulevées par les membres du GT4 et discussion en séance plénière.

13h00 - 14h15 : Pause

14h15 - 16h15 : 8 présentations scientifiques de 15 mn. Présidente de séance : K. Guizien

- 22 - **Blayo Eric** (LMC- Grenoble) : Méthodes mathématiques et traitement numérique du couplage de modèles (Blayo).
- 23 - **Ardhuin Fabrice** (SHOM/CMO - Brest) : Couplages ocean-atmosphère à travers les vagues : théorie, modélisation avec application à la dérive en surface, observation, et transition vers l'opérationnel.
- 24 - **Le Hir Pierre** (Ifremer DEL/EC - Brest) : Besoins spécifiques en modélisation hydrodynamique pour la dynamique sédimentaire.
- 25 - **Planque Benjamin** (Ifremer DRV - Nantes) : Utilisation des simulations hydrodynamiques dans le cadre des études halieutiques sur le plateau continental du Golfe de Gascogne.
- 26 - **Pedreras Rodrigo** (BRGM - Orléans) : Modélisation de la circulation hydrodynamique induite par la houle.
- 27 - **Cugier Philippe** (Ifremer DEL/EC - Brest) : Besoins et contraintes pour le couplage des modèles biologiques avec des modèles hydrodynamiques.
- 28 - **Chapalain Georges** (UMR8110 - Villeneuve d'Ascq) : Processus hydrodynamiques et hydro-sédimentaires sur la plate-forme interne de la Manche orientale.
- 29 - **Devenon Jean-Luc** (COM - Marseille) : Etude de conditions aux limites ouvertes : Contrôle des conditions aux frontières ouvertes pour une version côtière du code OPA; Application au Golfe du Lion; Etude des conditions aux limites pour la ROFI Amazonienne du plateau Guyanais.

16h15 - 16h30 : Pause dans le hall des posters

16h30 - 18h30 : Discussion thème "Couplage de modèles et applications". Animateur: C. Roy

Présentation des questions soulevées par les membres du GT3 et discussion en séance plénière.

18h30 - 20h00 : Session poster N°2

Mercredi 17 septembre :

08h30 - 9h30 : 4 présentations scientifiques de 15 mn. Président de séance : P. Garreau

- 30 - **Lyard Florent** (LEGOS - Toulouse) : Sensibilité des modèles à surface libre aux forçages atmosphériques.
- 31 - **Marchesiello Patrick** (IDYLE-IRD) : Une approche intégrée de la modélisation régionale côtière.
- 32 - **Dumas Franck** (Ifremer DEL/AO - Brest) : Système de modélisation de la façade à la baie.
- 33 - **Estournel Claude** (LA/POC - Toulouse) : Modélisation de la circulation et des ondes de gravité dans le Golfe de Gascogne.

09h30 - 12h00 : Discussion du thème "Modélisation". Animateur: P. Lazure

Présentation des questions soulevées par les membres du GT2 et discussion en séance plénière.

12h00 - 13h00 : Discussion générale et fin du Séminaire

14h15 - 16h15 : Réunion restreinte du comité scientifique et des pilotes des groupes de travail

Posters présentés : (Les posters sont accrochés pendant toute la durée du séminaire).

- 1 - **Durrieu de Madron Xavier** (CEFREM - Perpignan) : Facteurs contrôlant la variabilité saisonnière et inter-annuelle du flux de matière sur la marge du Golfe du Lion.
- 2 - **Sentchev Alexei** (Univ. du Littoral - Wimereux) : Utilisation conjuguée des observations et des modèles numériques pour l'étude du transport larvaire en Manche orientale.
- 3 - **Rey Vincent** (LSEET - Toulon) : Ondes infragravitaires en milieu littoral.
- 4 - **Fraunié Philippe** (LSEET - Toulon) : Modélisation du déferlement par méthode VOF 3D.
- 5 - **Forget Philippe** (LSEET Toulon) : Modélisation et télédétection en milieu côtier Méditerranéen.
- 6 - **Pichon Annick** (SHOM/COM - Brest) : Dynamique de la couche de mélange dans le Golfe de Gascogne sous l'action des marées et des flux océan-atmosphère.
- 7 - **Echevin Vincent** (IDYLE - IRD) : Modélisation du système d'upwelling Sud-Américain.
- 8 - **Penven Pierrick** (IDYLE - IRD) : Quelques outils Matlab pour la génération et l'analyse de simulations.
- 9 - **Speich Sabrina** (LPO - Brest) : Modélisation des écoulements près de la marge Ibérique.
- 10 - **???** : Mécanique des fluides hamiltonienne appliquée à l'étude de l'excitation des ondes internes.
- 11 - **Machu Eric** (IDYLE - IRD) : Modélisation de la variabilité des premiers maillons trophiques de l'écosystème du Benguela: une approche comparative.
- 12 - **Jouan Mathieu** (LMC Grenoble - Ifremer DEL/AO - Brest) : Méthode de raffinement de grille, application au modèle 3D du golfe de Gascogne.
- 13 - **Garreau Pierre** (Ifremer DEL/AO - Brest) : Plateforme de modélisation des courants en Méditerranée.
- 14 - **Barnier Bernard** (LEGI - Grenoble) : Traitement des conditions limites aux frontières d'un domaine côtier : Application au Golfe de Gascogne.
- 15 - **Mariette Vincent** (Avel Mor - Plouzané) : Mesures de courants de marée par radar VHF et circulation résiduelle dans le Golfe Normand Breton.
- 16 - **Pinazo Christelle** (LOB - Marseille) : Impact du vent et des apports d'eau douce sur la biomasse phytoplanctonique du lagon de Nouméa (Nouvelle-Calédonie) en période estivale.
- 17 - **Astruc Dominique** (IMFT - Toulouse) : Etude de la dynamique des structures morphologiques tidales sur le plateau continental.
- 18 - **Auclair Francis, De Mey Pierre** (LEGOS - Toulouse), **Marsaleix Patrick** (LA/POC - Toulouse) : Ensemble-Based Description of the Forecast Error in a Coastal Hydrodynamic Model of the Gulf of Lions.
- 19 - **Mourre Baptiste** (LEGOS - Toulouse) : Etude de configuration d'une constellation de satellites altimétriques pour l'observation de la dynamique océanique côtière : mise en place d'une approche basée sur l'assimilation de données.

- 20 - [Petrenko Anne](#) (COM - Marseille) : Dans le Golfe du Lion: Sarhygol, Sarhym et Golts.
- 21 - [Magri Stéphanie](#), [Petitgas Pierre](#), [Lazure Pascal](#) (Ifremer DEL/AO-DRV - Brest) : Simulation de la distribution verticale des oeufs d'anchois dans le Golfe de Gascogne.
- 22 - [Gallou Y.](#) , [Seube N.](#) , [Simon P.](#) (ENSIETA, Brest) : Glisseurs (gliders) pour la mesure en océanographie physique.
- 23 - [Collard Fabrice](#), [Chapron Bertrand](#), [Ardhuin Fabrice](#) : La zone côtière vue par radar à synthèse d'ouverture.

7.4. Composition du comité scientifique et des groupes de travail

7.4.1. Composition des groupes de travail

GT1 - Observations/mesures

Laurent Mortier (LODYC): Pilote
 Fabrice Ardhuin (SHOM)
 Xavier Durieu de Madron (CEFREM)
 Phillippe Marchand (Ifremer)
 Anne Petrenko (COM)
 Jean-Luc Devenon (COM)

Laurent.Mortier@lodyc.jussieu.fr
 ardhuin@shom.fr
 demadron@univ-perp.fr
 philippe.marchand@ifremer.fr
 petrenko@com.univ-mrs.fr
 devenon@com.univ-mrs.fr

GT2 - Modélisation

Pascal Lazure (Ifremer): Pilote
 Bernard Barnier (LEGI)
 Vincent Echevin (LODYC)
 Patrick Marchesiello (IDYLE/IRD)
 Patrick Marsaleix (POC/LA)
 Yves Morel (CMO)
 Sabrina Speich (LPO)
 Florent Lyard (POC/LEGOS)

plazure@ifremer.fr
 bernard.barnier@hmg.inpg.fr
 vech@lodyc.jussieu.fr
 patrickm@atmos.ucla.edu
 marp@aero.obs-mip.fr
 morel@shom.fr
 Sabrina.Speich@univ-brest.fr
 florent.lyard@cnes.fr

GT3 - Couplages

Claude Roy (IDYLE/IRD): Pilote
 Olivier Aumont (LODYC)
 François Carlotti (EPOC)
 Claude Estournel (POC/LA)
 Benjamin Planque (Ifremer)
 Pierre Le Hir (Ifremer)

claudio.roy@ird.fr
 aumont@lodyc.jussieu.fr
 carlotti@epoc.u-bordeaux.fr
 Claude.Estournel@aero.obs-mip.fr
 benjamin.planque@ifremer.fr
 plehir@ifremer.fr

GT4 - Assimilation

Pierre De Mey (LEGOS): Pilote
 Francis Auclair (POC/LEGOS)
 Pierre Brasseur (LEGI)
 Yan Hervé De Roeck (Ifremer)
 Jean Luc Dévenon (COM)
 Fabienne Gaillard (LPO)

pierre.de-mey@cnes.fr
 francis.auclair@cnes.fr
 pierre.brasseur@hmg.inpg.fr
 Yann.Herve.De.Roeck@ifremer.fr
 devenon@com.univ-mrs.fr
 Fabienne.Gaillard@ifremer.fr

7.4.2. Comité Scientifique

Coordinateurs:

Bernard Barnier, LEGI, Grenoble, Tel: 04 76 82 50 66 Mèl: Bernard.Barnier@hmg.inpg.fr
Pascal Lazure, DEL/AO Ifremer, Brest, Tel: 02 98 22 43 41 Mèl: Pascal.Lazure@ifremer.fr

Membres:

Fabrice Ardhuin (SHOM), Yan Hervé De Roeck (Ifremer), Jean Luc Devenon (COM), Vincent Echevin (LODYC), Claude Estournel (POC/LA), Yves Morel (CMO), Claude Roy (IDYLE/IRD).

Organisation locale:

Pascal Lazure, DEL/AO, Ifremer.

Secrétariat:

Mme P. Thomin, Ifremer DEL/AO, Tel.: 02-98-22-47-60, Mèl: Pascale.Thomin@ifremer.fr
Mme J. Basseur, LEGI, Tel.: 04-76-82-50-61, Mèl: meom@hmg.inpg.fr

7.5. Recueil des résumés de communications et de posters

Les résumés suivent l'ordre de présentation des communications pendant le séminaire. Les titres peuvent différer de ceux du programme.

1- Les navires d'opportunités et les gliders pour l'observation en milieu côtier

Laurent MORTIER, LODYC – Paris.

I. TAUPIER-LETAGE – LOB – Marseille, P. TESTOR – IFM Kiel.

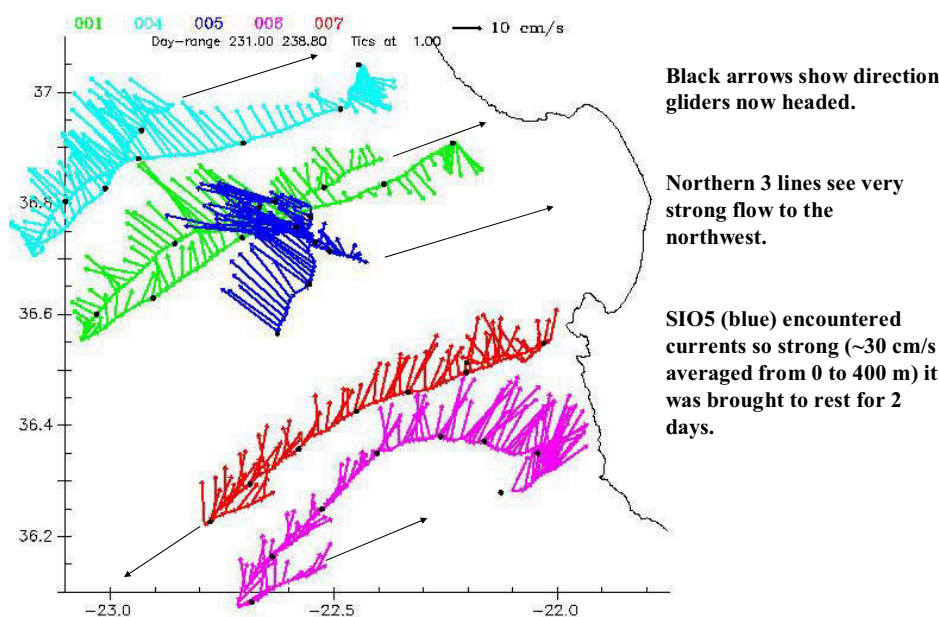
Idéalement, la conduite de campagnes d'observation 'orientées recherche', nécessite de disposer au préalable de données de surveillance du milieu à étudier permettant une caractérisation suffisante des phénomènes (variabilité temporelle notamment). Ce mode d'acquisition de données fournit également un flux de données qui peut se révéler utile pour des besoins opérationnels.

De tels systèmes d'acquisition régulière de données sur de longues périodes pour des objectifs de recherche commencent à être construits en zone côtière sous l'impulsion de laboratoires de recherche. La prise en compte dès la conception de ces systèmes, des contraintes de pérennisation dans un contexte opérationnel d'une part – ce qui n'est plus du ressort des laboratoires –, et de celles de transmission et distribution en temps réel ou différé à une communauté d'utilisateurs identifiés d'autre part, semble à même de fédérer les intérêts des scientifiques et des décideurs comme le montrent plusieurs projets en cours en Europe et aux USA.

Dans ce contexte, il y a un consensus sur l'utilisation de deux types de plateformes :

- les VOS ou SOOP : des ferries, de porte-conteneurs, des navires de pêche, voire de plaisance, équipés de capteurs autonomes. Cela peut permettre un bon échantillonnage spatio-temporel et l'automatisation des collectes. En revanche, cela pose des problèmes d'inter-calibration, de mise en place. Le coût d'installation est important mais le fonctionnement est très réduit.

- dans un futur proche, les plateformes autonomes de type « gliders ». Ce sont des engins autonomes de petite taille (~1 m) et légers (~50 kg), ce qui impose des contraintes sur l'instrumentation embarquée (quelques paramètres seulement comme T, S, Chlorophylle). Ils fournissent des sections verticales sur des trajets contrôlables depuis la terre. Leur principal avantage est l'économie d'énergie et l'autonomie de ces engins, qui peuvent parcourir des centaines de kilomètres sans maintenance et sans bateau "accompagnateur".



Trajectoires de 5 gliders de type SPRAY, déployés lors de l'expérience MUSE en mai-juin 2003 au large de la baie de Monterey. Les traits colorés donnent la vitesse des courants moyenne sur la verticale estimée à partir de la position entre deux émergences consécutives.

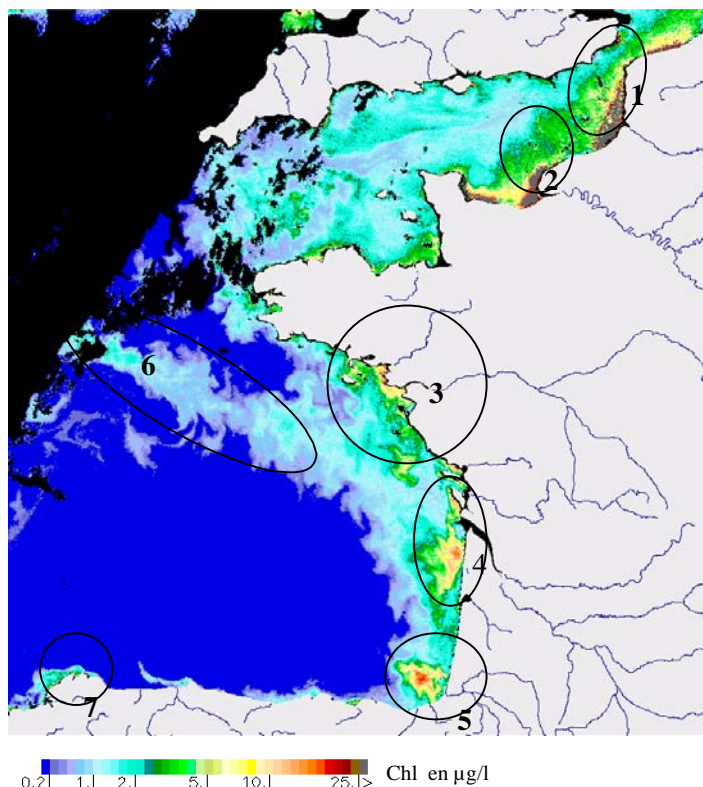
2 - Structures physiques côtières révélées par les images « couleur de l'eau » de SeaWiFS

Martin HURET, Francis GOHIN, Ifremer DEL/EC - Centre de Brest, Ecologie Côtière, BP 70, 29280 Plouzané.

La donnée « couleur de l'eau » correspond à la mesure de la réflectance marine dans le domaine du visible. Les variables déduites de la réflectance spectrale sont essentiellement la chlorophylle *a*, pigment des cellules phytoplanctoniques responsable de la photosynthèse, les matières en suspension, MES, en quantité importante en domaine côtier, et le coefficient d'atténuation de la lumière. Les algorithmes utilisés pour les données du capteur SeaWiFS dans le Golfe de Gascogne sont empiriques et basés sur un grand nombre de données *in-situ*. Ils permettent une fois par jour par ciel clair, avec 1 km de résolution, d'obtenir une observation synoptique des différents processus biologiques se déroulant en milieu côtier.

Les éléments principaux influençant la croissance du phytoplancton sont la disponibilité en éléments nutritifs, en lumière, ainsi que la température. Tout processus physique intervenant dans ces paramètres, par exemple par la stratification, pourra être révélé sur les images SeaWiFS par une augmentation de la concentration en chlorophylle *a*.

Les premières structures visibles sont les panaches des fleuves. Ceux-ci, enrichis en éléments nutritifs, correspondent à des concentrations élevées en chlorophylle au printemps. Ces concentrations varient selon la stratification haline et la limitation par la lumière due aux charges en MES. C'est le cas en hiver dans le Golfe de Gascogne, exemple pour lequel il sera préférable d'observer les panaches à l'aide des images de concentrations en MES plutôt qu'en chlorophylle. Les upwellings côtiers des Landes ou de la côte Nord de la péninsule ibérique sont également souvent visibles. La turbulence sur le talus se traduit par des apports en éléments nutritifs dans la zone euphotique et une augmentation de la concentration en chlorophylle apparente sur les images, surtout lorsqu'elle est associée à des coccolithes dont les propriétés optiques sont bien caractérisées. Il en est de même avec les tourbillons, souvent visibles au printemps, au large, dans le centre du Golfe.



- L'enrichissement du milieu côtier est favorisé par les apports des fleuves en éléments nutritifs (nitrate, phosphate, silice)

- On distingue, sur la côte Atlantique et la Manche, 7 grandes régions particulièrement productives :

- 1- Le littoral de la Somme
- 2- La Baie de Seine
- 3- L'ensemble Loire-Vilaine
- 4- La Gironde
- 5- L'Adour
- 6- Le talus du plateau continental
- 7- Le nord de la Corogne

3 - Projet de reconstitution temporelle et spatiale à partir de données hydrologiques in situ sur 40 ans

Frédéric VANDERMEIRSCH, DE/AO, IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

Une base de données hydrologiques dans le Golfe de Gascogne (1W à 15W - 43N à 50N) est en cours de validation. A partir de cette base, l'objectif est de reconstituer la variabilité spatiale et temporelle de la température et de la salinité sur les 40 dernières années. Cette série temporelle sera un support aux études scientifiques halieutique, biologique et physique. Elle permettrait en particulier de décrire la variabilité inter annuelle et de quantifier l'influence de la circulation basse fréquence (hauturière) sur la haute fréquence (plateau et talus).

4 - La variabilité du système du Benguela vue par satellite

C. ROY¹, H. DEMARCO², S. WEEKS³, R. BARLOW⁴, F. SHILLINGTON⁵, UR IDYLE.

1- Centre IRD de Bretagne, BP 70, 29280 Plouzané, France.

2 - IRD @ M&CM, Cape Town, South Africa.

3-OceanSpace-CC et University of Cape Town, South Africa.

4-M&CM, Cape Town, South Africa.

5- University of Cape Town, South Africa.

Les objectifs de la composante télédétection de l'Unité de Recherche IDYLE de l'IRD, unité à laquelle collaborent le *Marine & Coastal Management (M&CM)* et l'*Université de Cape Town (UCT)*, sont présentés. Deux types de données sont mis en œuvre de manière simultanée. Les données de température de surface de la mer (*SST Pathfinder*) et de couleur de l'eau (*SeaWifs*) à moyenne résolution (5 à 10km, mois) sont utilisées pour: 1-le monitoring à grande échelle et des études comparatives inter-systèmes; 2-le suivi de la variabilité régionale à partir d'indices synthétiques au cours des vingt dernières années, 3-des applications halieutiques (variabilité du recrutement, SIG, ...) et 4-la validation des simulations numériques NPZD. Les données *SST AVHRR* et *SeaWifs* à haute résolution (1km, jour) sont utilisées pour: 1- le suivi opérationnel et la définition d'indices; 2- des études de processus (dynamique méso-échelle TSM et Chl, émissions de sulfure, comparaison simulations numériques) et 3-le développement d'algorithmes spécifiques pour la couleur de l'eau en milieu côtier de type upwelling. Des exemples d'application sont donnés pour illustrer l'utilisation de la télédétection dans le projet IDYLE.

5 - Dynamique côtière en Manche orientale mesurée par le radar VHF Cosmer et des bouées dérivantes. Etude expérimentale et numérique appuyée par des observations satellitales et des mesures en mer

Alexei SENTCHEV, L. BRUTIER, H. LOISEL, ELICO, Université du Littoral, 62930 Wimereux.

Y. BARBIN, J. GAGGELLI, P. BROCHE, PH. FORGET, LSEET, Université de Toulon et du Var, 83957 La Garde.

V. COCHIN, AVELMOR, Technopôle Brest-Irvoise, Plouzané 29280.

Dans le cadre du chantier "Manche orientale" du PNEC, de multiples campagnes de mesures se sont déroulées en Manche orientale au printemps - été 2003: quatre campagnes en mer, plusieurs largages de bouées dérivantes et une campagne de mesures radar des courants marins.

Les mesures des courants par radar COSMER ont été effectuées dans la partie extrême est de la Manche orientale entre le 30 avril et le 10 juin 2003. Le COSMER (Courant Océaniques de surface MESurés par Radar) est un instrument radio-océanographique permettant de

cartographier les courants côtiers. Les mesures réalisées sont de type eulérien et concernent le courant intégré sur une profondeur de 25 cm et sur une surface de quelques centaines de mètres de côté. La période de répétition de mesures était de 20 min, la précision est de quelques centimètres. L'équipement comprend deux radars VHF Doppler, 45 et 47.8 MHz. Les radars ont été installés sur la côte au sud du Cap Gris Nez et à Wimereux, leur portée était de l'ordre de 25 km. L'algorithme du traitement de données, développé au LSEET, est automatique. Il fournit la composante radiale du courant dans chaque "cellule" de mer définie par un azimut et une distance et peut reconstituer le vecteur courant aux points de grille régulière à partir de mesures des vitesses radiales. Nous montrons sur la figure ci-dessous l'exemple des courants mesurés par radar dans le Pas de Calais pour deux instants de temps séparés d'une demi-période de marée.

Autre l'expérience radar, quatre campagnes de mesures en mer se sont déroulées en Mars/Avril/Mai/Juillet 2003. Durant chaque campagne nous avons procédé à un échantillonnage sur 60 stations "fixes" le long de radiales côte-large. Les mesures effectuées sont les suivantes: (a) paramètres de base (nutritifs, HPLC, Poids sec, nutritifs, POC, DOC, ...); (b) variables optiques: absorption du phytoplancton, du dissous et du particulaire; (c) mesures radiométriques multispectrales marines à partir de deux systèmes optiques de surface (Satlantic et Simbad-A); (d) profils radiométriques hyper-spectraux (350-700/ 2nm) dans la colonne d'eau (système "Trios"). Ces campagnes de mesures avaient deux objectifs majeurs. D'abord, analyse, à partir des images de la couleur de l'eau et des mesures in situ, des variations spatio-temporelles des concentrations en matériel dissous et particulaire, à combiner au champ de vitesse, afin de déterminer le flux de matière en Manche orientale. Puis, le développement d'un algorithme "régional" permettant de distinguer depuis l'espace différentes espèces phytoplanctoniques avec application de cet algorithme à la base de données SeaWiFS archivée depuis Septembre 1997.

Pour chaque campagne en mer, les radiales ont été complétées par l'échantillonnage le long de la trajectoire d'une bouée dérivante Argos suivie en bateau. Ces trajectoires seront utilisées pour analyser la dynamique des masses d'eau en Manche orientale. Les mesures des courants par radar et les dérives de bouée Argos constituent ainsi une base de données pour la validation d'un modèle de circulation côtière et d'un modèle de transport des matières phytoplanctoniques.

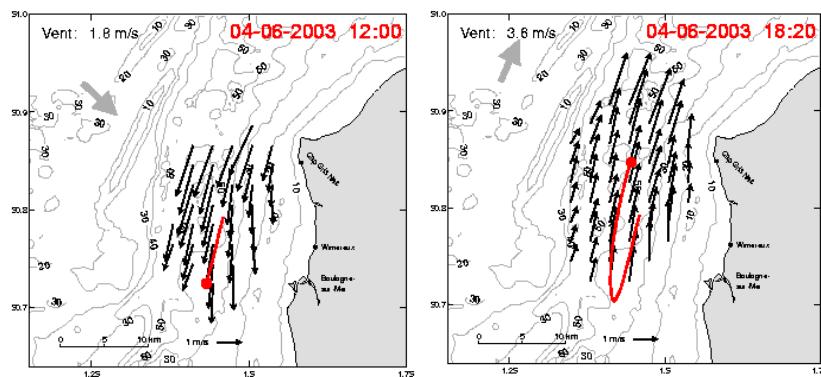


Figure: Courants de surface mesurés par radar COSMER et la trajectoire d'une bouée Argos.

6 - Observations et modélisation de la circulation dans le Golfe du Lion : Les projets SARHYM (Suivi Automatique Régulier de l'HYdrologie et Modélisation) et GOLTS (GOLfe du Lion Time Series)

Anne PETRENKO, Yann LEREDDE (orateur), Gilles ROUGIER, Jean-Luc DEVENON et Jean-Luc FUDA. Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Centre d'Océanologie de Marseille, Campus de Luminy. Case 901. 13288 Marseille cedex 9.

Les campagnes SARHYGOL (Suivi Automatique Régulier de l'HYdrologie du GOLfe du Lion) avaient pour objectif d'obtenir une vue quasi-synoptique de l'hydrodynamique du Golfe du Lion. Ces dix campagnes de 48h réalisées en 2000 et 2001 utilisaient les moyens de mesure automatique du Téthys II, ADCP de coque, thermosalinomètre et fluorimètre. Des mesures XBTs et des prélèvements de surface pour analyses biogéochimiques ont également été régulièrement effectués. Ces données sont très riches en informations mais ne sont pas toujours très faciles à analyser. Il est par exemple difficile d'extrapoler les paramètres mesurés sur l'ensemble du domaine, d'expliquer certains phénomènes physiques mesurés ou de discriminer les courants transitoires des courants permanents. Pour permettre d'avoir une vision certainement moins « vraie » du système observé mais plus complète (tridimensionnelle et continue en temps), le modèle numérique de circulation océanique Symphonie a été mis en œuvre dans les conditions réalistes de l'une des campagnes, Sarhygol 3 (13-15 juin 2000). Ce volet modélisation du projet SARHYM permet de discuter les différents paramètres et phénomènes observés, entre autres les vents, la stratification verticale, le Courant Nord (CN), la circulation de plateau ou les oscillations d'inertie (cf Leredde *et al*, 2003 et Petrenko *et al*, 2003).

Parmi les phénomènes observés et confirmés par le modèle, les intrusions du CN sur le plateau continental retiennent aujourd'hui notre attention. En effet, ces intrusions constituent les voies de passage des échanges côte-large, et notamment biogéochimiques. Elles n'ont jusqu'à présent été observées que par intermittence et les processus qui les génèrent sont encore mal compris. Aussi, un nouveau projet (GOLTS) a été lancé depuis fin 2001. Le cœur du nouveau dispositif est un ADCP de fond placé en rebord de l'entrée Est du plateau sur 160 m de fond. Le profil vertical de courant est enregistré tous les 30 mn avec une résolution de 4 m. Le mouillage est relevé tous les 6 mois à l'occasion de campagnes de 5 jours couvrant l'entrée Est du Golfe et utilisant les mêmes moyens que les campagnes Sarhygol. Les premières analyses montrent bien la présence intermittente du CN ou de l'une de ses branches sur la position du mouillage GOLTS. Une analyse systématique de la série temporelle de courants permettra de mieux discriminer ces épisodes. De même que dans le projet Sarhym, les données des campagnes bi-annuelles seront revisitées grâce à l'utilisation d'un modèle numérique. Cela permettra de mieux comprendre les moteurs de ces intrusions, accidents bathymétriques, stratification, vents et conditions amont du CN.

Références :

Leredde Y.; Petrenko, A.; Rougier, G.; Estournel, C.; Marsaleix, P., 2003. Observations and modelling of the circulation in the Gulf of Lions, NW Mediterranean sea. EGS - AGU - EUG Joint Assembly, Nice, France, April 2003.

Petrenko A., Leredde Y. et Marsaleix P., 2003. Circulation in a stratified and wind-forced Gulf of Lions, NW Mediterranean Sea: in-situ and modeling data. Continental Shelf Research, en préparation.

7 - Instrumentation opérationnelle : MAREL et PAGODE

Jacques LEGRAND - TMSI - IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

La Direction TMSI de l'Ifremer réalise des développements de systèmes instrumentaux en vue de répondre aux besoins de l'océanographie opérationnelle. Deux applications dans le domaine côtier de telles réalisations sont présentés : MAREL et PAGODE.

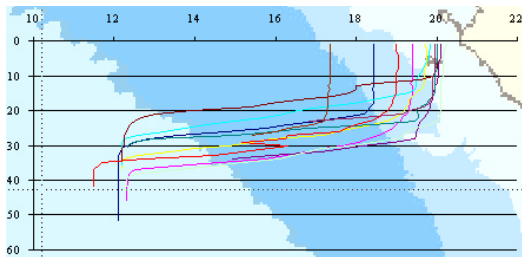
MAREL (Mesures Automatisées en Réseau pour l'Environnement Littoral) est un projet d'étude, réalisation, installation sur site et mise en exploitation opérationnelle de stations de mesures haute fréquence pour la surveillance en zone côtière (stations marines-SM), en estuaire (stations estuariennes-SE), sur estran ou sur site protégé.

L'autonomie de ces stations est de l'ordre de 3 mois. Les données sont transmises à la station de gestion à terre deux fois par jour et mises à disposition des utilisateurs après un contrôle de qualité, sous 24 heures. Actuellement deux sites sont équipés et en opération : la baie de Seine (2 SM + 1 SE) sous maîtrise d'ouvrage CETMEF et la mer d'Iroise (1 SM), copropriété UBO/INSU/IUEM et Ifremer. (voir les données aux adresses : www.ifremer.fr/marel/ et www.ifremer.fr/mareliroise/ . Deux nouveaux sites sont en cours d'équipement ou le seront à court terme : Boulogne (1 SM en bout de la digue Carnot) et un réseau en estuaire de Gironde (5 SE).



MAREL : Station estuarienne de Honfleur

PAGODE est un projet récent visant à la réalisation de profils T, S sur le plateau continental entre 30 et 400 m à fréquence journalière, autonomie visée de 1 an. Une première expérimentation de faisabilité se déroule actuellement au large de Belle Ile sur une durée de 3 semaines. Un profileur PROVOR a été modifié pour cycler dans cette tranche d'eau et se poser au fond entre deux profils. Les premiers résultats après dix jours d'expérimentation montrent une dérive faible, un comportement dynamique conforme aux prévisions.



PAGODE : prototype de démonstration et premiers profils T,S.

8 - Informatique et données, quelques retours d'expérience

Claude MARCHALOT, C. Maillard, M. Fichaut, G. Maudire, T. Carval, L. Petit de la Villéon, P. Cotty, ...

Direction de la Technologie et des Systèmes d'Information, Département Informatique Données Marines - IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

En réponse à l'objectif du séminaire d'établir un état de l'art afin de bien évaluer les investissements nécessaires au développement rapide de l'Océanographie Physique Côtière, cette présentation vise à :

- formuler un message sur les infrastructures informatiques,
- présenter deux retours d'expérience: Coriolis, Medar,
- proposer un état de l'art en guise de conclusions.

1/ Message sur les infrastructures informatiques :

Celles-ci ont un rôle structurant pour la recherche; elles peuvent ou non favoriser :

la coopération entre équipes, par l'installation d'espaces de travail collaboratifs et sécurisés en intranet ou extranet,

la mise en commun de données, par leur centralisation sur des serveurs équipés de Systèmes de Gestion de Bases de Données,

l'échange d'expérience, par l'organisation d'animations autour de moyens dédiés : pôle de calcul intensif pour la mer

Notre présence témoigne de notre motivation à contribuer au développement de l'océanographie côtière, une contribution qui sera d'autant plus efficace qu'elle se fera tôt. (*voir aussi présentation de P. Cotty*)

2/ Retour d'expérience sur le centre de données Coriolis et les projets Mater et Medar

Le premier projet a démarré en juillet 99, était opérationnel en octobre 99 (Version 0, campagne Pomme), et depuis janvier 2001, il envoie ses données sur une base hebdomadaire à Mercator puis quotidienne à Soap (modèle marine nationale). Il est l'une des 3 composantes de l'Océanographie Opérationnelle française et un acteur majeur du programme international Argo. Le projet est organisé dans un cadre multi-organismes : Météo-France, SHOM, IRD, INSU, CNES et Ifremer.

Les ingrédients du bon déroulement du projet:

Un cadre bien organisé: projet multi-organismes, coopération internationale...

Un travail préalable d'harmonisation: formats, procédures de contrôle qualité, interfaces

Une bonne coopération entre scientifiques et équipe projet,

une organisation de métiers et de moyens et un support important en infrastructures.

Ce sont les mêmes ingrédients qui ont permis le bon aboutissement des projets Mater (multidisciplinaire, 53 groupes de recherche de 13 pays dont 5 pour la gestion des données, avec SISMER comme coordinateur de la compilation) et Medar/Medatlas (20 pays concernés avec SISMER coordonnant le projet, l'Assurance Qualité des données et l'assemblage final).

3/ état de l'art établi à partir des solutions mises en œuvre au profit du défi Golfe de Gascogne

Collecter automatiquement les données « propres » via GSM, Argos, ou Irridium : les expériences Coriolis et Marel sont probantes et leurs outils seront mis en œuvre.

Contrôler, qualifier conformément à des indicateurs normalisés avec des logiciels conformes : c'est fait à SISMER, dans Coriolis, dans les bases de données Marel...

Interopérer avec les systèmes existants : les technologies Soap/XML ou Dods constituent des avancées. En préalable, il faut normaliser les données. Des efforts en ce sens sont faits : Groupe de travail XML Marine CIEM/COI, dictionnaires COI/IODE, taxonomie CIEM

Croiser les thématiques, agréger, synthétiser : il y a des expériences concluantes, la difficulté réside souvent dans des référentiels géographiques différents,
Alimenter opérationnellement les modèles, en format netCdf , via FTP ou autres : c'est maintenant fait en routine par Coriolis vers les modèles Mercator, Soap...
Diffuser les données et résultats à des fins de recherche ou de décision:
via des Web dynamique: c'est ce que fait Coriolis,
vers des SIG: le serveur Sextant de SISMER fournit ainsi des données de référence,
via une grille standard : le serveur d'image « LAS » (Cersat et Ifremer/DEL/EC/PP)
avec des outils associés de visualisation ((OceanDataView) : l'expérience des projets Mater et Medar est mise à profit par le défi.

9 - Le système d'océanographie opérationnelle MERCATOR

Herlé MERCIER - Président du GMMC – LPO - IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

10 – Eléments de prospective sur les outils de mesure in situ utilisables en océanographie opérationnelle côtière

Philippe MARCHAND, TMSI/OP, IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

L'océanographie opérationnelle du large (le GOOS hauturier) a réussi en 10 ans à mettre en place un système d'observation de l'océan et de modélisation pour répondre aux enjeux de la prévision climatique. En France, ce système s'articule autour du modèle de circulation océanique Mercator qui assimile les données in situ de Coriolis et altimétriques de Jason. Tous les organismes de recherche concernés par l'océanographie y contribuent. C'est ainsi que 300 profileurs Coriolis développés par Ifremer seront déployés dans le cadre du programme mondial Argo qui vise à observer l'océan global en temps réel avec 3000 profileurs d'ici 2006.

L'océanographie opérationnelle côtière est encore dans l'enfance puisque le document fondateur du GOOS côtier vient seulement d'être publié (IOC, 2003). Ce qui s'explique par une très grande complexité du milieu, une multiplicité des besoins et des paramètres à surveiller, souvent spécifiques d'une zone. Il n'y a donc pas de monitoring côtier organisé au plan européen, mais des actions séparées et disparates des différents états côtiers.

Le défi golfe de Gascogne d'Ifremer, à finalité halieutique, comporte une composante « observation in situ des paramètres de l'océanographie physique » qui va se mettre en place progressivement et qui pourrait comporter :

- Un réseau de 10 ou 20 profileurs Pagode, réalisant des profil TS journaliers, donnant ainsi une vision temps réel de la structure thermohaline du golfe. Ces profileurs récupérables sont dérivés des Provor océaniques ;
- Des capteurs autonomes TS installés sur les engins de pêche de navires volontaires ;
- L'exploitation d'une nouvelle ligne CPR (Continuous Plankton Recorder) Dublin-Nantes-Santander ;
- L'évaluation de la technique de reconnaissance des bancs de poissons par AUV ;
- L'évaluation de la technique de monitoring par Glider.

Un système d'observation aura des chances d'être pérenne si il est capable de répondre à une demande sociétale durable. Les techniques d'observation sont en pleine évolution et le défi golfe de Gascogne, tiré par l'halieutique, permettra donc d'évaluer des solutions intégrées, au bénéfice de la communauté scientifique.

11 - Expérience du SHOM en océanographie opérationnelle, nouvelles tendances.

Laurent KERLEGUER - SHOM/CMO – Toulouse.

Le SHOM est l'un des précurseurs dans le domaine de l'océanographie opérationnelle puisque notamment avec le LEGOS il était présent dès les premiers essais de démonstration des capacités de l'altimétrie spatiale au début des années 1980 (campagnes Athena en 1983). Il possède aujourd'hui une expérience unique au plan national en matière de mise en œuvre en mode opérationnel d'un système de prévision océanographique développé sous l'impulsion et essentiellement au profit des Forces Océaniques Stratégiques (composante essentielle de la dissuasion nationale). Le Système Opérationnel d'Analyse et de Prévision (SOAP) délivre chaque semaine depuis avril 1998 des bulletins d'analyse et de prévision jusqu'à 15 jours de la situation océanique en Atlantique Nord Est.

Outre le besoin permanent d'améliorer les performances du service de prévision dans son périmètre actuel, plusieurs évolutions récentes incitent à étendre les capacités du système SOAP. Tout d'abord si les missions de la Marine ("client" principal du SHOM) ne changent pas (dissuasion, action préventive et de projection, surveillance et sauvegarde maritime incluant la mission de service public) les contextes géopolitiques, et sociétal amènent à reconsidérer les priorités.

Le nouveau contexte géopolitique depuis la désormais lointaine guerre froide déplace (ou plutôt étend) le centre d'intérêt de la haute mer vers les espaces maritimes continentaux. Le plus souvent il s'agit désormais d'être capable de projeter sur des théâtres d'opération éloignés une force ou une puissance (un groupe aéro-naval complet par exemple); le soutien d'environnement, dont la prévision océanographique, doit alors être mis en place avec un court préavis sur des zones le plus souvent méconnues (c'est ce qu'en langage OTAN on appelle le Rapid Environment Assessment -REA-).

Dans un tout autre registre les missions de l'action de l'état en mer prennent une importance accrue en raison de la multiplication des opérations relevant de cette mission: recrudescence des actions terroristes (et par voie de conséquence nécessité de renforcer les actions de contrôle et de police des mers), catastrophes maritimes (Erika, Prestige pour ne parler que de la pollution par hydrocarbures). Comme de plus l'opinion publique tolère de moins en moins (et c'est bien naturel) notre incapacité à prévenir ces catastrophes ou l'efficacité trop faible de nos moyens de lutte dans ces domaines, la nécessité d'améliorer nos capacités de prévision océanique s'en trouve renforcée.

Ces nouvelles tendances étendent largement le volume et la nature du soutien attendu. L'extension en volume est la conséquence évidente de l'extension du besoin de couverture géographique qui n'est désormais plus limitée à nos approches maritimes mais concerne un ensemble bien plus vaste (Atlantique Méditerranée, Océan Indien Nord Ouest). L'évolution en nature est quant à elle la conséquence d'une plus grande variété de domaines de lutte à soutenir dès lors que l'on s'approche des espaces côtiers voire littoraux : lutte sous la mer par petits fonds, guerre des mines, opérations amphibie... Ces besoins induisent un très haut niveau d'exigences pour les systèmes de prévision océanique.

Pour construire ces systèmes le plan d'action du SHOM repose sur quelques axes forts:

1) tout d'abord consolider la prévision océanographique hauturière, c'est une nécessité pour le soutien des opérations qui s'y déroulent et aussi pour fournir les conditions aux limites pour les modèles de prévisions qui réaliseront l'extension côtière. Dans les faits cette consolidation passe par une extension de la couverture (vers la couverture globale) et une amélioration des performances (précision, échéance maximale de prévision, physique résolue...). Pour développer cet axe le SHOM a avec les 5 autres acteurs majeurs de l'océanographie au plan national créé le GIP MERCATOR à qui il assigne cette mission.

2) développer l'approche multi-modèles. Les expériences récentes de soutien au profit notamment du Groupe Aéro-Naval ont démontré la richesse d'une approche reposant sur la comparaison de prévisions multiples. Tout comme en météorologie l'approche multi-modèles fournit une base de comparaison qui permet de donner un indice de confiance aux prévisions voire d'améliorer les performances globales en composant avec l'ensemble de l'information disponible (par exemple fournir plutôt tel modèle dont les performances sont jugées supérieures pour l'océan superficiel et tel autre modèle pour la description d'ensemble de la colonne d'eau).

3) développer un démonstrateur de système de prévision côtier héritant de l'ensemble des études amont menées au SHOM (le plus souvent en coopération) depuis plus de 10 ans (études de processus comme la marée interne, étude sur les propriétés optiques de l'océan, études sur la modélisation, l'assimilation...). Ce démonstrateur prend évidemment en compte la satisfaction du maximum de besoins de la Défense (besoin très vaste comme on l'a vu) et ce faisant permettra d'assurer une mission sans doute plus vaste.

Il faut noter que l'organisation est aujourd'hui en place au SHOM pour développer le démonstrateur de système côtier, l'acquisition d'un ordinateur scientifique puissant qui sera installé au CMO à Toulouse dès le début 2004 va constituer un formidable accélérateur pour relever ce défi.

La construction de la composante observation des futurs systèmes de prévision côtiers est un autre défi indissociable. Autant l'altimétrie est apparue comme une panacée pour la prévision hauturière, autant la situation apparaît bien plus complexe et plus diverse dans le domaine côtier pour des questions évidentes d'échelle des phénomènes mais aussi pour des questions de vulnérabilité des systèmes d'observation in situ dans ces zones à fort trafic maritime.

Une démarche coordonnée de l'ensemble des acteurs est d'autant plus nécessaire pour le côtier que la hauteur des défis à relever est encore supérieure au défi de l'océanographie hauturière.

12 - Assimilation dans les modèles régionaux et côtiers

Pierre DE MEY (LEGOS, Pôle d'Océanographie Côtière, Toulouse)

Francis AUCLAIR (Laboratoire d'Aérodynamique, Pôle d'Océanographie Côtière, Toulouse)

L'assimilation de données en océanographie a essentiellement été développée dans le domaine hauturier. Or la dynamique côtière ainsi que sa modélisation diffèrent du hauturier. Le spectre d'énergie y est plus étendu qu'en océanographie hauturière (sauf peut-être à l'équateur): nous sommes en effet en présence de toute une gamme de processus en grande partie forcés et couplés entre eux, allant de l'évolution climatique au passage des ondes de Kelvin et à la génération et à la dissipation des ondes internes. Le système côtier est dynamiquement ouvert, en ce sens qu'il est contrôlé par des forçages externes (atmosphère, fleuves, circulation à grande échelle). La composante haute fréquence y est significative, due en particulier à la divergence du vent à la côte, aux écarts par rapport à la réponse dite « baromètre inverse », au forçage d'ondes internes par la marée, etc. La présence de gradients importants de bathymétrie (talus) induit la présence d'ondes piégées par la topographie, éventuellement sous forme de modes couplés (Rossby/plateau), et induit également la présence de circulations tridimensionnelles souvent forcées par l'atmosphère, en particulier dans les canyons. En outre, deux caractéristiques propres à l'assimilation rendent le problème plus ardu dans l'océan côtier:

1 - Contrairement à la circulation à l'échelle synoptique et à la mésoéchelle, les propriétés de *l'attracteur dynamique côtier* n'ont pas à notre connaissance fait l'objet d'études spécifiques. L'existence d'une variété lente n'est pas garantie. En conséquence, l'initialisation d'un modèle côtier, et sa réinitialisation après correction par un schéma d'assimilation séquentielle, sont encore des opérations assez mystérieuses. En outre, la

notion de climatologie côtière n'a peut-être pas de sens (tout au moins si l'on se limite à la *moyenne* climatologique).

2 - La structure spatio-temporelle des *erreurs* des modèles côtiers est généralement mal connue. Ceci est vrai à la fois des erreurs des modèles (« erreurs de prévision ») et des erreurs de représentativité (en gros, la différence entre un processus vu par le modèle et le même processus vu par les observations). Ceci n'est pas propre aux modèles côtiers. Cependant, les erreurs des modèles côtiers sont inhomogènes au moins dans la direction perpendiculaire à la côte, et des couplages existent entre les composantes des erreurs de prévision. En outre ces erreurs sont non-séparables verticalement et horizontalement (Echevin et al., 2000). Enfin, l'océan côtier étant un système ouvert, les statistiques d'erreur sont non stationnaires. Par contre, dans l'océan hauturier, des modélisations du sous-espace d'erreur (la fameuse "matrice **B**") utilisant des EOFs 3D (Testut et al., 2002) ou des EOFs 1D avec hypothèse de séparabilité horizontale/verticale (De Mey et Benkiran, 2002) ont été essayées avec un relatif succès, dans la mesure où l'approche en EOFs fournit une troncature aisée du problème, permet de mettre en évidence les structures covariantes des erreurs et de les relier à des processus physiques particuliers, et dans la mesure où les EOFs dominants (3D ou 1D) sont en pratique observables par l'altimétrie et la SST, et sont donc contrôlables. Dans l'océan côtier, du fait de l'absence de propriétés statistiques similaires, il semble peu probable que nous puissions parvenir à des recettes aussi simples pour modéliser, propager et réduire l'ordre des erreurs (p.ex. Dee, 1991; De Mey, 1997). En conséquence, ces « recettes » sont à réinventer en côtier.

L'existence de ces difficultés particulières demande des études spécifiques. Notre approche consiste à :

- Utiliser des méthodes d'ensemble (Monte-Carlo, filtres d'ensemble) pour explorer le sous-espace d'erreur du modèle (point 2 ci-dessus) (Echevin et al., 2000; Auclair et al., 2003);
- Considérer un unique problème d'estimation pour les conditions initiales, les conditions aux limites, et le champ intérieur d'un modèle côtier, et résoudre le problème d'inversion sous contrainte d'une ou plusieurs solution(s) à grande échelle, d'observations locales, et d'équations de balance. Une solution consiste à augmenter le vecteur d'information des tendances temporelles des variables modèles ou tout au moins d'une observation indirecte de ces tendances. L'opérateur d'information est, en parallèle, augmenté d'un certain nombre de contraintes dynamiques associées au calcul de ces tendances : équations du mode externe du modèle côtier permettant le contrôle des ondes externes de gravité (Auclair et al., 2000a), composante géostrophique permettant la minimisation des erreurs de troncature du gradient horizontal de pression (Auclair et al., 2000b) ou encore ajustement de la vorticité potentielle (Auclair et al., 2003). L'ensemble de ces contraintes doit enfin être ajouté au problème global d'assimilation, dans le cas idéal où assimilation et projection sont réalisées simultanément.

Ces études sont menées en Méditerranée occidentale (Golfe du Lion, plateau catalan) et dans le Golfe de Gascogne au sein des projets européens MFSTEP et MERSEA.

Références:

- Auclair F., S. Casitas and P. Marsaleix, 2000a: Application of an inverse method to coastal modeling. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 17, 1368-1391.
- Auclair F., P. Marsaleix and C. Estournel, 2000b: Sigma coordinate pressure gradient errors: evaluation and reduction by an inverse method. *J. Atmos. Ocean. Tech.*, 17, 1348-1367.
- Auclair, F., P. Marsaleix and P. De Mey, 2003: Space-time structure and dynamics of the forecast error in a coastal circulation model of the Gulf of Lyons. *Dyn. Atmos. Oceans*, 36, 309-346.
- De Mey, P., 1997: Data assimilation at the oceanic mesoscale : A review. *J. Meteorol. Soc. Japan*, 75, 415-427. In : Data assimilation in meteorology and oceanography : Theory and Practice, Ghil *et al.*, Eds, Universal Academy Press, Tokyo, 496pp.
- De Mey, P., et M. Benkiran, 2002 : A multivariate reduced-order optimal interpolation method and its application to the Mediterranean basin-scale circulation. In : *Ocean Forecasting, Conceptual basis and applications*, N. Pinardi and J.D. Woods, Eds., Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York, 472pp.
- Echevin, V., P. De Mey, et G. Evensen, 2000 : Horizontal and vertical structure of the representer functions for sea surface measurements in a coastal circulation model. *J. Phys. Oceanogr.*, 30, 2627–2635.
- Testut C.-E., Brasseur P., Brankart J.-M., and Verron J., 2002 : Assimilation of sea-surface temperature and altimetric observations during 1992-1993 into an eddy-permitting primitive equation model of the North Atlantic Ocean, *J. Mar. Syst.*, submitted.

13 - Vers un système opérationnel d'analyse et prévision pour l'océan côtier, le Programme d'Etudes Amonts MOUTON

Yves MOREL, SHOM/CMO - 13 rue du Chatellier, 29609 BREST Cedex

Le système opérationnel d'analyse et prévision (SOAP) en service actuellement au SHOM est essentiellement orienté vers la seule lutte anti sous-marine (répartition des masses d'eau pour la détection acoustique par grands fonds). L'évolution des besoins de la Marine vers des opérations diversifiées et dans des zones côtières, amène à se poser la question de l'extension du système actuel vers des nouvelles régions et de nouveaux processus. Un Programme d'Etudes Amonts (PEA) a été mis en place qui vise à étudier la faisabilité d'un tel système : le PEA MOUTON (MODélisation d'Un Théâtre d'Opérations Navales).

Sur le plan technique, un système d'analyse et de prévision de l'état de l'océan se compose de trois sous-ensembles fonctionnels :

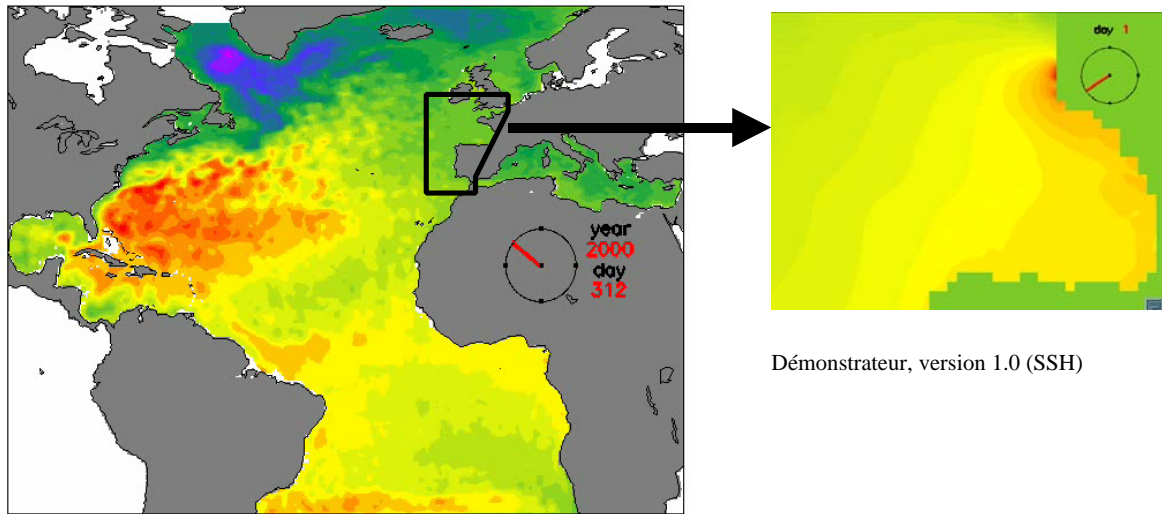
- un modèle numérique d'évolution de l'océan ;
- un système d'assimilation, permettant d'intégrer des observations au modèle ;
- un système d'interprétation et d'exploitation des résultats, basé sur la validation du système (modèle + assimilation).

Chaque sous-ensemble possède des limitations pour une telle extension :

- franchissement du talus, prise en compte de la marée, couches limites, etc...
- pour les modèles; manque d'observation temps réel en domaine côtier, extension des techniques d'assimilation de données, etc...
- pour l'assimilation ; manque de données et d'analyse en domaine côtier, etc ... pour valider les modèles.

Le PEA MOUTON vise à proposer des pistes pour lever ces limitations et à les tester. Il doit aboutir à la mise en place d'un démonstrateur sur une région limitée de l'océan (Golfe de Cadix, Ouest Portugal, Golfe de Gascogne et Manche, voir figure ; Nord Ouest Indien) forcé par un modèle de bassin. Des campagnes spécifiques de validation de ce démonstrateur sont prévues. Les études s'appuient sur les compétences de laboratoires et industriels français et de quelques

laboratoires étrangers (essentiellement dans un cadre coopératif). Son échéance est prévue pour fin 2006.



Modèle de bassin (SSH)

Démonstrateur, version 1.0 (SSH)

14 - Hydrodynamique et transport particulaire dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie

Pascal DOUILLET - Centre IRD Nouméa, B.P. A5, 98848 Noumea Cedex, Nouvelle-Calédonie.

Un des thèmes développés dans le chantier Nouvelle-Calédonie du PNEC concerne la dynamique particulaire. L'objectif est de connaître et quantifier les flux particulaires induits par différents forçages, dans le but de les simuler et d'évaluer l'impact d'activités anthropiques et de modifications climatiques sur les milieux (rejets industriels et domestiques, usages et aménagements, variation du niveau de la mer). Cette connaissance est utile stricto sensu (détermination des zones de dépôt et d'érosion, morphodynamique) et est essentielle pour les études biogéochimiques ou biologiques, pour améliorer la connaissance des cycles élémentaires et des flux de polluants adsorbés ou dissous (e.g. métaux), et pour en évaluer les conséquences (e.g. impact de la turbidité sur la production primaire; qualité des eaux en milieux coralliens ; détermination de la distribution des habitats). Sur le plan méthodologique, notre démarche s'appuie sur la mise en œuvre en synergie de plusieurs outils (mesures, télédétection, modèles) au service de notre objet d'étude.

En modélisation, nous disposons déjà d'un modèle hydrodynamique 3D (marée, vent, courants) validé sur le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie. Nous poursuivons actuellement la calibration et la validation des modèles de transport de particules cohésives (vases) et non cohésives (sables). Nous validons également un modèle de génération et de propagation des vagues de vent (code WAVEWATCH III de la NOAA) que nous avons implanté. Nos projets à court/moyen terme concernent l'intégration d'un modèle de turbulence de type k-l ou k-ε au modèle hydrodynamique (actuellement modèle de longueur de mélange), la modification du champ de contraintes de fond induite par les vagues, la représentation éventuelle du charriage, de la floculation, la prise en compte de sédiments mixtes (interactions sable-vase, masquage) sur le fond, et la mise en œuvre d'un modèle atmosphérique. Le produit attendu de ce modèle est un champ de vent réaliste à 10 m d'altitude qui sera utilisé par le modèle hydrodynamique et par le modèle de vagues.

Pour soutenir l'activité de modélisation, nous mettons en œuvre des instruments de mesure en distinguant les campagnes de calibration des campagnes de validation. Nous disposons des instruments suivants : sonde CTD multi-paramètres, profileur Döppler de courant, turbidimètres, station météo, houlomètre et spectroradiomètres. Une station benthique multi-instruments (courantomètre Sontek, capteur de pression ultra sensible, turbidimètres) et un granulomètre laser in situ viendront compléter le parc instrumental fin 2003-début 2004. Cependant, on ne peut multiplier les instruments au mouillage, pour raison budgétaire, et les campagnes de mesure depuis un navire fournissent une distribution de variables ni réellement synoptique ni réellement instantanée, ce qui rend parfois difficile l'interprétation des données.

La télédétection spatiale visible est donc utilisée comme une source complémentaire d'informations. Elle donne accès à des champs instantanés de concentration en Matières En Suspension sur une couche de quelques mètres d'épaisseur sous la surface, et ce en l'absence de nuages. Sur la base de plusieurs séries de mesures, nous avons développé des algorithmes bio-optiques propres au lagon calédonien. Une première application a montré que la turbidité restituée à partir de données Landsat était correcte en moyenne à 17% près sur le lagon.

Afin de calibrer les modèles de transport, les mesures de terrain sont employées plutôt pour déterminer des coefficients intervenant dans la distribution verticale des variables (e.g. diffusion turbulente, concentration) à un nombre réduit de stations, tandis que les mesures spatiales synoptiques sont utilisées pour déterminer indirectement les variations horizontales de certains de ces coefficients (e.g. érodabilité, cisaillement critique).

Articles téléchargeables sur le site : http://www.ird.nc/CAMELIA/Sylvain_Ouillon.html

15 - Circulation des masses d'eau dans la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire)

Isabelle BRENON (1), N. POUVREAU (1), S. MONDE (2), J.-C. MAURIN (1)

(1) Centre Littoral De Géophysique, Université de La Rochelle, avenue Crépeau 17042 La Rochelle Cedex, France. (2) Département de Sciences de la Terre, Université de Cocody, 22 BP 582, Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

Les lagunes constituent des systèmes originaux et fragiles tant d'un point de vue hydrodynamique que sédimentaire. Elles sont le lieu privilégié de conflits d'usage entre activités portuaires, industrielles, aquacoles et urbaines, ce qui n'est pas sans conséquence sur l'équilibre des écosystèmes. Etirée le long du littoral, la lagune Ebrié (Côte d'Ivoire) est l'une des plus grandes lagunes d'Afrique de l'Ouest (566 km²). Sa communication naturelle avec l'océan par le fleuve Comoé s'est obstruée depuis l'ouverture anthropique du canal de Vridi en 1951, qui est devenu le nouveau lieu d'échange océan/lagune, ce qui n'est pas sans conséquence sur la circulation des masses d'eau.

Le modèle bidimensionnel horizontal aux éléments finis de calcul de propagation de la marée TELEMAC (Laboratoire National d'Hydraulique et d'Environnement – Electricité de France) a été utilisé pour évaluer l'impact des forçages hydrodynamiques tels que la marée et le débit fluvial sur la circulation des masses d'eau. Une marée réelle est imposée à la limite océanique sous la forme d'une composition harmonique, tandis que différents scénarios ont été introduits pour le débit fluvial (crue en saison des pluies et étiage en saison sèche). Les résultats du modèle ont été validés par des mesures en continu de longue durée (7 mois) de la hauteur d'eau.

Une asymétrie importante de la circulation des masses d'eau est visible dans la lagune : très faibles courants dans la partie Ouest en toute saison, largement liée à la marée en partie centrale et liée au débit fluvial dans la partie Est, exutoire du principal fleuve de la région. La simulation de la dispersion d'un traceur passif, lâché dans le port d'Abidjan, zone de forte activité pétrochimique, montre que l'évolution des concentrations varie principalement en fonction de

l'apport en eau fluviale. En saison sèche, la dispersion est rapide dans toute la zone estuarienne avec des concentrations qui restent fortes tandis qu'en saison des pluies, les forts apports fluviaux bloquent la propagation du traceur et favorisent l'évacuation des polluants vers la mer (figure). Ce résultat permettrait d'expliquer pourquoi, suite aux dernières années de fortes sécheresses, la qualité des eaux de la lagune s'est largement dégradée.

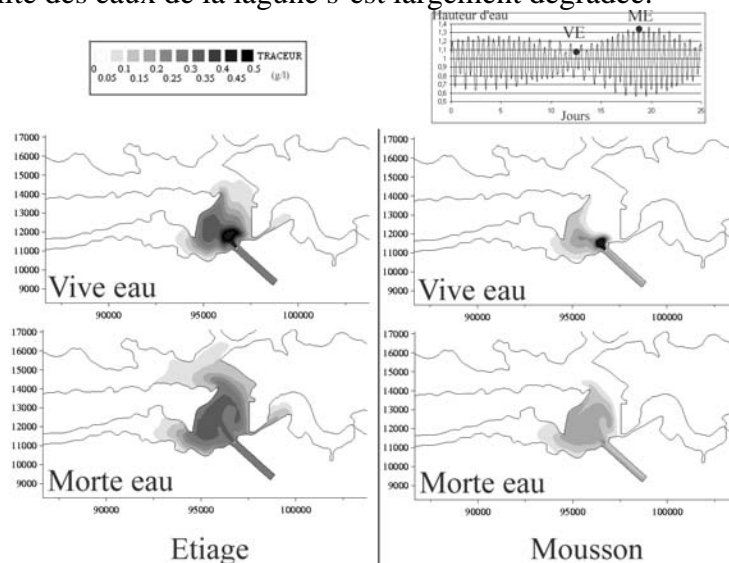


figure : évolution saisonnière d'un traceur dans la partie estuarienne de la lagune Ebré

16 – Modélisation de la dispersion larvaire dans une baie en Méditerranée

Katell GUIZIEN, J-C. DUCHENE, B. KOH, Laboratoire d'Océanographie Biologique de Banyuls.

L. ZUDAIRE, Observatoire Océanologique de Banyuls. P. MARSALEIX, Laboratoire d'Aérodologie - Toulouse. X. DURRIEU de MADRON, CEFREM - Perpignan.

Au cours de leur cycle de vie, de nombreuses espèces marines présentent un stade larvaire planctonique susceptible d'être affecté par les courants marins. En particulier, la faune benthique, qui à l'âge adulte est sédentaire, est composée d'espèces dont une grande proportion émettent des larves dans la colonne d'eau. Compte tenu de leur petite taille et de leur capacité de nage restreinte, ces larves sont en général fortement dépendantes de la circulation marine. Ainsi, la variabilité, forte en Méditerranée, de la circulation introduit dans le cycle de vie de ces espèces une source d'instabilité qui peut interférer avec l'utilisation, dans les études d'impact, de cette faune comme indicatrice de la qualité du milieu. Ainsi, la simulation numérique apparaît comme un outil intéressant pour évaluer la variabilité d'abondance et de diversité de la faune benthique liée à la dispersion larvaire. La simulation numérique de la dispersion de larves de la faune benthique repose (1) sur une modélisation validée de la circulation côtière à petite échelle spatiale (emprise des populations d'adultes limitée à 500m x 500 m) et temporelle (durée de vie des larves d'environ 2 mois) et (2) sur une bonne connaissance du cycle de vie de chaque espèce (durée de vie des larves et de la période de reproduction, flottabilité, capacité de nage).

En première approche, on s'intéresse à la dispersion des larves d'*Owenia fusiformis* en baie de Banyuls. La circulation côtière en baie de Banyuls est principalement soumise à deux forçages, (1) la circulation dans le Golfe du Lion qui se traduit par deux types de circulation à l'extérieur de la baie (nord-sud et sud-nord) et (2) le vent local avec une très forte variabilité spatio-temporelle. L'importance de ces deux forçages est confirmée par la simulation numérique de la circulation dans la baie, menée avec le code SYMPHONIE (LAT) sur un domaine de 10 kms x

15 kms (maille de 100 m, 16 niveaux sigma) en utilisant deux procédures différentes. Le code est initialisé par une fonction de courant permettant de reproduire les profils de vitesse mesurés aux frontières du domaine et les conditions aux limites déduites de cette initialisation sont maintenues pour toute la simulation. Cette approche donne de bons résultats face aux mesures ADP tant que la circulation extérieure ne s'inverse pas. La simulation sur des domaines imbriqués en cascade d'échelle (mailles de 3 kms, 1 km, 300 m et 100 m) sur une période de 6 semaines a permis de reproduire les inversions de la circulation extérieure, mais elle a aussi montré que pour reproduire la circulation de la baie, il est tout aussi important de prendre en compte le vent local.

La dispersion des larves d'*Owenia fusiformis* a été simulée en émettant des traceurs passifs lagrangiens à différentes profondeurs dans la zone très restreinte des adultes reproducteurs. En effet, des suivis par actographie du déplacement des larves révèlent leur incapacité à nager. La durée du stade larvaire est de 22 à 23 jours. Des simulations de dispersion sur 5 jours pour une circulation Nord-Sud avec et sans vent semblent en accord avec les observations des aires de retour au fond des jeunes recrues. Ces simulations montrent également une part d'auto-recrutement et d'apport extérieur, alors que le scénario de mars 2001 ne prévoit qu'une possibilité d'auto-recrutement, ce qui pourrait expliquer la forte diminution d'abondance de la population d'adultes en 2002 (33/m² en 2001 et 3/m² en 2002). Ce travail sera poursuivi en simulant les scénarii des années 1998 à 2000 et en les comparant au suivi *in situ* réalisé par B. Koh (2002) pour *Owenia fusiformis*. La sensibilité à la prise en compte de la diffusion verticale sera testée. D'autres espèces seront également envisagées.

17 – Validation de modèles hydrodynamiques de dispersion en mer macrotidale à l'aide de radiotraceurs solubles

Pascal BAILLY du BOIS, Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire, Département de Protection de l'Environnement, Laboratoire d'Etudes Radioécologiques de la Façade Atlantique, rue Max Pol Fouchet, B.P. 10, 50130 Cherbourg-Octeville – France.

Franck DUMAS, IFREMER/DEL Applications Opérationnelles, Centre de Brest, Z.I. de la pointe du Diable, B.P. 70, 29280 Plouzané.

Pour être validés, les modèles hydrodynamiques de dispersion nécessitent des données de terrain ayant une étendue et une précision comparable. Les mesures de radiotraceurs rejetés par les usines de retraitement de combustibles nucléaires constituent des opportunités exceptionnelles pour réaliser de telles validations. C'est le cas en particulier des rejets liquides de l'usine de La Hague : ils sont parfaitement connus, rejet par rejet depuis 1982 ; certains radionucléides ont un comportement conservatif dans l'eau de mer ; ils constituent la principale origine de ces traceurs à l'échelle de la Manche et de la Mer du Nord ; une importante base de données de mesures de terrain est disponible.

Le modèle de courants résiduels de marée TRANSMER calcule la dispersion dans l'eau de mer en exploitant des données de courants résiduels de marée pré-calculés par un modèle hydrodynamique de courants instantanés 2D. Les résultats sont exploitables une semaine après un rejet et au-delà de 20 kilomètres de ce point de rejet avec un pas d'espace de un kilomètre. La durée des simulations peut atteindre plusieurs dizaines d'années (une heure de calcul par année de simulation avec un ordinateur de bureau). TRANSMER permet de reconstituer ou prévoir la dispersion de rejets chroniques de radionucléides en milieu marin à partir de termes sources, de vents et de marées réels en calculant les concentrations dans l'eau de mer, les espèces vivantes et les sédiments. Son emprise s'étend de l'île de Noirmoutier dans le Golfe de Gascogne jusqu'au

Danemark en Mer du Nord. TRANSMER a fait l'objet d'un important effort de validation qualitative et quantitative à l'aide de 1469 mesures de concentrations de radionucléides solubles acquises en Manche et Mer du Nord entre 1988 à 1994. Après validation, le coefficient de corrélation entre les concentrations mesurées et simulées est de 0,88 et l'écart moyen entre les quantités de radionucléides calculées et mesurées est inférieur à 1%. Le principal paramètre d'ajustement du modèle est le mode de calcul de la force de frottement du vent sur la mer.

Le programme DISPRO a débuté en 2002, il est destiné à valider les paramètres de dispersion de modèles hydrodynamiques dans le champ proche d'un émissaire de rejet (de 100 m à 30 km). Ce programme s'appuie sur un modèle de courants instantanés 2D de maille 100m, associé à des mesures acquises à haute fréquence dans le panache d'un émissaire de rejet. Plus de 7000 échantillons d'eau de mer ont été collectés en 2002 et 2003 pour la mesure du tritium. Ces mesures sont complétées par des mesures courantologiques, bathymétriques et de suivis de flotteurs.

Les premiers résultats confirment la représentativité du modèle hydrodynamique, les principaux écarts provenant des imprécisions bathymétriques qui nécessitent une importante mise à jour. Les données acquises constituent une base unique pour affiner les paramètres de dispersion de modèles pour des conditions réelles de rejet, de marée et de vent, dans une zone où la dynamique des courants est particulièrement active (le raz Blanchard au large du Cap de La Hague).

Une fois validé, le modèle développé sera étendu à l'ensemble des côtes françaises soumises à un régime macrotidal. L'objectif ultime est de disposer d'un modèle ayant une incertitude connue pour la simulation de la dispersion de substances solubles naturelles ou d'origine anthropique, pour des conditions réalistes de rejets chroniques ou accidentels.

Mots clés : Modélisation marine, radiotraceur, validation, Manche, Mer du Nord.

18 - Modélisation et Télédétection au large du Rhône

Philippe FRAUNIE et Philippe FORGET,

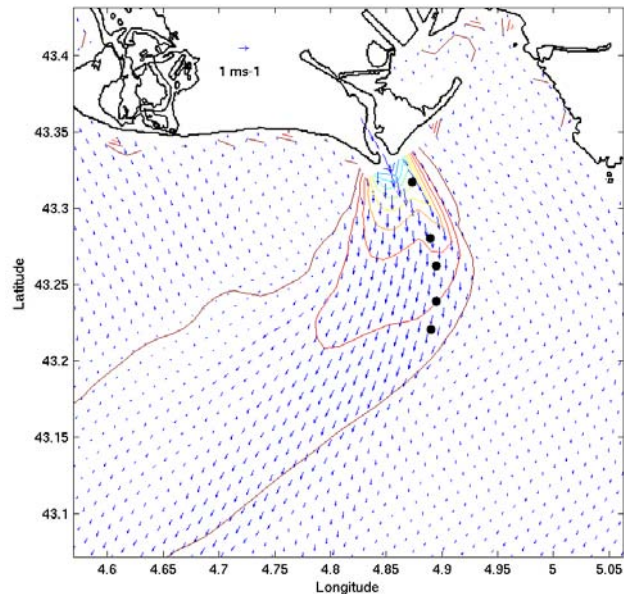
Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre - LSEET - UMR 6017, Université de Toulon et du Var.

La problématique physique abordée ces dix dernières années au LSEET dans l'étude des panaches du Rhône (PNEC, PATOM, MEDDELT) et de l'Ebre (FANS) concernent la circulation complexe de plateau résultant de l'interaction des upwellings côtiers, des courants de densité et de la circulation de bassin (courant Liguro-Provençal – Catalan) sous l'effet du forçage atmosphérique dominant en milieu microtidal.

Les contributions majeures ont porté sur l'étude de processus fins à l'échelle du rayon interne de Rossby concernant les panaches fluviaux et les circulations secondaires induites.

Les outils développés sont d'ordre numériques, expérimentaux et satellitaires. Des schémas de capture de fronts (de type TVD) et des modèles de turbulence adaptés à une forte stratification (nombre de Richardson supercritique) ont été développés et implémentés dans les codes OCKE3D (LSEET) puis une version emboîtée de SYMPHONIE (LSEET-LA) pour des études de cas (crues, mistral, vent Sud Est). Une campagne de mesures de courants de surface par radars VHF (1994), de profils de courant et CTD de la couche verticale panacheuse et des inversions d'images SPOT permettant d'identifier les matières en suspension d'origine panacheuse des resuspensions ont contribué aux bases de données nationales (PNEC) et européennes (MEDDELT, FANS), permettant l'analyse de la circulation côtière, l'estimation des flux de masse et de matière de la côte vers le large et la validation des modèles.

Les perspectives concernent l'étude de la variabilité interannuelle de la circulation dans le Golfe du Lion (LSEET-LEGI), le déploiement de radars HF (portée 80 kms) et l'imagerie MERIS.



Panache du Rhône par Mistral (image SPOT et sortie SYMPHONIE emboîté, G. Reffray)

19 - Hydrodynamique côtière : de la modélisation à l'application

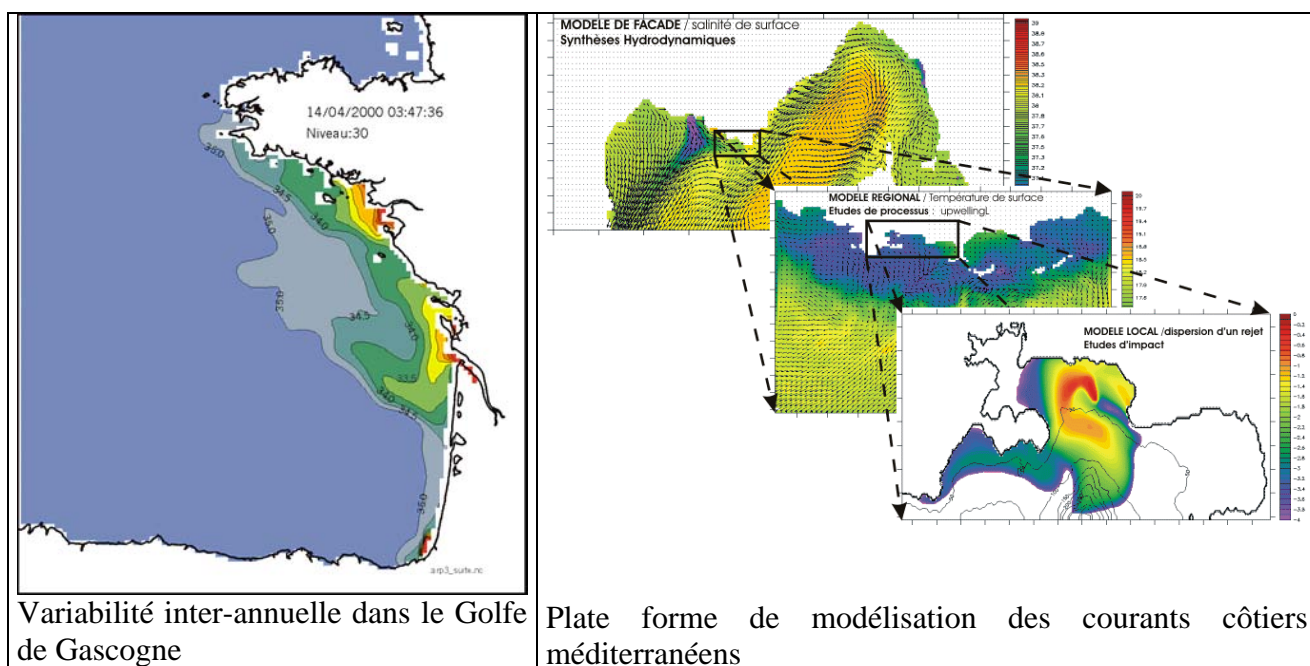
Pierre GARREAU - DEL/AO – IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

Les codes hydrodynamiques existent avec leurs qualités et défauts. Ils fournissent dans les cas de simulations réalistes une quantité importante de résultats. Au-delà de l'étude de processus ou de la reproduction instantanée du film des événements hydrodynamiques sur une zone, il faut se poser la question de l'usage de ces modèles. A l'Ifremer nous développons des modèles pour résoudre des échelles de temps de quelques heures (la marée) à l'année (variabilité inter-annuelle) et des échelles d'espace qui vont de la façade maritime (Manche, Golfe de Gascogne, Mer Ligure et golfe du Lion) à la baie. Dans ce cadre les applications ont été nombreuses.

Parmi celles-ci :

- Variabilité inter-annuelle dans le Golfe de Gascogne en relation avec le déterminisme du recrutement pélagique.
- Détermination des conditions hydrodynamiques favorables aux efflorescences algales en Baie de Vilaine.
- Réponse opérationnelle au naufrage du Ievoli Sun : simulation du transport et de la dispersion de la nappe de styrène.
- Construction d'indice hydrodynamique (sensibilité à l'eutrophisation, Directive Cadre dur l'Eau etc.).
- Suivi de pollutions dissoutes et de masses d'eau (age de l'eau).

- Construction d'une plate-forme de modélisation des courants côtiers méditerranéens.



20 - Une approche de la dynamique de l'écosystème du Benguela par la modélisation

Claude ROY¹ et l'équipe IDYLE -BEP5-GEODES² <http://sea.uct.ac.za/idyle/>

1-Centre IRD de Bretagne, BP 70, 29280 Plouzané, France.

2-IRD, M&CM et University of Cape Town, Cape Town, South Africa.

L'Unité de Recherche IDYLE de l'IRD, unité à laquelle collaborent le *Marine & Coastal Management* (M&CM) et l'*Université de Cape Town* (UCT), se consacre à l'étude des interactions et dynamiques spatiales des ressources renouvelables dans les écosystèmes d'upwelling. A l'objectif scientifique qui est de mener des recherches sur la représentation et compréhension de la dynamique des écosystèmes d'upwelling par une approche multidisciplinaire, se rajoute un objectif méthodologique qui est de développer et d'implanter une suite d'outils et de produits génériques (modèles hydrodynamiques, NPZD, SIG, indices écosystémiques, ...). Au cours des quatre dernières années, les travaux se sont concentrés sur les facteurs biologiques et environnementaux affectant la dynamique d'une espèce cible : la population d'anchois du sud du Benguela. Les principaux thèmes qui ont été abordés sont : la ponte et les stratégies de reproduction, l'influence de la circulation sur le transport et la dispersion des premiers stades larvaires, les interactions avec les autres espèces, les échanges entre le plateau et le domaine océanique. Le projet a privilégié une approche basée sur la modélisation. Quatre familles de modèles sont actuellement implémentées :

- un modèle hydrodynamique régional basé sur le code ROMS (résolution variable de 9km à 16km, frontières ouvertes forcées par un modèle grande échelle, flux de surface climatologiques (COADS) et réalistes (vent ERS1/2) est utilisé pour les études sur les processus de transport, les interactions upwelling-topographie et l'impact des forçages.

- des modules de biogéochimie, couplés au modèle hydrodynamique, sont utilisés pour représenter la dynamique des premiers maillons de la production dans le système du Benguela sud. Un module simple NPZD a récemment été complété par un module $N_2P_2Z_2D_2$. Un prototype de modèle IBM particulière de production de proies à trois compartiments est en cours de développement.
- un modèle de vie artificielle (IBM, *Individual Based Model*) a été développé pour l'étude du forçage environnemental sur les premiers stades pélagiques des œufs et larves. Ce modèle réalise une simulation du transport lagrangien de particules, il est alimenté par les simulations du modèle hydrodynamique et, dans le futur, par les modules de biogéochimie.
- deux modèles trophiques multispécifiques. Le premier, *OSMOSE*, est un modèle dynamique individu-centré basé sur les tailles des poissons et développé par l'IRD pour aborder la spatialisation dynamique des interactions trophiques. Le second est un modèle à compartiment trophique qui existe en version statique (*ECOPATH*) ou dynamique (*ECOPATH with ECOSYM*).

L'élaboration et l'exploitation de cette plate-forme de modélisation a été précédée d'une réflexion approfondie pour déterminer un certain nombre de choix initiaux (types de processus, extension et résolution spatio-temporelle) et sélectionner des thèmes scientifiques (dynamique spatiale, reproduction, dynamique méso-échelle). Cette démarche a permis de fixer sur la durée du projet le cadre des recherches de chacune des disciplines et celui des interactions multidisciplinaires.

21 - Quelle informatique pour l'océanographie côtière opérationnelle ?

Pierre COTTY – TMSI/IDM/RIC - IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

Depuis de nombreuses années, IFREMER a pu acquérir de l'expérience dans ce secteur, tant au niveau de l'acquisition et la diffusion de données, l'organisation de « réseaux » opérationnels et la modélisation, y compris à usage de laboratoires côtiers sous forme de simulation. Sans présumer du contenu fonctionnel d'un système opérationnel pour l'océanographie côtière, il apparaît qu'un certain nombre de caractéristiques lui sont attachées et vont manifestement influencer sur l'infrastructure informatique à mettre en place.

Tout d'abord, la demande sociétale et souvent, les financeurs de l'océanographie côtière, sont géographiquement dispersés. Il en résulte que l'infrastructure informatique doit techniquement être organisée en réseau, avec des systèmes-relais installés près des utilisateurs, capables d'intégrer des informations ou des données locales ou régionales. Une réponse technique à ce besoin pourrait être l'établissement d'un Réseau Privé Virtuel pour l'océanographie côtière opérationnelle, ce qui garantirait malgré les distances, l'homogénéité technique de l'infrastructure.

Les données nécessaires au fonctionnement du système opérationnel d'océanographie côtière sont de natures, d'origines et de niveaux de qualité très divers. De plus, une part d'entre elles sont soumises à un certain niveau de confidentialité comme des données géographiques achetées à l'IGN, ou celles, relatives à l'environnement, pouvant nuire à l'image de telle ou telle ville ou région. Moyennant la mise en place d'un annuaire en réseau incluant tous les acteurs du système, il serait possible de bien contrôler l'usage de toutes ces données et permettre la compilation de données sans accès direct au fichier (génération de cartes à partir de données IGN, prise en compte de données confidentielles dans les modèles et les simulations). Cet annuaire permettrait

de sortir de la dualité « données à accès public / données à accès interdit » qui prévaut souvent pour des raisons de facilité.

Le profil technique des utilisateurs de l'océanographie côtière est aussi très varié. Aux deux extrêmes, on trouve d'une part le scientifique d'un laboratoire de recherche, compétent en informatique et voulant accéder aux ressources de l'infrastructure avec un vaste degré de fonctionnalité et d'autonomie. A l'inverse, les utilisateurs des administrations locales ou régionales veulent plutôt que le système réponde à des questions précises qu'ils se posent, et ce, en s'investissant au minimum dans la technique. Pour cette population (au moins), il faut définir des interfaces techniques au standard WEB pour la consultation ou les simulations, et s'affranchir ainsi au mieux de la dépendance technique par rapport au poste de travail de l'utilisateur.

Enfin, il apparaît clairement que l'océanographie côtière opérationnelle se présentera à ses utilisateurs comme un service informatique en ligne. Il faut donc gérer l'infrastructure informatique avec une norme qualité reconnue internationalement comme ITIL (Information Technology Infrastructure Library). ITIL décrit tous les processus nécessaires à la fourniture de services informatiques en ligne :

- relation avec les utilisateurs (catalogue écrit des services, hot-line, indicateurs de disponibilité et de performances,...)
- relation avec les décideurs (modification du catalogue des services, adéquation des ressources avec le catalogue, ...).

22 - Couplage de modèles océaniques : aspects mathématiques et numériques

Eric BLAYO, Laboratoire de modélisation et de Calcul - IMAG – Grenoble.

L. DEBREU, LMC - INRIA Rhône-Alpes - Grenoble. B. BARNIER – LEGI - Grenoble.

Lors du couplage de deux modèles océaniques (que nous appellerons modèle « local » et modèle « extérieur »), les équations de chacun des modèles sur sa zone propre sont en général parfaitement connues. Par contre, les conditions de raccord à l'interface (artificielle) sont souvent plus délicates à choisir, et peuvent mener à des solutions assez différentes suivant les choix qui sont faits.

Un premier cas classique est le problème de frontière ouverte, pour lequel on ne dispose que du modèle local et de données extérieures au niveau de la frontière ouverte. Une profusion de conditions aux limites ont été proposées dans la littérature depuis 30 ans. Les conditions basées sur l'utilisation des variables caractéristiques du système, et incluant de façon mathématiquement consistante les données extérieures, sont a priori de bons choix. Il est à noter que, même si l'on dispose de données extérieures à haute résolution spatiale et temporelle (issues par exemple d'un modèle comme Mercator), il vaut mieux proscrire des conditions de frontière spécifiée et rester dans le cadre des conditions de frontières ouvertes précédentes. Si par contre le modèle extérieur est disponible « on-line », il est alors préférable de réaliser un couplage « two-way » entre les deux modèles. Ceci réduit considérablement tous les problèmes liés à la conservation ou à d'autres contraintes physiques que l'on peut rencontrer dans une interaction « one-way ».

Le package informatique AGRIF développé par L. Debreu (accessible à <http://www-lmc.imag.fr/IDOPT/AGRIF/>) s'inscrit dans ce cadre. Il permet à partir d'un modèle existant de

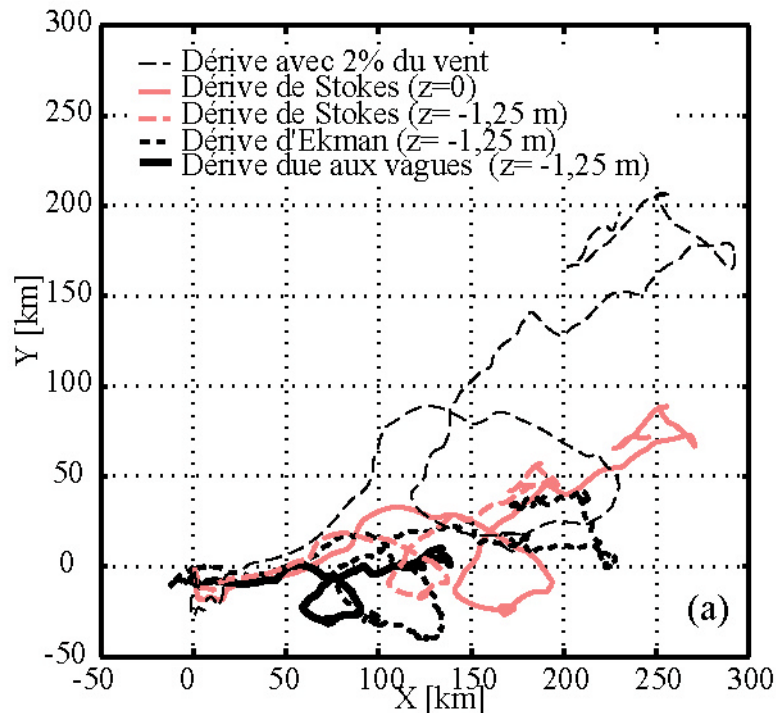
réaliser avec beaucoup de souplesse des successions de zooms locaux de résolutions croissantes, qui peuvent être gérés de façon « one-way » ou « two-way ».

Une hypothèse forte de toutes ces méthodes toutefois est que l'on considère que le modèle extérieur « recouvre » le modèle local. On résout en effet les équations du modèle extérieur partout, même si l'on ne conserve que sa restriction au niveau de l'interface pour forcer le modèle local. On considère donc implicitement que les deux systèmes d'équations (local et extérieur) sont simultanément valides sur le domaine local, ce qui est évidemment faux. Une approche plus correcte mathématiquement consiste à résoudre les deux systèmes chacun sur son domaine propre, et à chercher à imposer un raccord régulier (par exemple continu, voire continu et dérivable) entre les deux solutions. Ceci peut être réalisé au travers de méthodes itératives, appelées méthodes de Schwarz. Etant donné leur coût, un travail d'optimisation sur les conditions d'interface intervenant dans ces méthodes doit être réalisé, afin d'assurer une convergence rapide des algorithmes. Un exercice d'inter-comparaison en contexte réaliste des différentes méthodes qui viennent d'être citées est en cours actuellement, dans le cadre du projet COMODO au LMC et au LEGI.

23 - Couplages ocean-atmosphère à travers les vagues : théorie, modélisation avec application à la dérive en surface, observation, et transition vers l'opérationnel

Fabrice ARDHUIN - SHOM/CMO/RED, 13 rue du Chatellier, 29609 BREST Cedex

Les vagues sont une composante importante de l'interface océan-atmosphère, dominant souvent le signal d'élévation de surface et de vitesse. Elles sont aussi "l'embrayage" entre le moteur atmosphérique et la machine océan, ainsi que la source principale de la dynamique littorale, via le déferlement. En zone côtière, il est assez bien connu que la tension de vent en surface dépend fortement de l'état de la mer (Donelan et Drennan, JPO 1997), et que les vagues sont la source principale d'énergie cinétique turbulente en surface avec une incidence sur le mélange, soit directement, soit par l'intermédiaire des circulations de Langmuir. Enfin, et cela est un peu moins connu, les vagues sont aussi associées à un flux de quantité de mouvement et de masse, dont les divergences perturbent la circulation océanique. Un formalisme général permettant de représenter l'ensemble des processus de couplage vagues-circulation est en cours d'établissement, réconciliant les équations de Craik-Leibovich et des approches faisant appel aux tensions de radiation de Longuet-Higgins et Stewart. Ces interactions permettent en particulier de considérer la vitesse de dérive près de la surface, paramètre souvent négligé mais qui fait un retour en grâce avec l'arrivée des données de vitesses de surface mesurées par radar haute-fréquence ou traitement de données radar à ouverture synthétique (méthode du Doppler centroïde pour ENVISAT ou interférométrie pour le futur TerraSAR X). Cette vitesse est aussi la vitesse de dérive de boulettes de fioul après fragmentation d'une nappe de pétrole. L'illustration ci-jointe montre comment les vagues contribuent environ 30 % de la dérive en surface dans le Golfe de Gascogne pendant 2 mois de l'hiver 2002-2003 avec une direction légèrement à droite de la direction du vent. Cet effet net des vagues est une combinaison de la dérive de Stokes et du courant forcé par un terme croisé "Coriolis-Stokes" (Huang, JFM 1979) qui compense le transport de Stokes moyen mais avec un profil beaucoup plus uniforme, de telle sorte que la dérive induite par les vagues en surface est assez proche de la dérive de Stokes. Ce calcul, effectué en combinant une prévision spectrale des vagues à 200 km au large de la Bretagne (modèle Wavewatch III de la NOAA/NCEP) avec un modèle de couche de mélange (Florence 1D), préfigure des travaux en cours pour le couplage réaliste des modèles de vagues aux modèles de circulation.



L'état de la mer est généralement très bien prévu par les modèles spectraux actuels, au moins à l'échelle des bassins océaniques. Il est important pour de nombreuses applications: dérive, mise en suspension de sédiments, efforts sur des structures, dynamique littorale. Un couplage vagues-circulation peut améliorer grandement la représentation de nombreux phénomènes dans les couches de surface et de fond. Dans beaucoup de cas pratiques les méthodes de couplage sont encore à inventer.

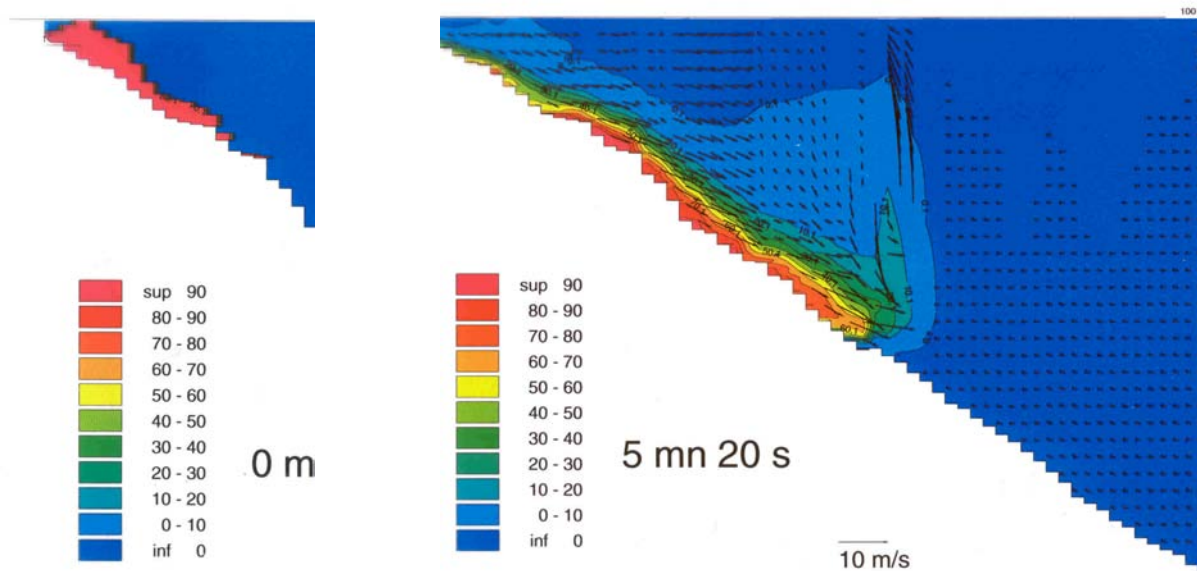
24 - Hydrodynamique et transport sédimentaire : besoins spécifiques, vrais couplages et forçages

Pierre LE HIR avec la collaboration de P. BASSOULLET, F. CAYOCCA, H. JESTIN et R. SILVA JACINTO. DEL/EC/TP – IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

Les paramètres hydrodynamiques nécessaires à la modélisation des transports sédimentaires sont d'abord rappelés: les hauteurs d'eau, qui dépendent de la marée, du vent et du déferlement des vagues (surcotes), les courants, également induits par ces mêmes forçages, mais aussi les gradients de densité, et les vagues, essentiellement liées au vent, soit au large (elles deviennent alors le forçage houle) soit localement. Le transport et le remaniement du sédiment qui en résultent sont généralement exprimés en fonction du courant U , des contraintes de cisaillement et des gradients de pression près du fond, et des intensités de turbulence. Le modèle de circulation requis est a priori 3D, car même si les forçages sont barotropes, les gradients verticaux de concentrations sont élevés du fait de la chute des particules.

L'accent est mis sur les fortes non-linéarités des transports sédimentaires (en U^5 pour le charriage, en U^2 pour les remises en suspension, avec effets de seuil), qui nécessitent une grande précision sur les vitesses, et donc une résolution spatiale qui en respecte les gradients : un critère reliant le pas d'espace au rapport entre hauteur d'eau et pente du fond est proposé, et l'intérêt d'un maillage qui suit les isobathes est mis en relief. D'autre part la sensibilité à la contrainte de cisaillement sur le fond pose le problème de la détermination de les rugosités du fond, et celui de la méconnaissance des contraintes en zone très peu profonde (sur estran par exemple). Enfin il est rappelé que la turbulence dans la colonne d'eau influence la floculation et est donc

déterminante pour la chute des particules et les flux de dépôt. S'agissant des vagues, les non-linéarités de leurs interactions avec le courant sont rappelées : elles concernent la réfraction des vagues, et la quantification du frottement sur le fond, ce dernier thème demeurant un sujet de recherche dans le cas de fonds ridés.



Exemple de couplage dynamique sédimentaire / hydrodynamique : vue en coupe d'un glissement sous-marin simulé par le modèle SiAM-3D (Ifremer) :

Une liste des couplages "vrais" (*i.e.* avec influences réciproques) entre la dynamique des sédiments et l'hydrodynamique est dressée et illustrée par des exemples: effet des "sheet flows" et des rides sur le cisaillement, amortissement des vagues induit par le comportement visco-élastique des vases (voire leur liquéfaction), amortissement des turbulences par les stratifications, forçage hydrodynamique par des gradients de densité (glissements sous-marins), et naturellement les couplages morphodynamiques.

Pour terminer, l'étendue des échelles de temps qui concerne les processus sédimentaires est rappelée (de la minute pour la chute des particules à quelques décennies pour la morphodynamique), ainsi que la très forte sensibilité aux forçages : pour les prédictions à des échelles de temps significatives, se pose donc la difficulté de définir des scénarios de forçage (chronologies de vents, vagues, débits fluviaux et marées) qui soient "représentatifs".

25 - Utilisation des simulations hydrodynamiques en halieutique. Exemples sur le plateau continental du Golfe de Gascogne

Benjamin PLANQUE - Laboratoire d'écologie halieutique. Ifremer - Nantes.

Au cours de son existence un poisson passe par plusieurs phases de développement. De l'œuf (~1mm, quelques jours, transporté passivement) à la larve (quelques cm, quelques semaines, capacité de nage faibles) puis au juvénile et enfin à l'adulte (quelques dizaines de cm, quelques années, capacité de migrations). Les mécanismes qui régulent une population de poisson existent pour chaque phase du cycle de vie. L'influence de l'hydrodynamisme sur la population peut donc s'étendre sur des échelles spatiales et temporelles très variées.

Les possibilités de couplage entre les modèles hydrodynamiques et la dynamique des populations de poissons sont présentées à partir de trois exemples concrets : l'habitat côtier des

juvéniles de soles, l'habitat des petits poissons pélagiques sur le plateau continental du golfe de Gascogne, et le couplage du transport et de l'histoire de vie de l'anchois au niveau individuel.

Ces exemples révèlent les besoins actuels de l'halieutique pour des modèles hydrodynamiques adaptés. Dans le golfe de Gascogne les besoins en modélisation s'étendent de la bande côtière aux accores, à l'échelle kilométrique, avec des forçages réalistes des champs de vent, débits fluviaux, insolation, et conditions aux limites. L'analyse rétrospective, fréquemment utilisée en halieutique, requière que ces simulations s'étendent sur plusieurs années, voir plusieurs décennies. Une demande existe également pour le développement d'indicateurs, plus particulièrement sur : structure verticale et turbulence, structures de rétention/concentration – export, évolution temporelle des structures (mise en place de la stratification), relations entre les modes climatiques et les modes hydrologiques. La calibration des modèles nécessite également d'être basée sur les variables et les indicateurs hydrologiques pertinents pendant les périodes clés pour la biologie.

Enfin, l'utilisation opérationnelle des modèles nécessite le développement ou la mise à disposition d'outils de visualisation/extraction de données (SIG, freeware, formats standards), de sorties de modèles 'clés en mains' (halieutique opérationnelle), ainsi qu'une collaboration - interaction permanente entre les modélisateurs hydrodynamiciens et les halieutes.

26 - Modélisation de la circulation hydrodynamique induite par la houle

Rodrigo PEDREROS - BRGM – Orléans.

27 - Couplages entre modèles biologiques et hydrodynamiques en zone côtière à l'Ifremer/Del : contraintes spatio-temporelles et besoins

Philippe CUGIER, A. MENESGUEN - DEL/EC – IFREMER - Département d'Ecologie Côtière - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

Afin de répondre notamment aux questions relatives à la perturbation des milieux côtiers (eutrophisation, efflorescences d'espèces phytoplanctoniques toxiques, prolifération d'espèces invasives, devenir des polluants anthropogéniques, ...) différents modèles couplant processus biologiques et physiques ont été développés à l'Ifremer. L'emprise des modèles va de la façade (Manche, Golfe de Gascogne, Méditerranée occidentale) à la baie (baie de Seine, baie de Douarnenez, Rade de Brest) et l'estuaire (Penzé, Vilaine). Les modèles de façade, en plus de permettre d'étudier des processus à cette échelle (devenir des apports des grands fleuves par exemple), fournissent les conditions limites physiques et biologiques des modèles de plus petite emprise. Ceux ci sont, par ailleurs, souvent à vocation très appliquée afin de répondre à des questions concrètes généralement liées à l'impact d'apports terrigènes locaux. L'illustration de ce type de modèle est donnée par l'exemple du modèle écologique 3D de la rade de Brest (ELISE/SiAM), initialement conçu pour répondre à la question de l'origine de la marée verte à ulve de la plage du Moulin Blanc située au débouché de l'estuaire de l'Elorn (Figure 1).

Les échelles de temps abordées par les questions en zone côtière vont de l'année (production primaire) à la dizaine d'années (dynamique de population d'une espèce) voire à la centaine d'années (par exemple, établissement d'une population sauvage ou invasive à grande échelle). Les modèles écologiques se doivent donc d'atteindre ces durées pour un coût (en terme de temps calcul) raisonnable. Pour cela différentes techniques visent à optimiser le coût tout en rendant compte le plus fidèlement possible du phénomène étudié. Parmi celles ci, on peut citer la réduction du nombre de points de calcul du maillage par l'utilisation de mailles variables (modèle SiAM de l'Ifremer) ou de zooms locaux (modèle MARS de l'Ifremer) dans les modèles

de circulation instantanée ; l'utilisation de champs de circulation résiduelle associés à un découpage géographique en grands compartiments (logiciel ELISE de l'Ifremer) ; l'optimisation et la parallélisation des codes de calcul.

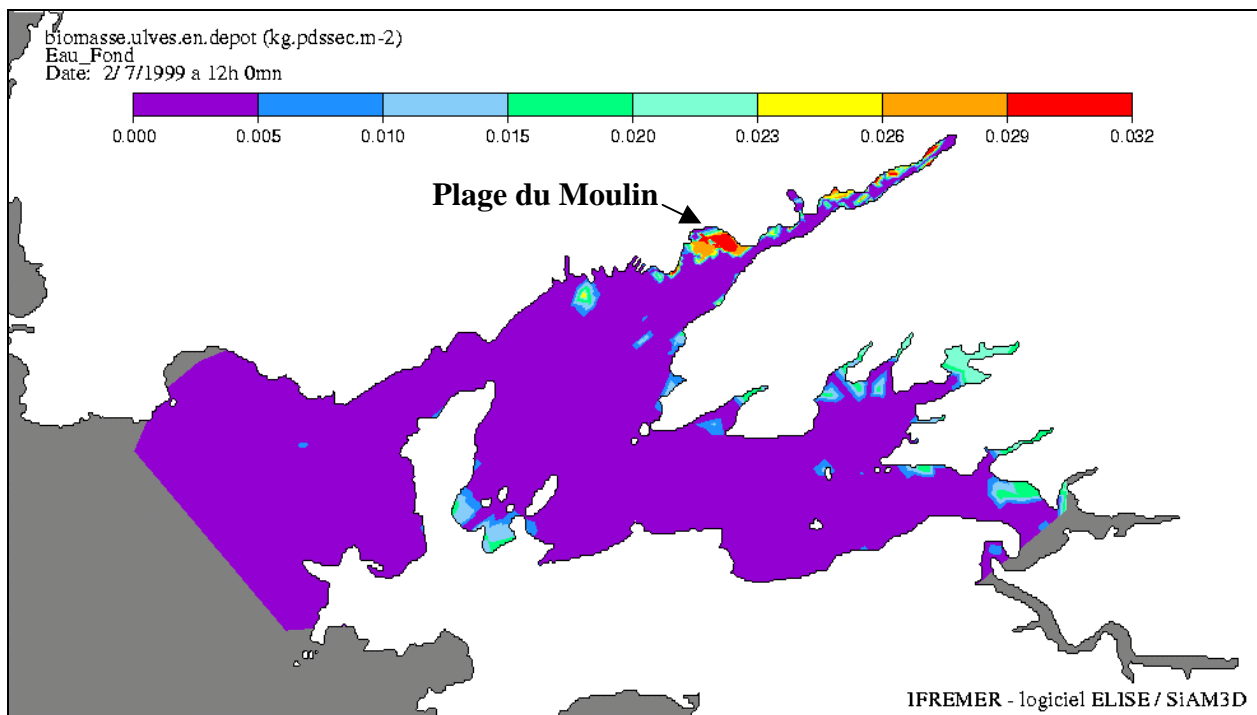


Figure 1 : Biomasse des Ulves déposées simulée en Rade de Brest.

Enfin, il est crucial de recenser les besoins de la modélisation écologique vis à vis des modèles hydrodynamiques. Les facteurs physiques (les plus) importants sont dans l'ordre : une simulation correcte du transport et du mélange, une bonne simulation de la turbidité (notamment pour la production primaire) et donc des matières en suspension (le couplage avec un module sédimentaire et un bon forçage par la houle s'avèrent donc souvent indispensables), une bonne reproduction de la température de l'eau (intervenant dans la plupart des processus biologiques) et une prise en compte des bancs découvrants, nombreux en domaine côtier (simulation du dépôt d'algues vertes en haut d'estrans par exemple).

28 - Etude des processus hydrodynamiques et hydro-sédimentaires sur la plate-forme interne de la Manche orientale

Georges CHAPALAIN - UMR-CNRS 8110 «Processus et Bilans en Domaines Sédimentaires», Université des Sciences et Technologies de Lille, Bâtiment SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq.

L'exposé traite des processus hydrodynamiques et hydro-sédimentaires contrôlant la dynamique sédimentaire sur la plate-forme continentale interne de la Manche orientale caractérisée par un régime macrotidal. La méthode d'investigation associe la modélisation numérique et l'observation. Préfigurant une modélisation tri-dimensionnelle, on évoque une modélisation hybride couplant une modélisation bi-dimensionnelle horizontale de circulation régionale et une modélisation uni-dimensionnelle verticale à travers la colonne d'eau incorporant différents modèles de fermeture de la turbulence.

Le volet expérimental consiste à mettre en œuvre plusieurs techniques complémentaires :

- SAMBA (Station d'Acquisition de Mesures Benthique Autonome) qui scrute la cote de la surface libre à l'aide d'un capteur de pression et la structure verticale de courant et de

concentration de sédiment en suspension (CSS) à l'aide d'une série de courantomètres et de néphélomètres disposée à proximité du fond ($z < 1,5$ m) et d'un profileur acoustique de courant à effet Doppler (ADCP) ;

- bouteille NISKIN pour un échantillonnage classique de la CSS en pleine eau ;
- ECMUL (EChantillonneur MULTiple) qui réalise des mesures directes de CSS à 4 niveaux au voisinage du fond ;
- STRASS (Station TRAppes à Sédiment en Suspension) qui effectue la mesure directe des flux sédimentaires directionnels à 3 niveaux à proximité du fond.

Quelques résultats obtenus en deux points de mesure situés au Sud de Boulogne-sur-Mer sont présentés et discutés.

29 - Contrôle des conditions de frontière ouverte par assimilation de données pour une version côtière du code OPA-VAR: Application au Golfe du Lion.

Jean-Luc DEVENON, V. TAILLANDIER, V. ECHEVIN, L. MORTIER - COM – Marseille.

Une méthode d'assimilation de données basée sur le modèle adjoint d'OPA a été développée pour estimer les conditions initiales et aux limites latérales d'un bassin côtier largement ouvert à sa frontière sud. La méthode mise en œuvre est de type 4D-VAR incrémentale (Weaver et al., 2003); elle utilise une boucle interne de minimisation mettant en jeu le linéaire tangent et son adjoint tandis qu'une boucle externe réactualise l'écart aux observations à travers le modèle non linéaire complet lorsque l'optimum de la boucle linéaire interne est atteint. Les adaptations ont été faites pour pouvoir traiter les conditions aux limites comme des contrôles du système, aussi bien pour le mode barotrope (Taillandier et al., 2003) que pour le mode barocline.

Des cas tests sur la base d'expériences jumelles ont été menés, et l'évaluation de l'impact informatif de diverses distributions de données reflétant diverses stratégies de mesure (telles celles mises en œuvre lors de campagnes océanographiques récentes sur le site: Sarhygol, sarhim, fwi) au regard de l'identification d'une perturbation simulant une intrusion d'un courant de bord sur le plateau a été évalué. D'autre part, les résultats ont été analysés physiquement pour le cas barocline en connexion directe avec une approche analytique antérieure (Echevin et al, 2003.) reliant les intrusions sur une telle zone peu profonde aux déclenchement et à la propagation d'ondes de Kelvin double le long d'une côte à l'encontre d'un golfe rectangulaire de plus faible profondeur à droite de sa direction de propagation.

Les expériences menées à cette occasion, confrontées aux attentes théoriques connues pour ce cas analytique en géométrie simplifiée, ont montré l'aptitude de la méthode à identifier la distribution de vorticités potentielle amont favorable à l'existence de l'intrusion associée à l'onde de Kelvin double, prouvant ainsi les capacités d'aide au diagnostic de processus physique de cet outil numérique dans la perspective de mise en œuvre pour des géométries plus complexes.

Références:

Echevin V. , Mortier L. and M. Crépon (2003): Interaction of a coastal current with a shelf topography; Application to the Gulf of Lions Shelf . *J. Phys. Oceanogr.*, 33, 188-206.

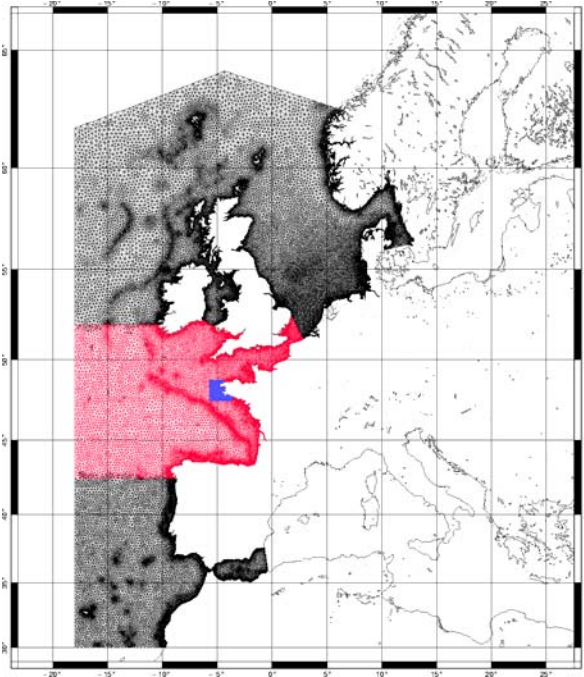
Weaver A.T. , Vialard J. and Anderson D.L.T. (2003): 3- and 4- dimensional variational assimilation with general circulation model of the Tropical Pacific Ocean: Part I: formulation, internal diagnostic, and consistency checks. *Monthly Weather Review*, 131, 1360-1378.

Taillandier V., Mortier L. Echevin V; and J-L. Devenon (2003): Controlling boundary conditions with a 4D variational data assimilation method in a non stratified open coastal model. *Ocean Dynamics*, in press.

30 - Observation et modélisation des hautes fréquences océaniques

Florent LYARD, T. LETELLIER, L. ROBMLOU - Pôle d'Océanographie Côtière, LEGOS – LA. 14 avenue Edouard Belin, 31400, Toulouse.

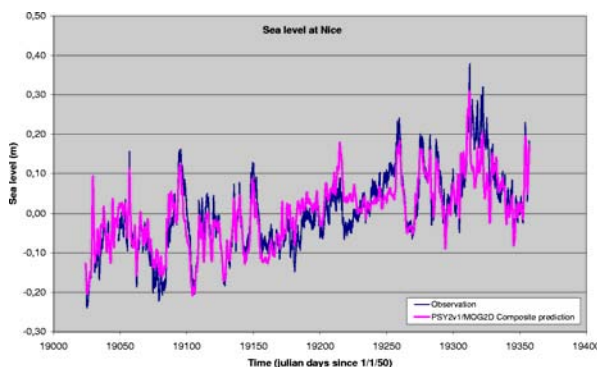
La dynamique océanique liée au forçage de la marée, de la pression atmosphérique et du vent constitue une composante importante de la physique de l'océan côtier. En outre elle interagit fortement avec la circulation thermohaline, notamment par le renforcement du mélange des eaux côtières et la rectification des courants. L'étude de cette dynamique, essentiellement haute fréquence, est abordée au sein du POC via les observations in situ, essentiellement marégraphiques et altimétriques, et par le biais de la modélisation numérique. Cette modélisation est basée sur des modèles aux éléments finis (modèle shallow water Mog2D - figure ci dessous) et aux volumes finis (modèle PE Mog3D).



Ces modèles ont l'avantage, essentiel en zone côtière et au marges des plateaux continentaux, de permettre d'adapter la résolution horizontale et verticale de la maille aux échelles des processus modélisés et au niveau de détail recherché localement, tout en autorisant une emprise large du modèle. Une procédure de sub-cycling permet également de résoudre localement les équations de la dynamique avec un pas de temps approprié. Cette résolution spatio-temporelle variable est une alternative nouvelle aux techniques de nesting généralement utilisées pour cascader des échelles hauturières vers les échelles côtières.

Ces modèles sont mis en œuvre à l'heure actuelle à des échelles allant du global au côtier, voir au littoral. Leur principales implantations régionales actuelles sont le nord-est Atlantique et la Mer Méditerranée.

Un spectre de marée complet en élévation et courants (incluant les ondes non-linéaires – Figure ci contre) ainsi que 10 ans de simulations forcées par le vent et le pression atmosphériques ont été réalisées et validées sur ces zones.



Les applications majeures de ces simulations sont le dé-aliasing des données altimétriques, critique en zone côtière, et le forçage aux limites du modèle de circulation Symphonie.

Elles permettent également, en les additionnant aux élévations de surface déduites de Mercator, de prédire le niveau de la Mer avec précision. La thématique des hautes fréquences océaniques s'oriente maintenant au sein du POC vers l'étude des ondes de topographie et des ondes internes et de leur interaction avec la circulation côtière, grâce notamment au modèle Mog3D, et la continuation du développement d'une méthode d'assimilation hybride (EnKF) pour le modèle Mog2D afin d'améliorer la précision des simulations de ce modèle.

31 - Une Approche Intégrée de la Modélisation Régionale Côtière

Patrick MARCHESIELLO - IRD/IDYLE (UR097) - Centre IRD de Bretagne, BP 70, 29280 Plouzané.

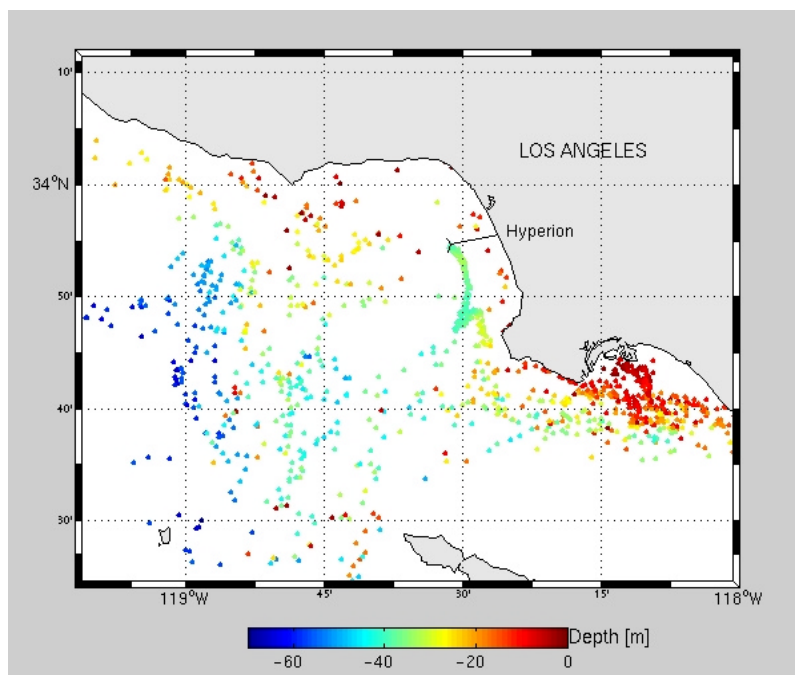
Les modèles côtiers ont acquis robustesse et fiabilité dans les années 1980 en retenant quelques traits essentiels: équations primitives incompressibles et hydrostatiques, surface libre, coordonnée verticale épousant le fond marin (σ), modèles de couches limites, propriétés conservatives de la discrétisation, time splitting pour les modes baroclines et barotropes (Blumberg et Mellor, 1987). A présent, les limitations de la modélisation régionale sont d'avantage liées à la résolution spatiale avec le besoin d'une approche intégrée des différentes échelles océaniques, des zones côtières et hauturières, ainsi que des applications dans le domaine de la qualité de l'eau, biogéochimie, écosystème marin et dynamique sédimentaire.

Le Regional Ocean Modeling System (ROMS, Shchepetkin et McWilliams, 2003a) est une évolution dans cette direction. Le code est adapté aux nouvelles architectures d'ordinateurs parallèles (mémoire partagée ou distribuée), et permet l'étude de problèmes plus massifs. Le développement des schémas numériques est orienté vers le respect des propriétés de conservation et consistance, la limitation de la dispersion numérique pour augmenter la résolution effective du modèle (Shchepetkin et McWilliams, 1998; Shchepetkin et McWilliams, 2003a) et un traitement plus précis du gradient de pression (Shchepetkin et McWilliams, 2003b). En outre, ROMS dispose d'une paramétrisation réaliste des couches de mélange de surface (KPP, Large et al., 1994) ainsi que de celle du fond forcée notamment par la marée et la houle issue des solutions de modèles (Egbert et al., 1994, pour la marée; Guza & O'Reilly, 1994, pour la houle). Le downscaling des processus de grande échelle vers les échelles régionales et locales est réalisé par la procédure AGRIF de raffinement de maillage développé par Blayo et Debreu (1999) et implémenté dans ROMS de manière consistante avec les conditions de frontières ouvertes déjà existantes (Marchesiello et al., 2001).

La modélisation de l'écosystème marin dans les régions d'upwelling qui constitue le domaine d'application initial du modèle peut être abordée par deux approches différentes et complémentaires:

- (1) un modèle déterministe des cycles biogéochimiques et de l'écosystème planctonique pélagique pour la distribution en espace et en temps des niveaux trophiques sur lesquels les poissons vont dépendre pour la nourriture (Stolzenbach et al., 2003);
- (2) un modèle IBM (Individual Based Model) des oeufs, larves et jeunes poissons bas. sur le déploiement en ligne de flotteurs Lagrangiens dans les champs physiques et biologiques du modèle "couplé" hydrodynamique et écosystème pélagique.

Le modèle Lagrangien (Capet & McWilliams, 2003) est également utilisé pour étudier des problèmes de qualité de l'eau, notamment le devenir des panaches d'eaux usés rejetés en zone côtière (FIGURE), avec des résultats qui semblent contredire les modèles plus simple de diffusion statistique utilisés couramment en bureau d'étude. Pour finir, un modèle de sédiment est également appliqué (Blaas et al., 2003) avec des paramétrisations simples mais robustes des processus de re-suspension et déposition.



Simulation dans ROMS de flotteurs Lagrangiens (position et profondeur en couleur) relâchés en sortie d'Hyperion, la station de traitement des eaux usées de Los Angeles, pendant le mois d'Avril 2002. Le modèle comprend 4 grilles emboîtées allant des échelles régionales à la baie ou la résolution est de 500m. Cette approche permet de mettre en évidence l'importance des différentes échelles de circulation dans la rétention de la pollution domestique à Los Angeles.

32 - Système de modélisation de la façade à la baie

Franck DUMAS - DEL/AO - IFREMER - Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané.

La direction de l'environnement et de l'aménagement littoral (DEL) développe depuis une vingtaine d'année un système de modélisation de la circulation océanique côtière. Cette activité fortement contrainte par les moyens de calcul à disposition s'est d'abord concentrée sur les zones à forte marée où l'hypothèse de Saint Venant est une bonne approximation de l'écoulement. Salomon et al (1993) se sont intéressés en particulier au transport à long terme dans la Manche qui a été bien appréhendé et validé. Puis, avec l'amélioration des puissances de calcul, l'activité s'est ré-orientée dans deux directions. En premier, la modélisation tridimensionnelle des façades maritimes atlantique et méditerranéenne a été développée avec les mêmes objectifs de compréhension de la circulation des masses d'eau à long terme. Puis, la DEL a consenti un gros effort pour équiper les stations côtières de l'IFREMER de modèles à très haute résolution (<100m) pour des problématiques locales. La couverture du linéaire français est maintenant significative et représentée figure 1.

Ces développements ont été capitalisés dans un code numérique MARS (version 2D et 3D), et un ensemble de pré-processeurs et post-processeurs. Cette chaîne de modélisation continue d'être améliorée (parallélisation et raffinement de maillage de type Berger et Olinger implanté avec AGRIF).

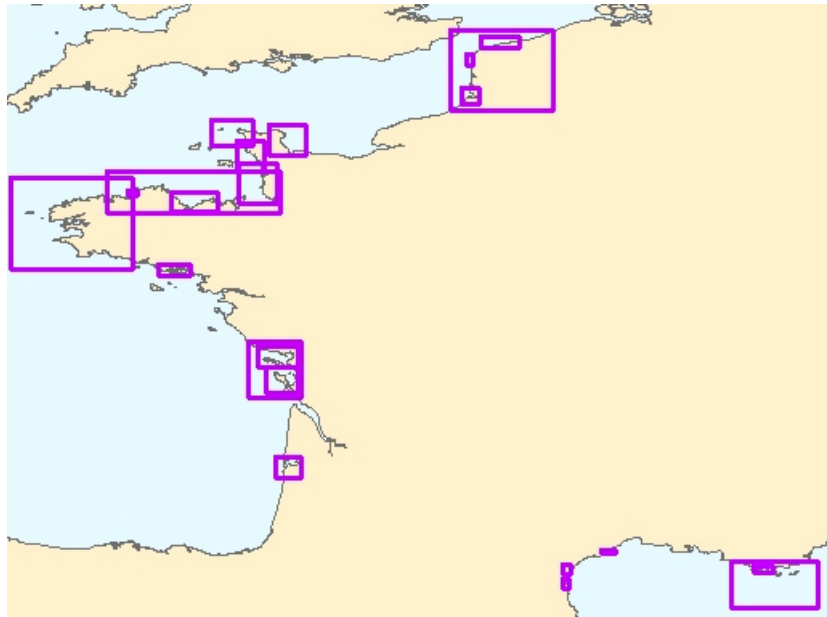


Figure n°1 couverture spatiale des modèles haute résolution implantés dans les stations côtières de l'Ifremer.

Ref: An atlas of long-term currents. J.C. Salomon & M. Breton *Oceanologica Acta*, 1993,16,5-6, pp439-448

33 - Modélisation de la circulation et des ondes de gravité dans le Golfe de Gascogne.

Claude ESTOURNEL et Patrick MARSALEIX, Laboratoire d'Aérodologie. 14 avenue Edouard Belin. 31400 Toulouse.

Le Pôle d'Océanographie Côtière (POC) de l'Observatoire Midi-Pyrénées mène différentes études sur le Golfe de Gascogne. Les thèmes développés sont principalement la modélisation bi-dimensionnelle barotrope haute fréquence de l'océan (marée, réponse au forçage atmosphérique), la modélisation tridimensionnelle (ondes internes, circulation du plateau, courant de pente) et enfin l'assimilation de données dans ces modèles (basée sur les méthodes des expériences d'ensembles). L'objet de la présentation du séminaire de Brest porte plus particulièrement sur la modélisation réaliste dans le Golfe de Gascogne, c'est à dire sur des simulations 3D réalisées avec une bathymétrie précise, les forçages par les fleuves, les courants de marée calculés par MOG2D, le forçage atmosphérique (fourni par le modèle météorologique ALADIN de METEOFRACTANCE) et des conditions d'initialisation et de forçage aux limites ouvertes fournies par la circulation thermohaline calculée par MERCATOR. L'accent est mis d'une part sur les capacités du modèle Symphonie à reproduire correctement la marée (intercomparaison Symphonie/MOG2D et confrontation à des marégraphes) et d'autre part sur l'initialisation de Symphonie avec des sorties du modèle MERCATOR. Sur ce second point, on montre qu'une initialisation simple du modèle conduit la simulation à traverser une phase d'ajustement transitoire longue de plusieurs jours. Cette durée est comparable aux échéances actuelles de la prévision côtière opérationnelle (5 jours pour le projet MFSTEP). Le POC a développé des méthodes d'initialisation qui permettent de réduire significativement le spin-up du modèle côtier. Des exemples d'ajustement dynamique de l'état initial du modèle côtier à la bathymétrie complexe des canyons qui échancrent la pente continentale au Sud du Golfe de Gascogne sont présentés et discutés en terme de spin-up.

POSTERS

Les posters qui nous ont été envoyés après le séminaire sont présentés

Modélisation de la circulation dans le Pacifique Sud Est: impact sur la circulation des coordonnées verticales z (OPA) et sigma (ROMS)



Vincent Echevin¹, Pierrick Penven²

1 – IRD-LODYC

(Laboratoire d'Océanographie Dynamique et Climatologie, Paris)

email: echevin@lodyc.jussieu.fr

2 – IRD/LPO (Laboratoire de Physique des Océans, Brest)

Résumé

La circulation océanique dans le Pacifique sud est est modélisée à l'aide de deux modèles de circulation différents, OPA et ROMS, afin d'étudier la sensibilité de la circulation climatologique à la représentation de la topographie du fond. Le modèle OPA, d'une résolution de 1/3°, doté de coordonnées "z", et le modèle ROMS, doté de coordonnées "sigma", sont initialisés et forcés aux frontières par la climatologie d'un modèle de plus grande emprise. De part la présence d'une pente du talus continental très forte, et d'un plateau étroit, le système de coordonnées "z" représente de façon plus réaliste la topographie du fond. Par ailleurs, le système de coordonnées "sigma" nécessite le lissage de la topographie, et l'élargissement artificiel des plateaux et talus. En revanche, il permet de représenter correctement l'influence de la pente sur la structure du sous-courant côtier qui s'écoule vers les pôles. La circulation de surface, sa variabilité spatio-temporelle, et celle du sous courant sont étudiées et comparées avec les observations disponibles. Les deux modèles reproduisent les grandes caractéristiques de la circulation de surface et du sous courant côtier, mais le contre courant est absent. Malgré une topographie de fond moins réaliste, le modèle ROMS montre un bon accord avec l'altimétrie et les mesures courantométriques.

Introduction

Le Pacifique Sud Est est une région océanique peu modélisée et observée, et néanmoins d'une grande importance socio-économique pour les pays qui l'entourent. Le Chili et le Pérou bordent une grande région d'upwelling de bord est, la plus poissonneuse du globe, malgré une production primaire de même ordre que celle des autres grandes régions d'upwelling. Par ailleurs, une zone de minimum d'oxygène très intense se trouve en bordure des côtes, transportée par le sous courant, et au large. Ses interactions avec les écosystèmes régionaux demeurent mal connues et elles constituent le point focal des programmes Franco-Sud Américain SHOC (Système de Humboldt: Circulation et minimum d'Oxygène) et « Système de Humboldt » (ATI IRD et partenaires). L'objectif de la modélisation dynamique est, dans un première étape, de représenter de manière réaliste la circulation océanique afin d'étudier son impact sur les cycles biogéochimiques et de leurs relations avec la zone de minimum d'oxygène (ZMO), dans le but ultime de mieux comprendre l'impact sur les ressources halieutiques.

Caractéristiques des modèles OPA et ROMS

Modèle OPA

- résolution spatiale: $dx=1/3^\circ$, $dy=1/3^\circ \cdot \cos(27^\circ)$
- coordonnées z, 37 niveaux
- schéma d'advection: centré, mélange vertical: TKE
- diffusion horizontale bilaplacienne: $Kh=1.4 \cdot 10^{11}$ (identique au modèle CLIPPER 1/3°)
- Frontières ouvertes: T,S spécifiés, U,V spécifiés et « upstream » dans le cas d'un « inflow »

Modèle ROMS

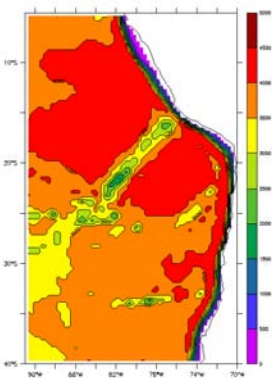
- résolution spatiale: $dx=1/3^\circ$, $dy=1/3^\circ \cdot \cos(\theta)$
- coordonnées sigma, 20 niveaux
- schéma d'advection: upstream 3ème ordre, mélange vertical: KPP
- diffusion horizontale: implicite
- Frontières ouvertes: conditions de radiation et relaxation vers T,S,U,V spécifiés (Marchesiello et al., 2002)

FORCAGES

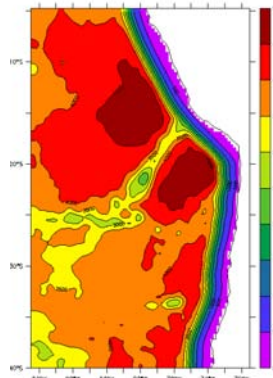
« climatologie 92-96 »: vent ERS, flux réanalyse NCEP, coefficient de relaxation: $-35W/m^2/K$, conditions limites: ORCA 2°

Topographie du fond

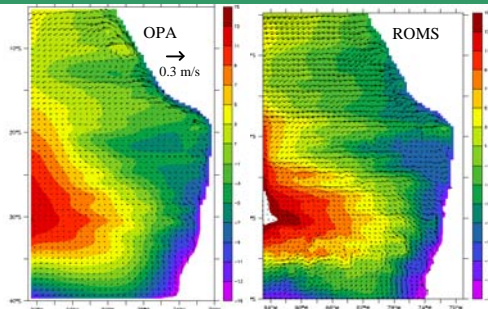
Modèle OPA



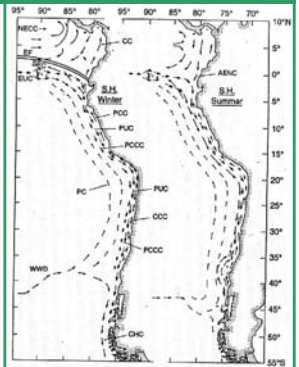
Modèle ROMS



Circulation de surface et niveau de la mer



Circulation de surface (5m, en m/s) et niveau de la mer (cm) moyennés sur un an (4ème année de simulation perpétuelle) dans les deux modèles: la circulation de grande échelle est proche dans les deux modèles, avec une circulation de surface plus intense dans ROMS (couche de mélange plus fine) et une activité de méso-échelle plus marquée, et un jet côtier plus marqué dans OPA. La diffusion explicite dans OPA introduite aménageant certains tourbillons. Aucun des deux modèles ne fait clairement apparaître le contre courant Perou-Chili (PCCC) orienté au sud (Strub et al., 1998).

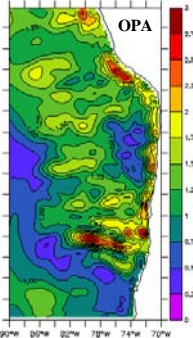


Circulation de surface et de subsurface, schématisée par Strub et al., 1998.

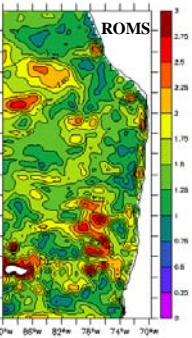
WWD: western wind drift, PC: Peru current, PCC: Peru Chile counter current, PUC: Poleward UnderCurrent, PCC-CCC: Coastal Current

VARIABILITE DU NIVEAU DE LA MER

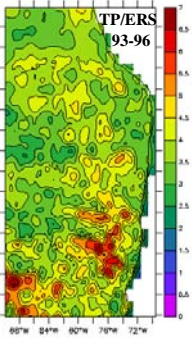
OPA



ROMS



TP/ERS 93-96

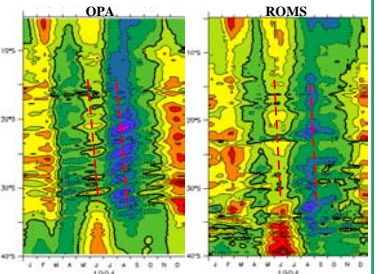


Commentaire

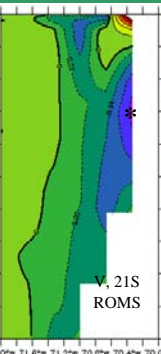
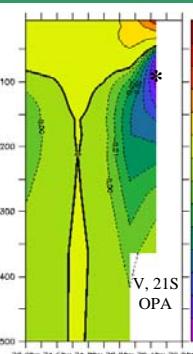
La variabilité du niveau de la mer, calculée sur 3 années consécutives pour les modèles, est beaucoup plus faible que dans les observations. Toutefois la variabilité est bien structurée dans ROMS, et faible dans la partie centrale du Chili (20S-26S), une zone de variabilité de vent minimale, dans OPA. La variabilité le long de la côte est faible dans TP/ERS à cause d'un effet de masque, et plus faible dans ROMS que dans OPA en raison de l'effet inhibiteur du talus sur l'instabilité barocline du courant côtier. On note une forte variabilité dans OPA vers 80°W-32°S, probablement liée à la présence d'un mont sous marin générant une instabilité du courant de gyre.

Propagation d'ondes côtières

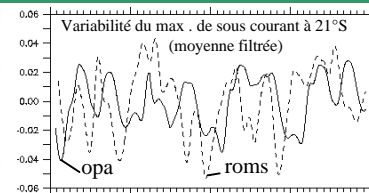
Propagation vers les pôles du niveau de la mer (cm) par des ondes piégées à la côte, à une vitesse de 1.8 m/s (opa) -2.3 m/s (roms) (-2.5-3 m/s, Shaffer et al., 1997), la Propagation plus rapide dans ROMS en raison du talus.



Structure verticale du sous courant à 21°S



Variabilité dans le coeur du sous courant



Structure verticale et variabilité du sous courant à 21°S. L'intensité du courant moyen est réaliste dans ROMS (~0.1 m/s, Shaffer et al., 1997). La variabilité dans OPA est forcée par des ondes de Rossby annuelle et semi-annuelle. A noter un déphasage et une variabilité interne importante malgré un forçage identique à l'interface air-mer et aux frontières ouvertes des deux modèles.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

La circulation moyenne, sa variabilité et celle du sous courant côtier, fondamental pour alimenter en eaux tropicales anoxiques et riches en nutriments la zone d'upwelling, sont étudiés à l'aide de deux modèles « eddy permitting ». Le schéma d'advection de ROMS a pour conséquence d'autoriser une activité turbulente plus intense que dans OPA. La représentation de la topographie et la résolution spatiale implicite de ROMS permet au sous-courant d'être d'une intensité réaliste à la côte. Malgré la présence de forçages identiques, la variabilité saisonnière et intrasaisonnière du sous courant est sensiblement différente dans les deux modèles. Une meilleure compréhension des processus dynamiques la gouvernant est nécessaire avant d'envisager le couplage dynamique-biogéochimie.

References

- Marchesiello, P. et al., 2001: Open boundary conditions for long-term integrations of regional oceanic models. *Ocean Modelling*, 3, 1-20.
- Shaffer G. et al., 1997. Circulation and low frequency variability near the Chile coast: Remotely-forced fluctuations during the 1991-1992 El Niño. *J. Phys. Oceanogr.*, 27, 217-235.
- Strub et al., 1998. Coastal ocean circulation of western South America. *The Sea*, V. 11, 273-313.

Mesures de courants de marée par radar VHF et circulation résiduelle dans le golfe Normand Breton

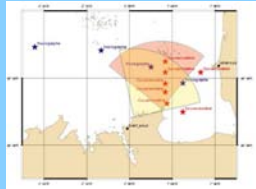
V. Cochin,^{1,2} A. Coat,¹ V. Mariette¹

- 1 SARL AvelMor, Place Nicolas Copernic, Technopole Brest-Iroise, 29280 Plouzané, France
- 2 Département Image et Traitement de l'Information (ITI), ENST-Bretagne, BP 832, Brest, France



Le système radar VHF COSMER,³ développé par le LSEET⁴ de l'université de Toulon et du Var a été déployé pour fournir des mesures de courants de surface de la mer dans le Golfe Normand Breton pour la période du 24 février au 23 mars 2003.

Programme EPEL⁵ du SHOM



Zone de couverture des deux radars du système VHF COSMER et position des mouillages.

La période de mesure couvre un cycle total de marée.

Système VHF COSMER :
deux radars (45 MHz et 47.8MHz).
Chaque radar est constitué de :
1 réseau d'émission (4 antennes fouet),
1 réseau de réception (8 antennes fouet).
Première utilisation du système COSMER en mer à marée.



Principe de mesure

Interaction résonnante entre les ondes électromagnétiques et la surface de la mer :

$$\lambda_{\text{vague}} = \lambda_{\text{radar}} / 2$$

se propageant dans la direction de tir du radar

("composantes radiales", s'approchant ou s'éloignant du radar).

Analyse spectrale de l'écho radar :

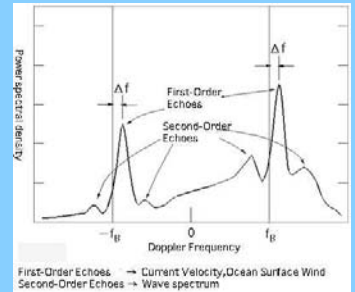
l'essentiel de la puissance se trouve dans deux raies, ("raies de Bragg") dont la position est déterminée par la fréquence du radar $f_{\text{vague}} = (g / (\pi \lambda_{\text{radar}}))^{1/2}$

Déplacement des vagues à l'origine d'un effet Doppler

$$\text{décalage mesuré} : \Delta f$$

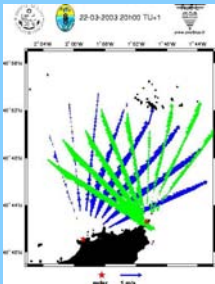
$$\text{vitesse radiale} : \Delta v = \lambda_{\text{radar}} \Delta f / 2$$

- Références : "Doppler spectrum at sea echo at 13.56 Mc/c", D. Crombie, Nature 175, pp. 681-682, (1955).
"Ocean surface currents mapped by radar", D.E. Barrick, Sciences 198, pp. 138-144, (1977).



Cartes de courants de la zone en temps quasi réel

Chaque radar fournit une composante radiale. L'utilisation de deux radars permet d'obtenir les vecteurs courants en 2 dimensions.

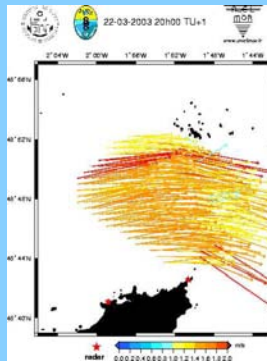


Cartes de courants réalisées pour une zone côtière de 25 x 25 km.
Résolution radiale : 600 m.
Portée : 30 km.
Résolution temporelle : 30 minutes.

Exemples ci contre :

Cartes de courants du 22 mars 2003 20h00 (PM à 22h11, coefficient 94).

← Courants radiaux Vecteurs courants →
(Les flèches représentent le courant, par sa direction et sa vitesse).

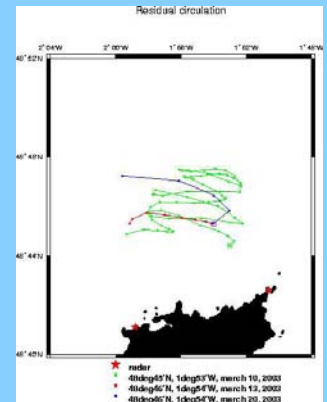


Circulation résiduelle

Simulations réalisées à l'aide de l'outil GNOME,⁶ qui permet d'évaluer la dérive de polluant au cours du temps.

- Exemple de simulation pour la dérive d'une particule :
→ en morte-eau (coefficient 27)
lâchée à PM (1h24) le 13 mars 2003.
(courbe rouge; elle sort du domaine en 9h).
→ en vive-eau (coefficient 114)
lâchée à PM (8h34) le 20 mars 2003.
(courbe bleue; elle sort du domaine en 4h).

- Exemple de simulation pour la dérive d'une particule au cours du temps (courbe verte) :
→ en morte-eau (coefficient 42)
lâchée à PM (10h50) le 10 mars 2003 :
trajectoire Nord-Ouest portée par jusant, puis Nord-Est portée par le flot.



Comparaison : données radar / modèle numérique

TELEMAC : modèle numérique mis en oeuvre par le SHOM

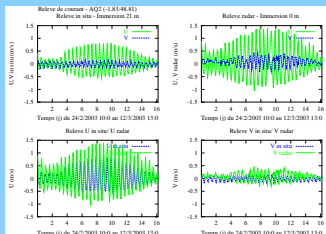
Utilisé pour réaliser des cartes de courants en morte-eau (coefficient 45) et vive-eau (coefficient 95).
Calcul des courants moyens intégrés sur la colonne d'eau.

Radar VHF COSMER :

Mesure des courants de surface "réels", subissant notamment l'influence du vent.
Ces mesures apportent une information complète sur tous les paramètres des courants, en incluant l'influence des conditions météorologiques et les circulations à grande échelle.
Rend possible la vérification et l'amélioration des données du modèle (assimilation de données).

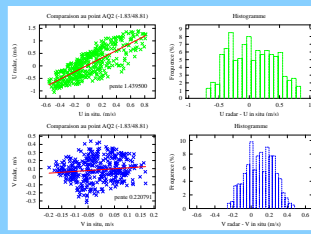
Etudes

Comparaison : données radar/ données in situ



Acquisitions simultanées pendant 17 jours.
Comparaisons courants de surface (radar VHF) en profondeur (courantomètres à 20 m)
Courants en phase, Amplitude plus faible en profondeur, Influence du vent sur courants mesurés par radar VHF.

Les graphes représentent différents tests de comparaisons entre les vitesses zonales (composantes ouest-est notées U) et les vitesses méridiennes (composantes sud-nord notées V) des données mesurées par radar et appareils in situ.



Conclusions et applications :

- Acquisition en continu de séries temporelles de courants de surface.
- Amélioration de la connaissance sur les courants réels en zone côtière.
- Validation de modèles hydrodynamiques.
- Simulation de dérive de polluants.
- Observations en temps réel pour la navigation maritime.
- Etudes relatives aux conditions de circulation près des côtes.

- 3 : Courant Océanique de Surface MEsuré par Radar.
- 5 : Evaluation et Prévision de l'Environnement Littoral.

- 4 : Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre.
- 6 : General NOAA Oil Modeling Environment (<http://response.restoration.noaa.gov>).

Contact : contact@avelmor.fr

URL : <http://www.avelmor.fr>



Implementation of Mesh Refinement method in a 3D coastal model of Bay of Biscay

Laurent DEBREU : IMAG/LMC BP 53X-38401 Grenoble (http://www-lmc.imag.fr)
 Matthieu JOUAN : IFREMER/DEL/AO BP-70 29280 Plouzané

MARS 3D model

MARS 3D features:

- finite difference method
- sigma coordinate and $\sigma = C = \text{Arakawa Grid}$
- Splitting mode (external & internal): mode coupling is based on an iterative predictor-corrector
- external mode:** it is solved with an ADI scheme that is unconditionally stable with respect to external wave propagation (linear case) but filters out any gravity wave period at less than two time steps.
- internal mode:** it is solved with a Crank-Nicholson scheme that computes vertical diffusion semi-implicitly.
- Tidal flat processing

The 3D model of Bay of Biscay is embedded in a larger 2D model which provides open boundary conditions (SSH, barotropic velocities). This model may reproduce over the whole Bay of Biscay shelf all the processes due to tide, wind and density gradients. These characteristics allow long term simulations (over 10 years) using regular computational power.

Fig 1 2D-3D nesting: The model calculates the velocity, temperature and salinity fields. Its horizontal resolution is set to 5 km

Oceanic circulation on the shelf of Bay of Biscay

Tidal forcing is the predominant factor to reproduce the circulation on the continental shelf:

- strong mixing induced by bottom friction
- long term residual transport (weak effect)

Fig 4 tidal residual current in the Bay of Biscay computed by MARS3D

Most spectacular illustration of the influence of mixing due to tide is the **Quessant front**. This satellite image of SST shows the thermal front off Brittany: on the one hand the water column is cold and homogeneous (strong mixing), on the other hand the column is stratified (offshore surface water is warm).

Fig 5 Quessant thermal front (source AVHRR NOAA 3 days averaged, processed by Plymouth Marine Laboratory)

The large wind variability (force and direction) strongly influences the vertical transport along the coast. During summer, whereas the shelf water is stratified, upwelling may appear in favourable wind conditions. In this case the cold water upwelled generates a frontal structure (see Figure 6)

Fig 6 upwelling off the coast (source AVHRR NOAA 3 days average, processed by Plymouth Marine Laboratory)

The dispersion of fresh water from large rivers generates salinity fronts with strong gradients. These fronts may produce (anticyclonic) eddies. This mechanism is still partially misunderstood. This kind of structure is reproduced by the model in Figure 2.

All these frontal structures may become unstable and give birth to eddies and filaments. Thus, the spatial scale of this process is of the order of magnitude of the first internal Rossby radius. In the case of rivers plumes it is assessed to be 1 km.

The AGRIF package is used to obtain an increased resolution where these gradients are strong

Mesh Refinement - AGRIF main features

AGRIF : Adaptive Grid Refinement In Fortran

This technique is based on the Berger & Oliger domain decomposition with full overlapping method

purpose: to locally increase the model resolution on several levels (fig 7: example for 3 nested grids). A given grid may contain more than one refined grid (ex: level 1 on fig 7)

Method:

- One-Way forcing:** variables on the fine grid are interpolated from the coarse grid (sea surface height, velocities, tracers) → parent grid do not receive informations from the child grid (one way)
- Two-Way forcing:** One way + updating. In this case, parent variables on the overlapped area are updated from the child grid (fig 8)

NB: This package may deal with **adaptive** mesh refinement which is not used in this context. In this case, the refined grid is created with respect to a criterion (ex: turbulence rate, vorticity, etc...) and follows the process:

Firstly, the coarsest grid (level 0) is fully computed for one time step. Then child grids of the following level (1) can be calculated (step 1 to 4 on Figure 8). The updating phase occurs once two levels reach the same date.

Open boundary conditions of the refined grid are obtained from the coarse resolution by interpolation in time and space. Each overlapped coarse cell is updated with the mean of the fine cells.

Fig 7: grid hierarchy

Example of 2 levels nesting: Bay of Biscay - Southern Brittany - Vaine Bay
 Spatial and temporal refinement: $\times 3$ (for each level) → 8000 m × 1800 m × 500 s

Fig 8: 2 level integration

Implementation in MARS3D

Boundary Conditions in MARS3D:

- free surface height
- barotropic and baroclinic velocities
- temperature and salinity

AGRIF generates functions interpolation for each variable specified → at the boundary (at each time step) → over the whole grid (initialization for a delayed start of the fine grid)

Update:

- spatial mean (+ using nudging coefficient)
- call update_xe(), call update_xi(), ...

one way: forcing S.T.xe,u, forcing S.T.xe,u, forcing S.T.xe,u, forcing S.T.xe,u

two way: forcing S.T.xe,u updating xe S.T., forcing S.T.xe,u updating xe S.T.

Surface salinity on the child grids (ref. fact $\times 3$, $\Delta x = 1.6$ km) → Salinity anomaly near the southern boundary

Corresponding results on parent grid + Global fine grid ($\Delta x = 1.6$ km)

global fine grid

- In the one way mode (xe and xe+u), results on the fine grids are very similar. That may be due to the predominant role of the tide (xe forcing).

- In this one way mode, a fresher water patch appears at the southern boundary. This patch is not observed in the two way mode neither on the global fine solution. Results on the parent grids show that the plume in one way mode flows more southward (across the boundary). Fresher water is then reducted into the child grid causing this patch. Two way results of refined and coarse grid are indeed very close to the global fine results.

example of « fresh water » lens

impact on the coarse grid outside the overlap (enlaced on the figure)

In the two way, the small sponge layer let a lens cross the boundary of the overlap

Mass diagnostics at the interfaces:

- importance of the bathymetry adjustment at the interfaces
- in both cases, (xe) and (xe+u) forcing modes the difference is about -5% and +10%. Such a difference is due to the interpolation of velocities at the boundary (used only for calculating non-linear terms) and the fact that MARS3D is not flux-forced
- both errors on fluxes balance, so the net volume remains constant

Mass fluxes at the interface:

Solution → correct the boundary fluxes at each time step in order to have the same mass flux by modifying the bathymetry

example of « fresh water » lens

surface salinity:

- Density driven currents: without strong winds, lighter surface water is advected northward, along the coast

1997 Loire - Vaine flows
 - Wind progressive vector diagram (15/02 → 15/04)

Fig 9 hydrological and wind data for the studied period (03/97)

lens formation:

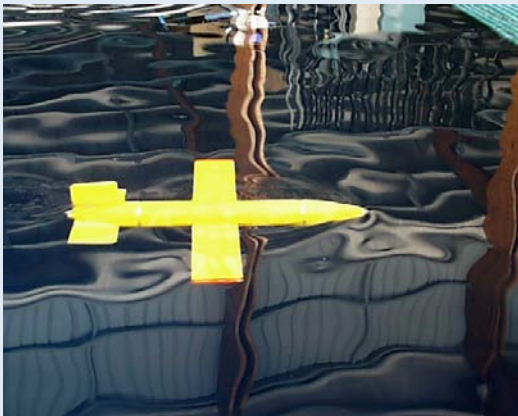
When the wind shifts southwestward, the coastal surface water is advected offshore. One week later, steady density currents are observed around the lens. These currents last as long as the wind remains weak. These results are processed once the tide signal filtration.

Glisseurs (gliders) pour la mesure en océanographie physique.

Y. Gallou, N. Seube, P. Simon (seube@ensieta.fr)
DTN/Département Automatique
ENSIETA (Brest)

Motivations : Disposer d'un vecteur économique en océanographie physique

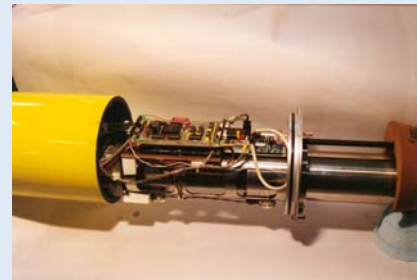
- Souplesse d'utilisation: Profils le long de trajectoires ondulantes, point fixe virtuel.
- Programmation des trajectoires: En fonction des mesures, pour le suivi d'un phénomène particulier.
- Possibilité de rejoindre la zone de mesure à partir de la côte ou d'un point de largage éloigné.
- Très grande autonomie par rapport aux AUV propulsés: 800NM à 200m d'immersion.
- Coût de mise en œuvre réduit: engin autonome, pouvant être mis à l'eau à partir d'un navire léger.



- Capteurs internes: attitude, immersion, volume sec, position roue à inertie, niveau de charge batteries, vitesse relative au fluide.
- Capteurs externes: GPS en surface, pinger, lien Argos
- Capteurs de mission: Sonde CTD

Principes:

-Utiliser la gravité et la poussée d'Archimède comme propulsion longitudinale:
Engin à volume sec variable et contrôlé.

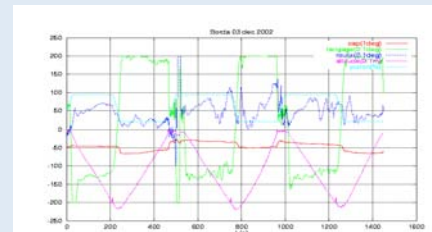


-Utiliser la gravité comme propulsion longitudinale:
Engin à centre de gravité mobile pour permettre des virages dérapés.

-De larges surfaces portantes, un régulateur de volume et une roue à inertie permettent de piloter le glisseur.



Tests Mer (décembre 2002)
Prototype:
Longueur 1,8 m, Envergure 1,8 m,
Poids 50kg, variation de volume 1,2l,
Vitesse max: 1 nœud, Immersion max
150m, Finesse 5 (20 degrés).

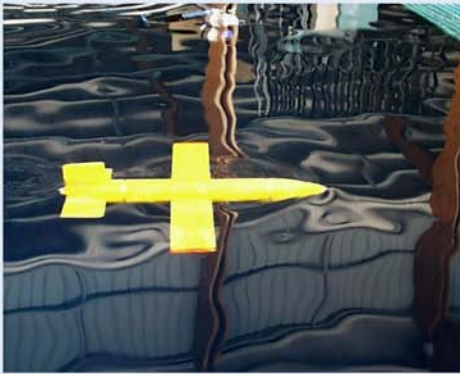


Glisseurs (gliders) pour la mesure en océanographie physique.

Y. Gallou, N. Seube, P. Simon (seube@ensieta.fr)
DTN/Département Automatique
ENSIETA (Brest)

Motivations : Disposer d'un vecteur économique en océanographie physique

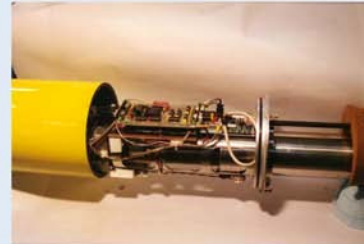
- Souplesse d'utilisation: Profils le long de trajectoires ondulantes, point fixe virtuel.
- Programmation des trajectoires: En fonction des mesures, pour le suivi d'un phénomène particulier.
- Possibilité de rejoindre la zone de mesure à partir de la côte ou d'un point de largage éloigné.
- Très grande autonomie par rapport aux AUV propulsés: 800NM à 200m d'immersion.
- Coût de mise en œuvre réduit: engin autonome, pouvant être mis à l'eau à partir d'un navire léger.



- Capteurs internes: attitude, immersion, volume sec, position roue à inertie, niveau de charge batteries, vitesse relative au fluide.
- Capteurs externes: GPS en surface, pinger, lien Argos
- Capteurs de mission: Sonde CTD

Principes:

-Utiliser la gravité et la poussée d'Archimède comme propulsion longitudinale:
Engin à volume sec variable et contrôlé.



-Utiliser la gravité comme propulsion longitudinale:
Engin à centre de gravité mobile pour permettre des virages dérapés.

-De larges surfaces portantes, un régleur de volume et une roue à inertie permettent de piloter le glisseur.



Tests Mer (décembre 2002)
Prototype:
Longueur 1,8 m, Envergure 1,8 m,
Poids 50kg, variation de volume 1,2l,
Vitesse max: 1 nœud, Immersion max
150m, Finesse 5 (20 degrés).

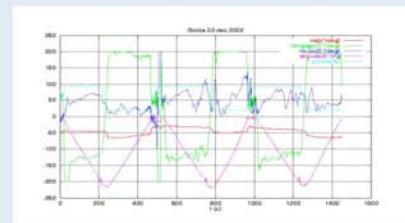


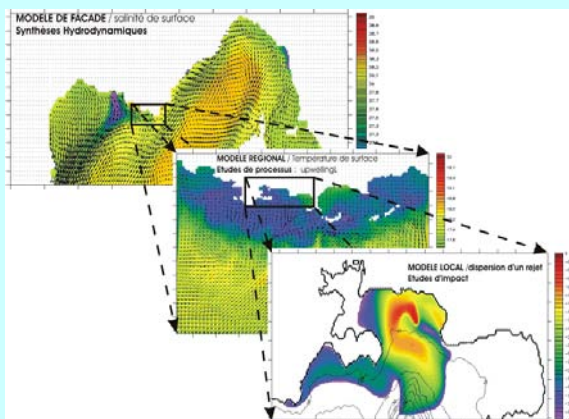
Plate-forme de Modélisation des courants côtiers Méditerranéens

Ifremer

Pierre GARREAU, Valérie GARNIER, Didier SAUZADE IFREMER-Direction de l'Environnement Littoral
Pierre.garreau@ifremer.fr

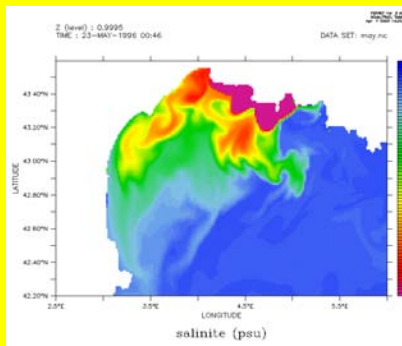
Un soutien aux études d'impact

- En Méditerranée, la circulation dans une baie dépend dans une large mesure de la circulation globale et régionale.
- Un système de modèles 3D emboîtés a été construit pour prendre en compte localement dans le champ proche les forçages distants (thermohalins, atmosphériques ...).
- Une simulation réaliste d'une année a été mise en œuvre sur l'ensemble Mer Ligure/Golfe du Lion/mer Catalane
- Ces résultats sont fournis sous forme de conditions limites que les bureaux d'études peuvent intégrer dans leurs réponses aux appels d'offres.

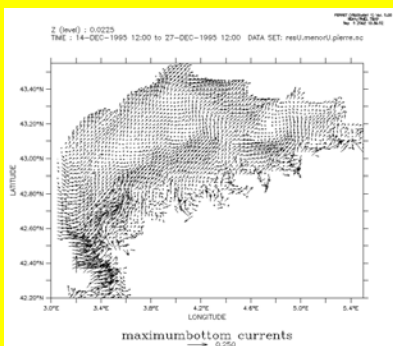


Un outil pour la recherche

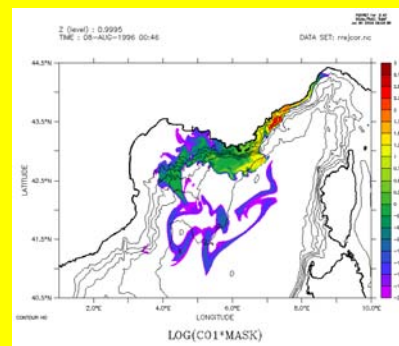
Le code Mars3D de l'Ifremer est un code à surface libre, en coordonnées sigma, avec 30 niveaux sur la verticale. Actuellement, la résolution horizontale est de 1.2 km. Sur cette base de modélisation, plusieurs projets de recherche appliquée sont menés en collaboration.



PNEC GOLFE DU LION (programme national) : Modélisation fine du panache du Rhône



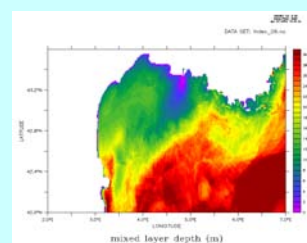
EUROSTRATAFORM (programme européen) : Modélisation des courants près du fond pour la dérive des sédiments



MEDICIS (programme Ifremer) : Simulation du transport et de la diffusion d'un polluant rejeté devant Nice dans le courant Nord.

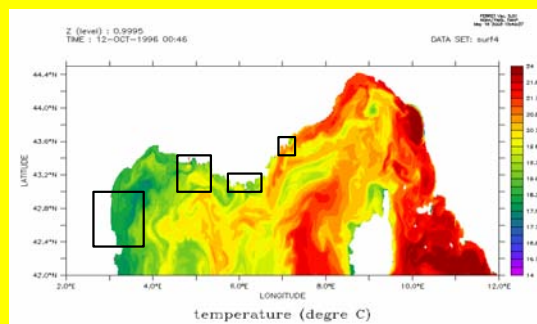
Un outil pour l'expertise et la décision

- La simulation donne accès à des "descripteurs" de la circulation. Il est alors possible de connaître l'épaisseur de la couche de mélange, la température à une profondeur donnée, le confinement des masses d'eaux, etc.
- Ce modèle a, par exemple, servi pour définir la typologie des masses d'eau (Directive Cadre sur L'Eau) ou définir les lieux propices à l'installation de fermes aquacoles (cage à thon).



Vers un système opérationnel...

- Des zooms interactifs (**AGRIF**) permettent de maîtriser à la fois la dynamique régionale (la Mer Ligure et le Golfe du Lion) et la dynamique locale (le panache du Rhône, la Rade du Toulon, la Baie de Cannes, la côte du Roussillon etc.).
- Des couplages avec des modèles opérationnels de circulation globale ont été mis en œuvre (avec MFS) ou sont en cours de développement (avec **MERCATOR**) :
- La dynamique globale du bassin méditerranéen est ainsi mieux prise en compte.



SIMULATION DE LA DISTRIBUTION VERTICALE DES ŒUFS D'ANCHOIS DANS LE GOLFE DE GASCOGNE.

Stéphanie MAGRI, DEL/AO IFREMER Brest
 Pascal LAZURE, DEL/AO IFREMER Brest
 Pierre PETITGAS, DRV/Ecolat IFREMER Nantes

INTRODUCTION

La pêche constitue une activité économique de grande envergure dans le Golfe de Gascogne où une centaine d'espèces y est actuellement exploitée. Parmi ces espèces, les petits pélagiques, tels l'anchois, représentent une ressource importante pour la France et l'Espagne. L'anchois ayant une durée de vie courte (de l'ordre de 4 ans) l'abondance de sa population est fonction de son recrutement, basé sur l'évaluation de l'âge 1 an. Or les captures sont essentiellement constituées d'individus de cet âge. Il est donc primordial de connaître l'abondance d'une espèce afin d'adapter l'effort de pêche.

Le Golfe de Gascogne est d'autre part caractérisé par une mosaïque de structures méso-échelles, le transport et le mélange des masses d'eau étant conditionnés par les vents, les courants de marée et les débits fluviaux (Adour, Gironde, Loire). C'est à cette échelle que s'établissent les interactions entre les cycles de vie des poissons, leur environnement et la pêche, ces structures hydrodynamiques constituant des habitats. Il a ainsi été démontré que des conditions environnementales défavorables pouvaient être à l'origine de faibles recrutements.

Ainsi, afin de connaître la variabilité du recrutement, il est nécessaire de développer des outils d'océanographie halieutique, dont une approche en voie de développement concerne la modélisation des interactions entre l'hydrodynamique et la biologie.

A titre d'exemple, grâce à l'utilisation conjointe d'un modèle hydrodynamique 1D vertical (dédit du modèle MARS 3D) et de données *in situ*, il est possible de reconstruire la structure physique de la colonne d'eau afin de connaître la répartition des œufs lors de la ponte. Par suite, nous en déduisons une estimation de la fécondité.

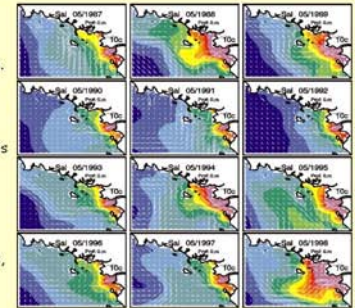


MODELE MARS 3D

Le modèle hydrodynamique tridimensionnel MARS 3D a été développé dans le but de décrire la dynamique du plateau continental du Golfe de Gascogne à des échelles de temps variant de celle de la marée à la décennie.

Caractéristiques:

- **Maillage:** 5 km x 5 km - 10 niveaux sigma sur la verticale.
- **Forçages:** marée, vent, débits des fleuves, flux climatologique.
- **Conditions limites:** limites ouvertes. Niveaux calculés à partir d'un modèle 2D.
- **Modèle aux équations primitives** (discretisation en différences finies) à surface libre:
 - **Variables d'état:** 3 composantes du courant, température, salinité, énergie cinétique turbulente.
 - **Variables synthétiques:** épaisseur de la couche de mélange, déficit d'énergie potentielle.



Moyennes de salinité de surface en mai entre 1987 et 1998

MODELE 1D VERTICAL

OBJECTIF PRINCIPAL:

Il s'agit de connaître la répartition des œufs d'anchois le long de la colonne d'eau en fonction de la dynamique pour une estimation de la production.

Le modèle 1D vertical utilisé est dérivé du modèle MARS 3D. Ce modèle simplifié est forcé par des profils de température et de salinité, ainsi que des données de vent (intensité et direction) résultant de prélèvements effectués lors de différentes missions océanographiques dans le Golfe de Gascogne (campagnes PELGAS).

Une équation biologique est couplée au modèle dynamique, cette dernière tenant compte d'une vitesse limite propre à chaque espèce:

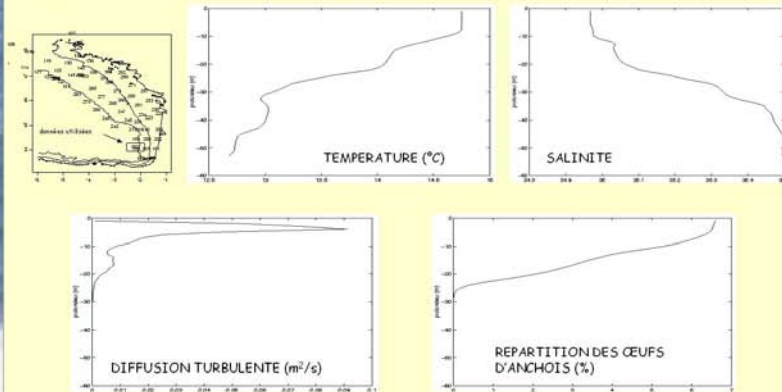
$$\frac{\partial \text{Trac}}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial \text{Trac}}{\partial z} \right) + w \text{flot}$$

où wflot = 0,00042 ms⁻¹ pour l'anchois.

Ainsi ce modèle est capable de donner une estimation du pourcentage de présence d'œufs selon la profondeur pour l'ensemble du Golfe de Gascogne durant l'intervalle de temps (mai-juin) correspondant aux campagnes PELGAS.

EXEMPLE DE RESULTATS DU MODELE 1D VERTICAL

Sur la base de profils de température et de salinité ainsi que de données de vent (campagne PELGAS01), le modèle permet une estimation du pourcentage de présence des œufs d'anchois le long de la colonne d'eau:



CONCLUSION

L'utilisation d'un modèle 1D vertical, déduit du modèle hydrodynamique MARS 3D, trouve tout son intérêt dans le cadre de ce travail car il permet une estimation de la répartition des œufs d'anchois selon le long de la colonne d'eau, nécessaire à une estimation de la fécondité par site de ponte dans le Golfe de Gascogne.

Lors de la campagne PELGAS'03, des prélèvements d'œufs ont été effectués sur l'ensemble de la colonne d'eau, en plus des données CUFES (pompage en surface). Ces informations complémentaires sont très intéressantes dans le sens où elles vont permettre une validation plus approfondie du modèle unidimensionnel.

ESTIMATION DE LA FECONDITE

L'estimation de l'abondance des œufs à partir de mesures de surface (pompe CUFES - Continuous Underway Fish Egg Sampler) par site de ponte lors des différentes campagnes océanographiques permet:

- Une estimation de la fécondité par site de ponte (production d'œufs par kg de poisson adulte);
- La validation de l'estimation acoustique.

Estimation de la production d'œufs:

- Mesure de la concentration en œufs en surface au cours des campagnes;
- Estimation par le modèle 1D vertical de l'abondance en œufs, ceci pour chaque stade d'œufs;
- Estimation de l'âge des stades œufs en fonction de la température, avec constitution d'une courbe de mortalité et estimation de la production (ordonnée à l'origine).

Validation avec l'acoustique:

production d'œufs / biomasse adulte = fécondité connue par coupe histologique des ovaires ?

Les flux de matière particulaire dans le Golfe du Lion

M.Guarracino (1), X.Durrieu de Madron (1), S.Heussner (1), P.Marsaleix (2), B. Barnier (3)

(1) Centre de Formation et de Recherche sur l'Environnement Marin, Perpignan (2) Laboratoire d'Aérodologie, Toulouse

(3) Laboratoire des Écoulements Géophysiques et Industriels, Grenoble (correspondant: guarra@univ-perp.fr)

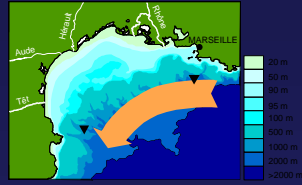
Analyse de la variabilité temporelle des flux et des facteurs de contrôle

Les objectifs:

Caractériser la variabilité spatiale de l'intensité des flux d'un suivi à long-terme initié en octobre 1993

Discriminer la variabilité saisonnière et interannuelle des flux de masse

Analyser le rôle des facteurs contrôlant les flux (sources, processus d'échanges côte-large)



▼ Sites des mouillages des pièges à particules et des courantmètres

Les données:

Flux de masse mensuels, température et courants in-situ horaires

Sources de matière:

apports fluviaux (banque Hydro)

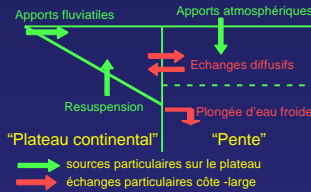
apports atmosphériques (Löye-Pilot, 1998)

indice de resuspension (d'après données Vagmed)

Mécanismes d'échanges côte-large:

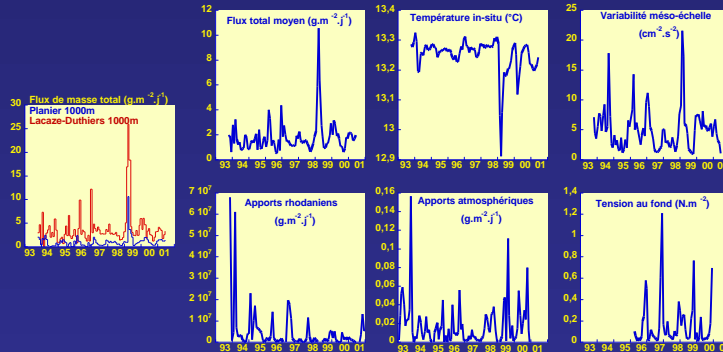
variabilité à méso-échelle (variance mensuelles des courants)

processus de convection hivernale (température in-situ).



Les résultats:

À l'échelle du Golfe du Lion:



Les flux particuliers sont plus forts à l'Ouest qu'à l'Est (~ 3).

Les flux particuliers et tous les facteurs de contrôle considérés ont une variabilité saisonnière traduisant un maximum automnal et hivernal. Beaucoup ont une variabilité interannuelle importante (flux, température) avec un pic en 1999.

Les analyses en composantes principales montrent une corrélation maximale entre les flux particuliers et les processus d'échanges.

Des déphasages apparaissent entre les maxima liés aux sources et les maxima des flux particuliers.

Les conclusions:

Les flux de masse et les mécanismes d'échanges entre la côte et le large ont une variabilité saisonnière et interannuelle marquées.

Les sources alimentent le stock de matière particulaire sur le plateau en automne (crues des fleuves, remise en suspension du sédiment par les tempêtes) et les processus d'échanges contrôlent la dispersion du matériel vers la pente.

Des questions subsistent encore... quel est le processus hydrodynamique le plus important dans le transfert de la matière particulaire vers le large?

Références:

Estoumel C., V.Kondrachoff, P.Marsaleix, et R. Véhil. The Plume of the Rhône river: numerical simulation and remote sensing, Continental Shelf Research, 17, pp899-924, 1997.

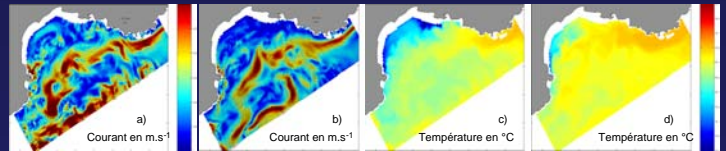
Fioux M. Formation d'eau dense sur le plateau continental du Golfe du Lion, La formation des eaux océaniques profondes, Colloques internationaux du C.N.R.S., CNRS Paris, 1974

Dufau-Julliard C., P.Marsaleix, A.Petrenko, I.Dekeyser. Winter hydrodynamical 3D Modelling in the Guf of Lions, North Western Mediterranean-Dense Water Formation over the Continental Shelf during January 1999 (MOOGLI3 Experiment) and late winter, submitted.

Analyse de la variabilité interannuelle des échanges entre le plateau et la pente

Les objectifs:

Analyser l'impact des forçages locaux (tension du vent, flux de chaleur, bilan hydrique) sur la variabilité des processus hydrodynamiques et celle de l'exportation de matière du plateau.



Évolution du courant en février a) et mars 1999 b), de la température en février c) et mars 1999 d) à 50m de profondeur. Échelles: $U_{min}=0 \text{ m.s}^{-1}$ et $U_{max}=0.3 \text{ m.s}^{-1}$, $T_{min}=10^\circ\text{C}$ et $T_{max}=15^\circ\text{C}$

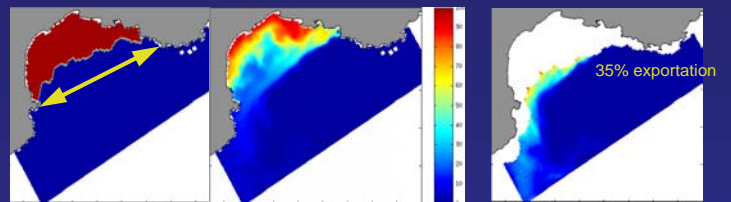
L'approche:

Utilisation du code numérique 3-D Symphonie (Estoumel, 1997) dans la configuration validée par Dufau-Julliard (2003) pour la période janvier 1999.

Simulation de la circulation océanique et de l'hydrologie pour la période décembre-avril, pour les hivers 1996 à 2001 et moyenne climatique des 6 hivers.

Simulations utilisant les forçages atmosphériques Arpège, les forçages d'apports en eau douce des rivières.

Prise en compte d'un traceur passif initialisé tous les mois sur le plateau pour estimer l'exportation de matière vers la pente.



Traceur à T_0 à 10 m de profondeur

Traceur à $T=T_0+24j$ à 10 m de profondeur

Traceur à $T=T_0+24j$ à 250 m de profondeur

Les résultats:

La variabilité temporelle de la quantité exportée est identique à la variabilité temporelle des flux de masse moyennés pour la période 1993-2001.

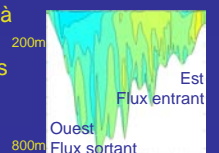
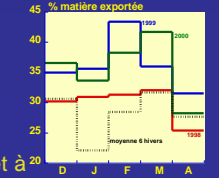
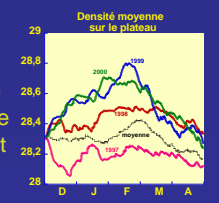
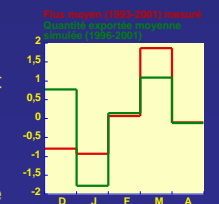
L'exportation mensuelle de la matière est comprise entre 20 et 45% pour les 6 hivers; elle est maximale en février-mars et pendant les hivers 1999 et 2000. La densité moyenne du plateau est maximale en février, elle culmine en 1999 et 2000. Ces valeurs indiquent un phénomène de formation d'eau dense sur le plateau (Fioux, 1974). En moyenne, selon une coupe Cap Creus-Cap Croisette, les échanges sont asymétriques: importation à l'Est et exportation à l'Ouest.

Les conclusions:

Ces résultats sont positivement corrélés au signal saisonnier interannuel observé dans les pièges à particules.

L'exportation de matière est plus intense en hiver et à l'Ouest du Golfe. Ceci est dû à la circulation du plateau induite par le vent (activité cyclonique à l'Ouest) et à la formation d'eau dense hivernale.

La convection océanique hivernale est le processus hydrodynamique qui gouverne la variabilité interannuelle des flux de masse.



Structure moyenne de la composante V du courant pour la simulation climatique 1966-2001

Etude de configuration d'une constellation de satellites altimétriques pour l'observation de la dynamique océanique côtière : mise en place d'une approche basée sur l'assimilation de données.

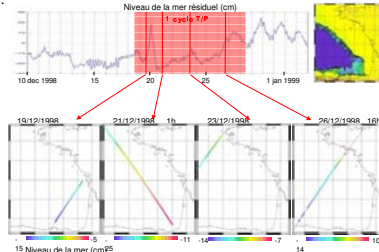
Baptiste MOURRE (mourre@notos.cst.cnes.fr), Pierre de MEY, Christian LE PROVOST, Florent LYARD
Pôle d'Océanographie Côtière de Toulouse
LEGOS 18 av Edouard Belin 31401 Toulouse Cedex 4



Introduction et objectifs

L'application de l'altimétrie pour l'observation de la dynamique océanique côtière (ie la dynamique sur les plateaux continentaux) est restée jusqu'à présent extrêmement limitée, notamment à cause des petites échelles, tant spatiales que temporelles, des processus physiques dans ces régions (de l'ordre de la dizaine de km et du jour). En effet, la couverture des satellites actuels ne constitue pas un échantillonnage suffisant pour pouvoir observer de telles échelles.

Fig 1 : Niveau de la mer résiduel sur le plateau continental armoricain échantillonné par un satellite altimétrique du type Jason



Dans la perspective des futures missions altimétriques (projets de constellation, nouvelles technologies telles que WSOA*,...), l'objectif général de cette étude consiste à tester la capacité de différents scénarios d'observation à décrire cette dynamique océanique côtière.

Le modèle MOG2D

Le modèle barotrope MOG2D implémenté sur tout le plateau continental européen est utilisé pour cette étude. Il s'agit d'un modèle « time-stepping », non-linéaire à surface libre, dérivé de (Lynch & Gray, 1979). Il résout les équations shallow water classiques de continuité et de quantité de mouvement. Sa principale originalité réside dans la discrétisation spatiale en éléments finis, qui permet d'augmenter la résolution localement dans certaines régions critiques telles que les zones de forts gradients topographiques ou le long des côtes particulièrement accidentées, et qui est donc tout à fait adaptée à la modélisation côtière.

MOG2D est soumis au forçage météorologique seul dans cette étude.

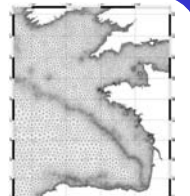


Fig 2 : Maillage éléments finis utilisé sur le Golfe de Gascogne

Approche adoptée

Compte tenu de ces petites échelles spatio-temporelles et de la couverture fatalement limitée des satellites altimétriques, la contribution conjointe des modèles numériques comme interpolateurs dynamiques en espace et en temps des observations spatiales apparaît nécessaire. Nous sommes convaincus que la meilleure estimation de l'état de l'océan dans les zones côtières résulte d'une combinaison d'observations altimétriques à haute résolution et de modélisation numérique via les techniques d'assimilation de données.

Dans ce contexte, le problème se pose alors dans les termes suivants : quel scénario d'observation permettrait d'apporter la meilleure correction aux erreurs du modèle dans les zones côtières ? et dans quelle mesure peut-on ainsi espérer améliorer les performances du modèle ?

L'assimilation de données

L'assimilation de données dans les zones côtières constitue un challenge à part entière. Les spécificités de l'océan côtier, et notamment les fortes non-linéarités qui tendent à s'y développer, rendent particulièrement délicate la spécification des statistiques d'erreurs du modèle, nécessaires à n'importe quel algorithme d'assimilation. Les hypothèses d'homogénéité ou d'isotropie de ces statistiques, couramment employées pour les applications sur le plein océan ne sont plus valides dans les zones côtières (Echevin et al. 2000), et une étude détaillée des erreurs du modèle est alors nécessaire pour assurer des résultats dynamiquement cohérents de l'assimilation.

Pourvu de ressources informatiques suffisantes, un bon moyen d'estimer ces statistiques d'erreurs sans hypothèses simplificatrices sur la dynamique du modèle consiste à utiliser des *Méthodes d'Ensemble* : les statistiques sont alors calculées de manière empirique à partir d'un ensemble de réalisations de ces erreurs générées par le modèle.

Ici, les *erreurs du modèle dues aux incertitudes sur la bathymétrie* sont ainsi examinées plus spécifiquement à l'aide de méthodes d'ensemble.

Un schéma dit *Filtre de Kalman d'Ensemble en Représentants* est ensuite utilisé pour assimiler dans le modèle des données simulées en considérant différents scénarios d'observation altimétriques.

Il s'agit d'une méthode d'assimilation séquentielle dans lequel les étapes d'analyse consistent en un schéma d'Interpolation Optimale basé sur le calcul des « représentants » des observations par les méthodes d'ensemble.

$$\text{Etat analysé } x^a = x^f + \sum_i b_i r_i$$

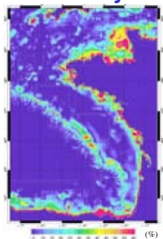
Prévision Combinaison linéaire des représentants des observations

A chaque observation altimétrique est associé 1 représentant, qui contient les covariances entre la variable observée (η) au point d'observation et les autres variables du modèle (η, u, v) à tous les autres points.

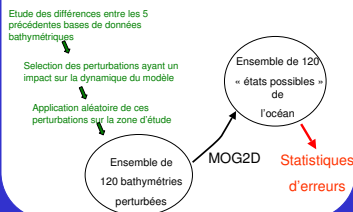
Les incertitudes sur la bathymétrie

Fig 3 : Dispersion rms de l'estimation de la célérité des ondes de gravité (\sqrt{gH}) calculée à partir de 5 bathymétries différentes :

- ETOPO2
- SHOM
- SMITH&SANDWELL6.2
- TERRAIN BASE
- DBDB5



Utilisation de méthodes d'ensemble



Variances d'erreurs

Fig 4 : Distribution spatiale des variances d'erreurs sur la prévision du niveau de la mer

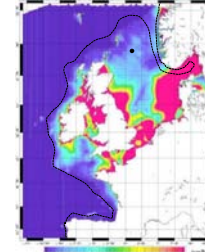
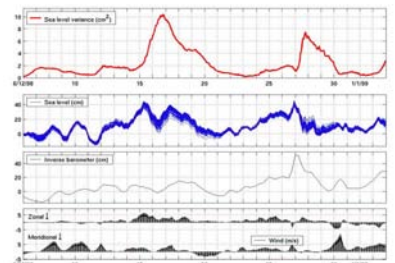


Fig 5 : Evolution temporelle au point noir (Mer du Nord)



- Les variances d'erreurs sont plus importantes sur le plateau continental que sur le plein océan
- Leur distribution spatiale n'est pas homogène : les valeurs maximales sont atteintes dans les régions où la dynamique de plateau est particulièrement importante (le long des côtes, en Mer du Nord,...).

Ces variances d'erreurs ne sont par ailleurs pas stationnaires et dépendent du régime atmosphérique. En particulier, l'influence de la bathymétrie est très importante lors des phases d'ajustement dynamique de l'océan qui suivent un fort événement météorologique (coup de vent, grosse dépression), dû à la génération de nombreuses ondes de gravité.

Covariances spatiales

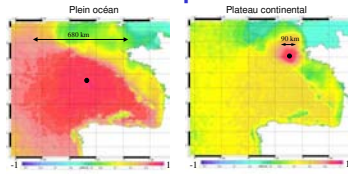
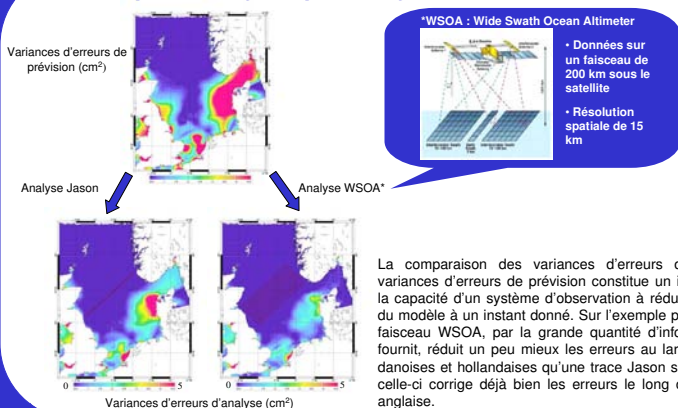


Fig 6 : Partie des représentants correspondant au niveau de la mer pour deux observations différentes.

La taille de la zone d'influence d'une observation (zone de corrélations significatives sur la figure 6) diminue considérablement lorsque l'on passe du plein océan au plateau continental. Cette zone est d'une importance considérable puisque c'est précisément la zone dans laquelle une observation donnée va permettre de corriger le modèle.

Cette différence implique notamment la nécessité d'une plus grande résolution spatiale des observations sur les plateaux continentaux.

Exemple d'analyses pour 2 systèmes d'observation



La comparaison des variances d'erreurs d'analyse aux variances d'erreurs de prévision constitue un indice quant à la capacité d'un système d'observation à réduire les erreurs du modèle à un instant donné. Sur l'exemple présenté ici, un faisceau WSOA, par la grande quantité d'informations qu'il fournit, réduit un peu mieux les erreurs au large des côtes danaises et hollandaises qu'une trace Jason seule, même si celle-ci corrige déjà bien les erreurs le long de la côte est anglaise.

Conclusions et perspectives

L'étude par des méthodes d'ensemble des statistiques d'erreurs du modèle barotrope MOG2D dues aux incertitudes sur la bathymétrie révèle que :

- la taille de la zone d'influence d'une observation altimétrique est considérablement réduite lors du passage du plein océan à l'océan côtier.
- les variances d'erreurs ne sont pas stationnaires mais plutôt dépendantes du régime météorologique.

Ces deux constats justifient le besoin d'une meilleure couverture spatio-temporelle des systèmes d'observation altimétriques pour l'observation de la dynamique océanique côtière.

Cette approche basée sur l'assimilation de données nous permet par ailleurs de tester la capacité de différentes configurations de satellites altimétriques à contrôler les erreurs du modèle dans les zones côtières. Si des analyses pour différentes couvertures spatiales des observations à un instant donné fournissent un premier indice, seule une assimilation séquentielle des observations au fur et à mesure du passage des satellites sur la zone d'étude permet de prendre en compte la propagation à la fois dans l'espace et dans le temps de l'information contenue dans les observations sur les variables du modèle. Le type d'expérience représenté sur la figure 7 sera donc réitéré pour d'autres scénarios d'observation, et les résultats ainsi obtenus en termes de réduction d'erreurs seront comparés.

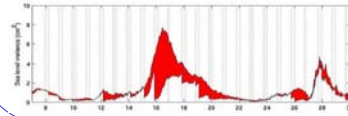


Fig 7 : Comparaison de l'évolution des variances d'erreurs obtenues avec et sans assimilation (correction = zone rouge) pour les traces Jason en Mer du Nord

Références

Lynch D.R. and W.G. Gray. A wave equation model for finite element tidal computations. Computers and fluids, 7:297-228, 1979
Echevin V., P. De Mey and G. Evensen. Horizontal and vertical structure of the representor functions for sea surface measurements in a coastal circulation model. J Phys. Oceanogr., 30:2627-2635, 2000

Fu L.L. Wide Swath Altimetric Measurement of Ocean Surface Topography. JPL Publication 03-002, 2003
Evensen G. Sequential data assimilation with a non-linear quasi-geostrophic model using Monte Carlo methods to forecast error statistics. J. Geophys. Res., 99:10 143-10162, 1994



Modélisation de la variabilité des premiers maillons trophiques de l'écosystème du Benguela: une approche comparative

Eric Machu¹, Vamara Kone^{3,1}, Pierrick Penven² et Valerie Andersen³

1- Department of Oceanography, University of Cape Town 2- UR IDYLE, Université de Bretagne Occidentale 3- LOV, Observatoire Océanologique de Villefranche sur Mer

Objectifs:

Représenter la distribution planctonique dans un système d'upwelling de bord Est: le système du Benguela

Caracteristiques:

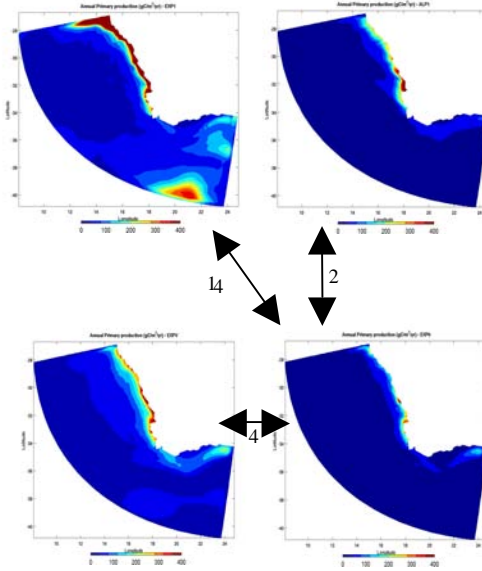
- ? Large spectre d'échelles en présence, associées à une forte variabilité.
- ? La proximité du Courant des Aiguilles confère au Benguela sa spécificité en terme de système d'upwelling de bord Est.

Outils:

- ? Modèle ROMS (coordonnées σ): Configuration PLUME

1. Impact du Forçage (fichier de rappel)

- Production plus réaliste au niveau du Courant de Retour des Aiguilles
- Problème au nord du domaine lié au modèle AGAPE utilisé pour créer les rappels des variables biologiques



2. Choix des paramètres

Exemple: Impact de la pente initiale lumière/photosynthèse

4. Impact du modèle biogéochimique

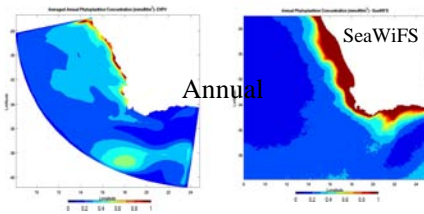
Modèle $N_2P_2Z_2D_2$ / NPZD: Avantages de la prise en compte de deux espèces phytoplanctoniques:

- Gradients entre la côte et le large plus réaliste
- Production sur le Banc des Aiguilles

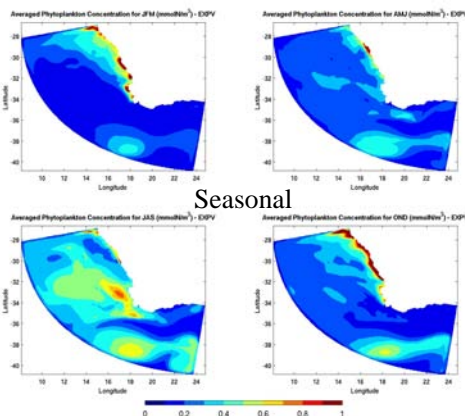
3. Impact de la résolution

- Impact contrasté dans le sud du Benguela / Banc des Aiguilles (BA): Production plus forte dans la zone de rétention de la baie de Saint-Hélène et le sud du Benguela en opposition à une production plus faible sur le BA

5. Distribution planctonique dans le sud Benguela



- Concentration **annuelle** de phytoplancton de surface simulée *a priori* sous-estimée
- Concentrations sur le BA mal représentées à cause d'un Courant des Aiguilles pas suffisamment réaliste



- A la variabilité des vents de la côte ouest est associée une **saisonnalité** de la distribution phytoplanctonique.
- Les flagellés assurent un gradient offshore plus diffus ainsi que la production hivernale dans le sud-est du gyre subtropical atlantique.

Conclusion

- Premiers résultats encourageants
- La prise en compte d'une spécificité minimale de l'upwelling assure une meilleure représentation de la distribution phytoplanctonique
- Faut-il, pour une dynamique donnée, appliquer l'assimilation de données directement sur des modèles biogéochimiques plus complexe?

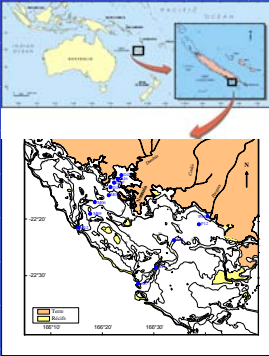
Impact du vent et des apports d'eau douce sur la biomasse phytoplanctonique du lagon de Nouméa (Nouvelle-Calédonie) en période estivale



C. Pinazo ⁽¹⁾, S. Bujan ⁽²⁾, P. Douillet ⁽³⁾, R. Fichez ⁽⁴⁾ et C. Grenz ⁽¹⁾

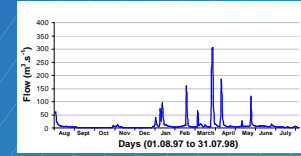
- Centre d'Océanologie de Marseille, Station Marine d'Endoume, rue de la Batterie des Lions, 13007 Marseille * Email : pinazo@com.univ-mrs.fr
- EPOC, avenue des facultés, 33405 Talence
- Institut de Recherche pour le Développement (IRD), BP A5 Nouméa, 98 848 Nouvelle Calédonie
- Institut de Recherche pour le Développement (IRD), Station Marine d'Endoume, rue de la Batterie des Lions, 13007 Marseille

Site d'étude



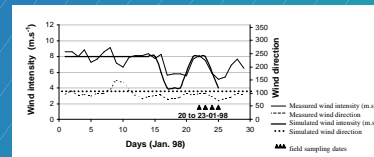
La zone d'étude correspond au lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie, considéré comme le plus grand lagon du monde avec une superficie de 2066 km². Il est délimité par la côte d'une part et d'autre part par le récif barrière entre la passe Mato au sud et la passe Utiot au nord. La bathymétrie du lagon est très hétérogène en fonction des zones : îlots récifaux, récif barrière, plaines sédimentaires ou profonds canyons connectés aux passes. La profondeur moyenne est de 20 m et le canyon le plus profond atteint 60 m. Le lagon fait l'objet d'importants apports océaniques par la partie sud du lagon, largement ouverte sur l'océan Pacifique, ainsi qu'au niveau des passes situées le long du récif barrière. L'éclairement moyen varie entre 1000 et 2700 J/cm² et la température de l'air entre 20°C en août et 28°C en février.

Apports des rivières



Le lagon sud-ouest est influencé principalement par les apports de 3 rivières : La Dumbéa, La Coulée et les Pirogues. La Nouvelle-Calédonie est soumise à des conditions météorologiques tropicales ou subtropicales. Les débits des rivières sont généralement faibles, avec une valeur annuelle moyenne de 5 m³/s pour la Dumbéa, pouvant augmenter jusqu'à plus de 300 m³/s lors du passage de dépressions tropicales. Nous nous sommes intéressés à la première crue de janvier 1998 d'un débit de 100 m³/s.

Météorologie et forçage hydrodynamique

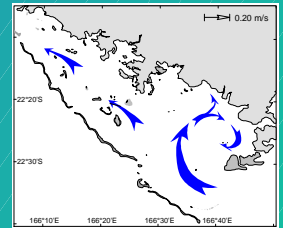


Le lagon est soumis à 2 principaux régimes de vents : les alizés et le vent d'ouest. Les alizés soufflent du sud-est (60-160°) à des vitesses supérieures à 4 m/s pendant 69% de l'année (250 jours). Le vent d'ouest (220-300°) souffle à des vitesses supérieures à 2 m/s moins de 12% de l'année. Le mois de janvier 1998 est caractérisé par un vent d'alizés de 8 m/s se maintenant près d'un mois, avec un petit faiblissement à 6m/s (en trait fin sur la figure).

La circulation hydrodynamique est simulée par le modèle hydrodynamique implanté sur la zone par Douillet et al. (2001). Pour ce travail, 8 situations typologiques de vent ont été simulées à l'état stationnaire pour des vents d'alizés du sud-est et d'ouest, à 4 vitesses différentes (4, 8, 10 et 12 m/s).

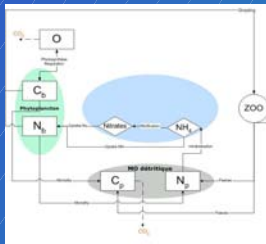
Le forçage hydrodynamique utilisé pour la modélisation biogéochimique reproduit l'évolution temporelle de l'intensité du vent mesurée pendant la période de janvier 1998 (en trait gras sur la figure) pour un vent d'alizés de direction constante (110°).

A droite, la circulation de fond pour un vent d'alizés de 8 m/s (Douillet comm. pers.).



Modèle biogéochimique couplé

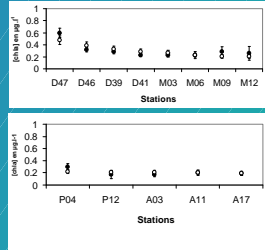
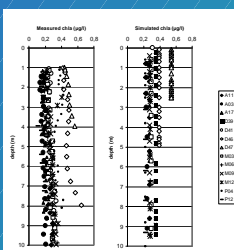
Le modèle biogéochimique utilisé est un modèle décrivant les cycles de l'azote et du carbone avec une stoechiométrie variable au sein de chaque compartiment. Torréton et al. (1997) ont montré que le phosphore n'est pas l'élément limitant dans cette zone, ce qui ne cesse d'être confirmé par les mesures en cours. Ce modèle dérive d'un modèle initialement développé, calibré et validé en zone tempérée (Pinazo et al., 1996 ; 2001) qui a été adapté à l'écosystème oligotrophe tropical du lagon. Il comporte 7 variables d'état réparties dans 3 catégories : les éléments dissous (les nutriments : ammonium et nitrate, et l'oxygène), les particules organiques détritiques (carbone et azote) et la biomasse phytoplanctonique (carbone et azote). La paramétrisation du modèle a été adaptée aux conditions tropicales, en distinguant pour le phytoplancton, le comportement du picophytoplancton et du nanophytoplancton notamment pour le broyage et la chute.



Comparaison avec les mesures

La figure de gauche présente la distribution verticale de la chlorophyllé-a dérivée des mesures de fluorimétrie, comparée à la distribution verticale de la chlorophyllé-a simulée aux mêmes stations. Ces distributions démontrent l'homogénéité verticale caractérisant les 10 premiers mètres de profondeur dans le lagon et valide les résultats du modèle. Cette homogénéité nous permet de considérer que le niveau 3 m est représentatif de la concentration de chlorophyllé-a du lagon.

La figure de droite présente la concentration de chlorophyllé-a mesurée à 3 m le long de deux transects côte-récif à 3 m aux mêmes stations. Un fort gradient décroissant peut être observé de la côte jusqu'au milieu du lagon, avec un petit accroissement vers le récif barrière. Les plus faibles valeurs des stations du transect sud (stations P et A) confirment l'influence de l'entrée d'eau oligotrophe par le sud lors des événements d'alizés.

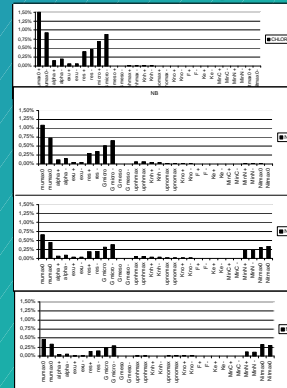


Sensibilité du modèle biogéochimique

La sensibilité du modèle biogéochimique à ses paramètres a été étudiée par une série de tests de sensibilité. L'Index de Sensibilité (IS) utilisé est celui de Chapelle et al. (2000). Chaque paramètre du modèle est modifié de +/- 10% et le résultat de chaque simulation est analysé grâce à l'index IS%.

$$IS\% = \left(\frac{100}{p} \right) \times \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_i - X_i^{ref}}{X_i^{ref}} \right|$$

p est le % de variation du paramètre (10%)
 X_i est la nouvelle valeur de la variable après modification
 X_i^{ref} est la valeur de la variable pour la simulation de référence de janvier 1998
 n = nombre de comparaisons :
 nombre de points de grille x nombre de jours de simulation (n=50975)

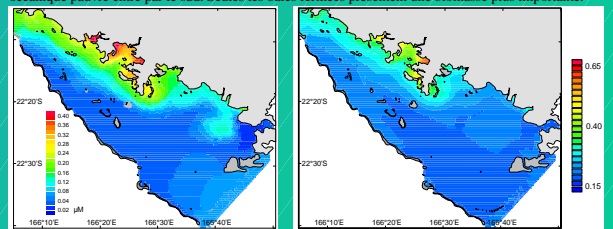


En divisant par p , le résultat de IS% donne le % de variation de la variable par % de variation du paramètre étudié.

La figure montre les résultats des tests pour 4 variables d'état : chlorophyllé-a (C:Chl-50), azote phytoplanctonique, ammonium et nitrate. Les variations des autres variables d'état sont <0.1%. Le phytoplancton et les nutriments sont les compartiments les plus sensibles avec un IS% max de 1.5% pour la chlorophyllé-a. Cette valeur permet d'estimer l'erreur sur les concentrations de chlorophyllé-a simulées. Elle est du même ordre de grandeur que l'erreur sur les concentrations de chlorophyllé-a mesurées. Finalement, seuls la chlorophyllé-a et les nutriments sont modifiés de plus de 0.1% respectivement par 4 et 5 paramètres.

Cartes de concentrations simulées

La figure de gauche présente la carte de la concentration d'ammonium à 3 m simulée après 22 jours. Le panache de la Dumbéa bien visible s'étend le long de la côte vers le nord. Les panaches de la Coulée et des Pirogues sont dilués par l'eau océanique et entraînés par le gyre situé devant les Pirogues. La figure de droite présente la concentration de chlorophyllé-a simulée à 3 m après 22 jours. L'eau océanique pauvre entre par le sud. Seules les baies fermées présentent une biomasse plus importante.



Références bibliographiques :

- Chapelle A, Menzies D, Donato P, J.M. Sarda, P. Mounier N, Vaquer A, Millot B (2000) Modelling nitrogen, primary production and oxygen in a Mediterranean lagoon. Impact of oxygen forcing and inputs from the watershed. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 51: 161-181
- Douillet P, Daillet S, Couffé E (2001) A numerical model for fine suspended sediments transport in the south-west lagoon of New Caledonia. *Coastal Research* 20: 363-372
- Pinazo C, Marañón F, Millot B, Torréton C, Krause-Jensen V, Vidal B (2001) Phytoplankton variability in response to the northwestern Mediterranean: modelling of the wind and freshwater impacts. *J. Great Lakes Res.* 27: 144-161
- Pinazo C, Marañón F, Millot B, Torréton C, Vidal B (1996) Spatial and temporal variability of phytoplankton biomass in upwelling areas of the northwestern Mediterranean: a coupled physical and biogeochemical modelling approach. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 43: 161-178
- Torréton C, Pajon E, Hara E, Talbot V, Fouillet S, Flichez R (1997) «Amphiphilic on nitrate lagoons» Crique-Ronde, sub-croquis CYRDET N° 64 T06. Centre Océanographique de Talon, P. Doc. 1997

Conclusions

La dynamique phytoplanctonique du lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie est fortement influencée par les apports des rivières (principalement la Dumbéa) et par la circulation induite par les vents. Dans des conditions de vent d'alizés, ceci se traduit par un important apport d'eau océanique pauvre en nutriments et en biomasse phytoplanctonique entrant par la frontière sud. Les données *in situ* obtenues pendant l'été (janvier) 1998 sous des conditions d'alizés confirment l'homogénéité verticale du lagon, les gradients de concentrations simulés selon plusieurs transects côte-récif et permettent une validation du modèle biogéochimique couplé implanté sur le lagon de Nouméa. Une analyse de sensibilité du modèle à ses paramètres montre qu'une modification des paramètres biogéochimiques n'affecte pas fortement les résultats du modèle. Les apports des rivières simulés correspondent aux débits réalistes de la saison des pluies de 1997-1998. Malgré les apports ponctuels reproduits pendant la simulation réaliste, aucun « bloom » n'a réellement pu être identifié. La dispersion hydrodynamique, les faibles temps de résidence et la consommation rapide des nutriments ont limité spatialement les zones d'enrichissement aux baies confinées, tout en maintenant des conditions oligotrophes sur le reste du lagon.

Open boundary condition and embedded ocean model method



Sylvain Cailleau, Bernard Barnier, Jérôme Chanut, Jean-Marc Molines (MEOM team of LEGI)

- LEGI, B.P. 53X - 38041 Grenoble Cedex 09 - France

(E.mail : sylvain.cailleau@hmg.inpg.fr)

Eric Blayo, Veronika Fedorenko, Laurent Debreu (EDP team of LMC)

- LMC, B.P. 53X - 38041 Grenoble Cedex - FRANCE

Buffer zone & radiative open boundary condition

Principle of a restoring zone

Idea : closed boundary with an adjacent restoring/damping zone to:
 => limit energy reflection and boundary driven recirculations
 => relax water properties to given values.

Method : Definition of an area along the boundary where T & S fields will be relaxed to a climatology.

$$\begin{cases} f = u, v, T \text{ or } S \text{ fields} \\ g = 1/t = \text{relaxation coefficient} \\ t = \text{relaxation time} \\ f_0 = T_0 \text{ or } S_0 = \text{climatological values for } T \text{ or } S \\ \text{Increased viscosity along the boundary} \end{cases} \quad \frac{\partial f}{\partial t} = \dots - g(f - f_0)$$

Evolution equation of f Newtonian damping term

large value of t => weak damping / small value of t => strong damping

Principle of an active radiation open boundary condition

Idea : Transparent boundary allowing:

- Perturbations created inside the domain to leave it without an impact on the inner model solution (outflow condition).
- Introduction of useful outer information to propagate inside the domain (inflow condition).

Method : → Outgoing perturbations <=> treated as waves
 → Influence of the outside simulated by a relaxation of u, v, T & S to their observed values.

$$\begin{cases} f = u, v, T \text{ or } S \\ g = 1/t = \text{relaxation coefficient} \\ t = \text{relaxation time} \\ f_0 = u_0, v_0, T_0 \text{ or } S_0 = \text{climatological } u, v, T \text{ or } S \\ c_n, c_t = \text{local normal and tangential phase speed.} \end{cases} \quad \frac{\partial f}{\partial t} + c_n \frac{\partial f}{\partial x} + c_t \frac{\partial f}{\partial y} = -g(f - f_0)$$

Term of radiation damping term

We impose : $c_n = 0$
 (Barnier et al., 1993)
 (Marchesio et al., 2001)

$$c_n = -\frac{\partial f}{\partial x} \quad c_t = -\frac{\partial f}{\partial y}$$

→ If $c_n < 0$ (outflow) => $t = t_{out}$
 → If $c_n > 0$ (inflow) => $t = t_{in}$
 and $c_t = 0$

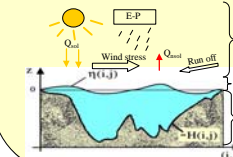
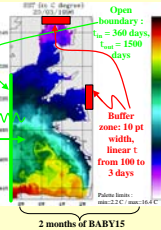
large t => weak relaxation / small t => strong relaxation

Application

1/15° Bay of Biscay model BABY15, with two restoring zones in Irish Sea and in English Channel, and radiation open boundary conditions at west of the domain.

BABY15 configuration

- Numerical PE ocean circulation code OPA 8.2 (Madec et al., 1998).
- Domain : (9°W - 0.5°W) x (43.3°N - 55°N)
- 1/15° horizontal resolution (MERCATOR grid)
- 43 vertical levels.
- S & T initial condition : January 1996 T & S mean from the 1/6° CLIPPER Atlantic ATL6 model.
- 2 restoring zones (red areas).
- 1 active open boundary condition at western end of the domain. Restoring over a 10 points wide area of u, v, T & S to their monthly or daily values obtained from the ATL6 model output between 1996 to 1998.



References

Barnier B., Marchesio P., De Miranda A.P., Molines J.M., Coudry M., 1998 : "A sigma-coordinate primitive equation model for studying the circulation in the South Atlantic". *Deep-Sea Research*, 45 : pp 545-572.

Debreu Laurent, 2000 : "Raffinement adaptatif du maillage et méthodes de zones, application aux modèles de 'océan'". Thèse à l'Université Joseph Fourier-Grenoble II.

La Cana R. and Pingree R., 1995 : "Circulation dans le Golfe de Gascogne : une revue des travaux récents". In : O. Candore and I. Oso, (eds) : *Actes du IV Colloque International sobre Oceanografia del Golfo de Vizcaya*, pp217-224.

La Cana R. et Pingree R., 1996 : "Structure, strength and seasonality of the slope currents in the Bay of Biscay region". *J. mar. Res.*, 54, (1-2), pp 87-885.

La Cana R. et Pingree R., 1992 : "Three Anticyclonic Slope Water Oases (SWOODES) in the Southern Bay of Biscay region in 1990". *Deep-Sea Research*, 39 : pp1147-1175.

La Cana R. et Pingree R., 1992 : "Anticyclonic Eddy XN1 in the Southern Bay of Biscay, May 1991 to February 1992". *Journal of Geophysical Research*, 97 : pp 14323-14347.

Orlandi L., 1978 : "A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flow". *J. Comput. Phys.*, 21, pp251-269.

Project CLIPPER : *Rapports Scientifiques et Techniques*, 1997, 2001.

Raymond X.R. and Kao H.L., 1984 : "A radiation boundary condition for circulation model". *J. Hydraul. Eng.*, 111, pp227-252.

Reynaud T., Legrand P., Mercier H. and Barnier B., 1998 : "A new analysis of hydrographic data in the Atlantic and its application to an inverse modelling study". *International WOCE Newsletter*, Number 32, 29-31.

Smith W.E.F. and Sandwell D.T., 1997 : "Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings". *Science*, 277, 1956-1962.

Talbot C., Tropea A., 2002 : "Les frontières océaniques et la surface libre dans OPA". *Rapport DRACLIPPER 02-15*.

Tropea A.M., Barnier B., De Miranda A.P., Molines J.M., Grima N., Inghed M., Mader C., Mosquet C., Reynaud T. and Michel N., 2001 : "An eddy-permitting model of the Atlantic circulation : Evaluating open boundary conditions". *Journal of Geophysical Research*, 106 : pp 22115-22128.

Introduction

The high resolution in ocean modelling becomes more and more important to study fine structures such as instabilities along jets or dynamic in coastal areas. Thus, there is a need to set up high resolution regional models in many areas of the world ocean. But the solutions provided by these regional models are strongly dependent on the open sea boundary conditions they use.

The present work is an attempt to validate possible boundary conditions to be used for multiple year integration of regional models.

First results

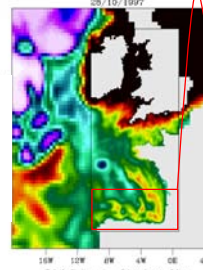
Results from refined NATL3 (Two Way simulation:1996-98) : Birth, evolution of mesoscale eddies and their feature, in the Bay of Biscay

Bathymetry and circulation of the Bay of Biscay (Le Cann & Pingree 1995)

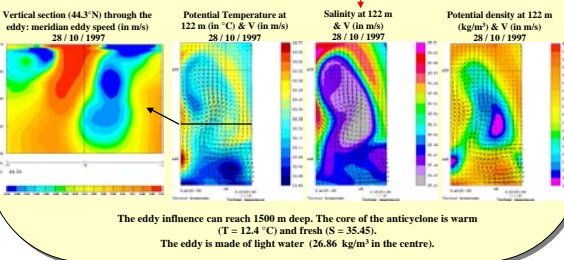
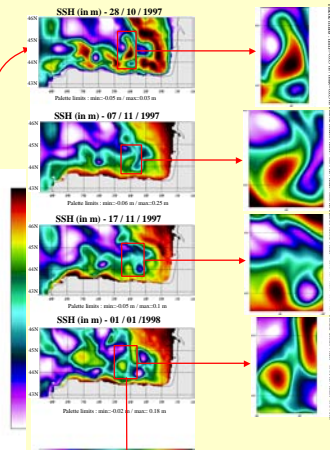


These anticyclonic lenses do not have a favoured drift direction within the Bay of Biscay.

They may move west, stay nearby a canyon, stay in place, and some may even move south.



The mean slope current flows along the shelf break becomes unstable, likely due to topographic accidents. The jet leaves the continental slope and develops eddy structures : a large anticyclone and two smaller cyclones.



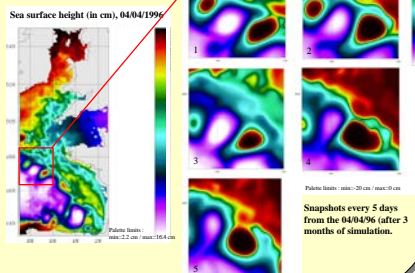
Results from BABY15 alone with open boundary condition (six months simulation in 1996).

In this configuration, the slope current appears to be very strong compared to the refined AGRIF configuration. Strong eddies are generated in the slope current along the shelf and flow to the north west, and leave the domain through the open boundary.

Here, the strength of the slope current depends on the inflow boundary condition at the western limit, which is prescribed here from the ATL6 (Atlantic 1/6°) experiment.

For the outflow condition, the relaxation at the boundary tends to damp the outgoing eddies.

Comparison with the embedded AGRIF solution will require to take the inflow boundary condition from the NATL3 experiment.



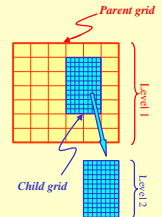
Embedded ocean model

Principle

Idea : Local increase of the model resolution. Possibility to refine to several grid levels with the AGRIF package : Adaptive Grid Refinement In Fortran (L. Debreu, 2001).

Methods : → One Way : linear interpolation of a parent grid solutions on a child grid boundary, at each time step => no interaction between the 2 grids : the parent grid only gives information to the child grid.

→ Two Way : One Way + update (mean of nearest points) of the child grid solutions on the parent grid => interaction



Application

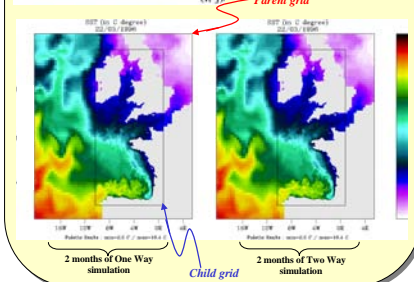
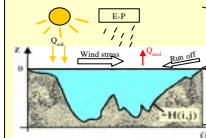
1/15° Refinement of 1/3° North Atlantic CLIPPER model NATL3 on the BABY15 area with AGRIF

NATL3 configuration

- Numerical code : OPA 8.1 (rigid lid)
- Domain : (98.5°W - 15°E) x (17°S - 70°N)
- 1/3° horizontal resolution (MERCATOR grid)
- 43 vertical levels
- initial condition : mean of January 1996 for T & S fields from ATL6 .
- 3 buffer zones: adjacent to the Southern boundary to the northern boundary (bay of Baffin & Nordic seas) and at the strait of Gibraltar.



Gradual transition in viscosity and diffusivity between the 2 grids (applied over 10 points of the fine grid).



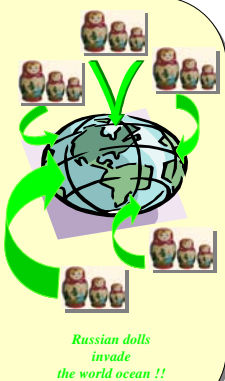
Conclusion

A regional model with active radiation open boundary condition is quickly set up. However, the control of inflow condition in several years long experiment remains a problem.

This problem can be more easily solved with a local refinement of a coarser model with AGRIF. In a long run, the two-way coupling should improve both the coarse and fine grid models.

Future projects foresee to set-up a global ocean model with several local zooms (the DRAKKAR project, 2003).

Other methods are being developed at LMC team and will be validated by the LEGI team. These methods should allow an interactive coupling of models with different physics and parameterisation.



Russian dolls invade the world ocean !!

Dans le Golfe du Lion: SARHYGOL, SARHYM et GOLTS

A. Petrenko, Y. Leredde, J. L. Devenon, J.L Fuda, G. Rougier
LOB, COM, Marseille

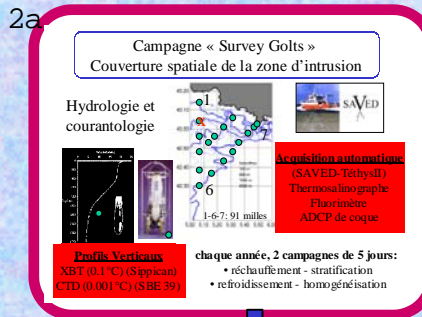
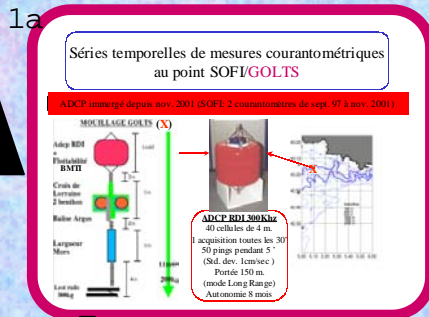
GOLTS = Gulf Of Lion Time Series

Programme PATOM en 2002 et 2003

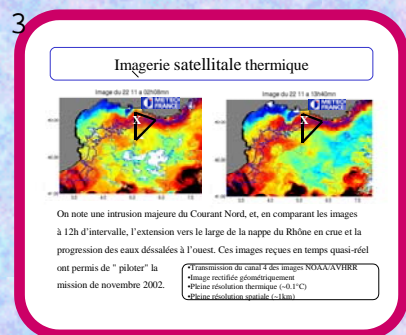
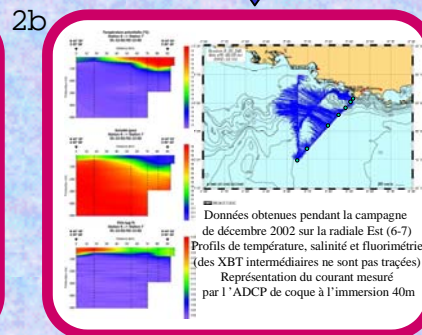
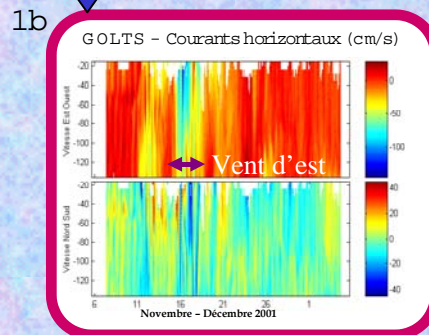
3 volets:

- 1) ADCP Golts; séries temporelles en 1 point fixe
- 2) Campagne « Survey Golts »; ADCP de coque, CTDs, XBTs
- 3) Archive d'images AVHRR

Laboratoires (voir liste détaillée SARHYM, ci-dessous)



Buts: quantifier les intrusions du CN; déterminer les mécanismes générateurs



SARHYM = Suivi Automatique Régulier de l'HYdrologie du Golfe du Lion et Modélisation

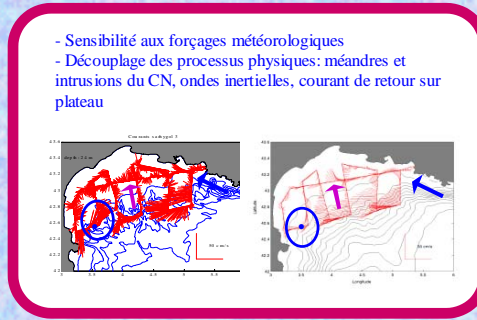
Programme PATOM en 2001

Modèle Symphonie [Estournel et al., 1998]

- Modèle d'Océan côtier - Symphonie - adapté au Golfe du Lion
- Surface libre (ondes de gravité externes)
- Coordonnées σ Généralisées (zones à fort gradient bathymétrique)
- Résolution spatiale ($\Delta x = \Delta y = 3$ km), temporelle ($\Delta t = 3$ mn)
- Forçages
 - Flux radiatifs et champs de vents: Modèle Aladin (Météo - France)
 - Apports d'eau dessalée par le Rhône et autres petits fleuves

Simulation du 25/05/00 au 15/06/00

3 semaines Sarhygol 3



Laboratoires impliqués:

COM Marseille,
NSU La Seyne,
SAVED*,
LA Toulouse
(C. Estournel
et P. Marsaleix)

* <http://www.saved.free.fr/catalogue>

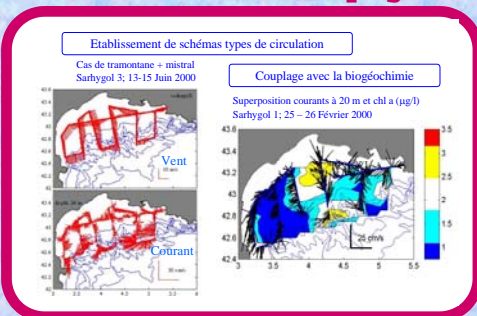
SARHYGOL = Suivi Automatique Régulier de l'HYdrologie du Golfe du Lion

Programme PNEC
5 campagnes en 2000 ;
5 campagnes en 2001

SARHYGOL: Suivi Automatique Régulier de l'HYdrologie du Golfe du Lion

Continu 8-248 m; ADCP surface: T S Fluo		Discret 0-800 m; XBTs surface: chl sels nutritifs seston Rrs pCO2
---	--	---

Couverture quasi-synoptique (48 heures)



Laboratoires impliqués:

COM Marseille,
INSU La Seyne, SAVED
LA Toulouse
LSEET Toulon
LOA Lille
CEFREM Perpignan

2002 - 2003

2001

2000 - 2001

Publications

Dufau-Julliard C., P. Marsaleix, A. Petrenko, I. Dekeyser, Winter hydrodynamical 3-D modelling in the Gulf of Lion, North Western Mediterranean: Dense water formation over the continental shelf during January 1999 (MOOGLI 3 Experiment) and late winter, *J. Geophys. Res.*, submitted, 2002.
Ouilleon, S., A. Petrenko, P.-Y. Deschamps, J. Gaggelli, N. Garcia, and P. Rimmelin, Above-water measurements of reflectance in the Gulf of Lions, in *ERIM*, Miami, USA, 2002.
Petrenko, A., Circulation features in the Gulf of Lions, NW Mediterranean Sea; importance of inertial currents, *Oceanol. Acta*, N° special PNEC-Golfe du Lion, in press, 2003.
Petrenko, A., G. Coustillier, P. Raimbault, and C. Grenz, Physical forcings on plankton productivity in the Gulf of Lions, *ASLO*, Copenhagen, 2000.



Remerciements aux capitaines et équipages du Téthys II, et à tous les participants des campagnes SARHYGOL et GOLTS:

- LOB, COM, Marseille : Atay A., Buc V., Busdraghi F., Diaz F., Decap M., Destuynder V., Garcia N., Ghier E., Hamad N., Leredde Y., Penard C., Petrenko A., Reverdi G., Rimmelin P., Rougier G., Tessier C.
- COM, Marseille : Devenon J.L., Benoussan N., Fuda J.L.
- SAVED, La Seyne: Theveny P.M.
- LSEET, Toulon : Gaggelli J., Ouillon S., Reffray G.
- CEFREM, Perpignan : Goyet C., Guarracino M.
- LA, Toulouse : Julliard C.

Drevard D.1, Grilli. S.T.², Biauasser B. ^{1,3}, Fraunié P.¹, Rey V. ¹
¹LSEET, Université de Toulon et du Var, La Garde, France, drevard@lseet.univ-tln.fr
²University of Rhode Island, Narranganset, RI, USA
³PRINCIPIA R.D., La Ciotat, France

The study of breaking waves and of water motion beyond breaking is of great importance in studies of the damaging effects of waves on coastal structures. Here, we are more particularly interested in the run-up of breaking waves on sloping beaches. To do so, we perform numerical simulations of solitary waves shoaling and breaking over sloping beaches.

Models

BIEM (Boundary Integral Equation Method) solving:

Fully nonlinear potential flow equations

Shoaling



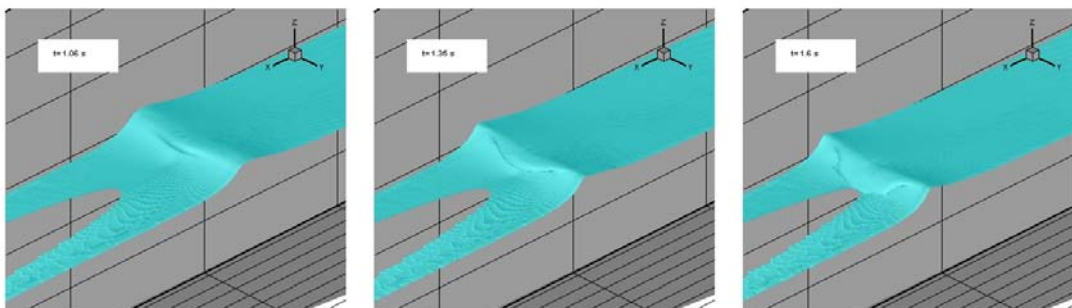
Part of overturning

VOF (Volume of fluid) solving:

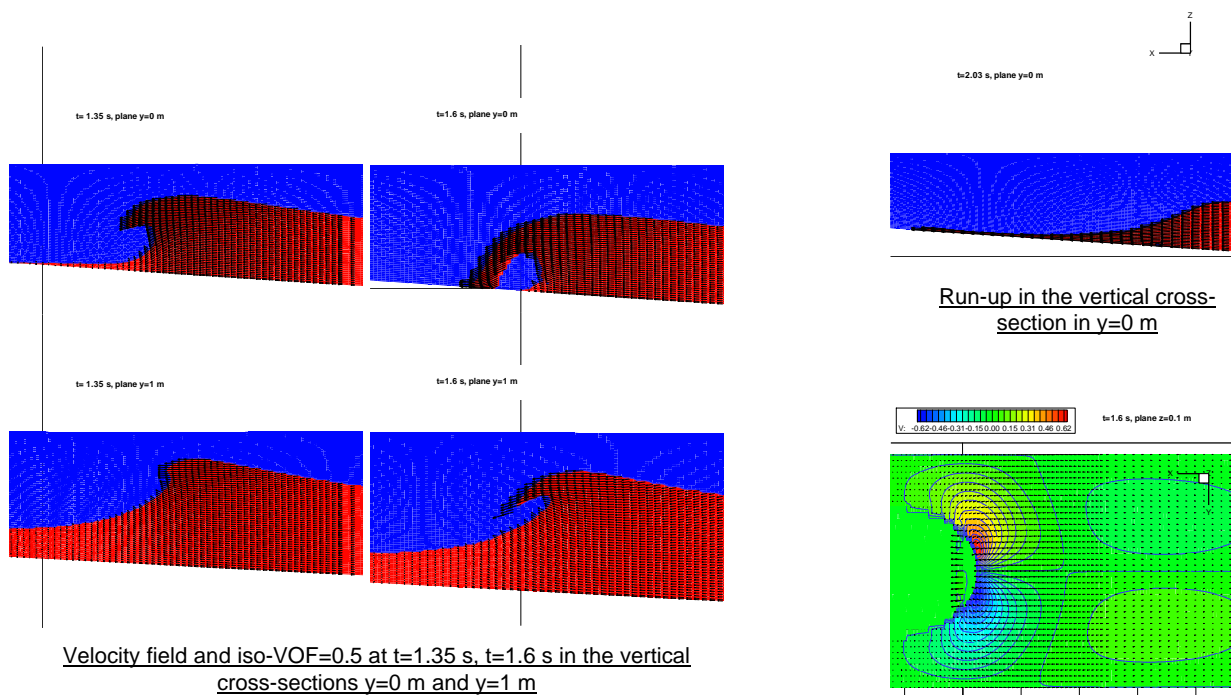
Navier-Stokes (NS) equations in both fluids. The NS equations are solved with a pseudo-compressibility method.

End of overturning → Breaking → Post-Breaking

Run-up



Breaking of a solitary wave with $H_0/h_0=0.6$, over a 1:15 slope



Velocity field and iso-VOF=0.5 at $t=1.35$ s, $t=1.6$ s in the vertical cross-sections $y=0$ m and $y=1$ m

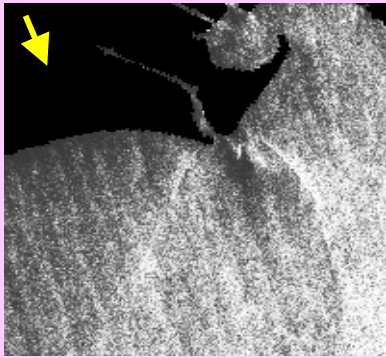
Run-up in the vertical cross-section in $y=0$ m

Transversal variation of velocity ($z=0.1$ m)

References:

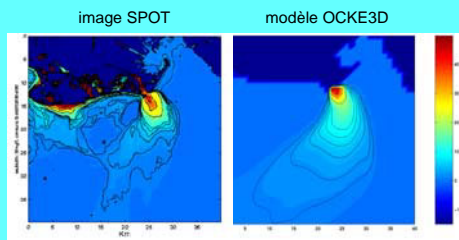
- Biauasser, B., Guignard, S., Marcer, R., Fraunié, P. (2002). "3-D two-phase flows numerical simulations by SL-VOF method", *submitted to Int. Jour. For Num. Meth. In Fluids*.
- Grilli, S.T., Guyenne, P. & Dias, F. (2001). "A fully nonlinear model for three-dimensional overturning waves over arbitrary bottom," *Intl J. Numer. Meth. Fluids*, Vol 35, No 1, pp 829-867.
- Guignard, S., Marcer, R., Rey, V., Kharif, Ch. & Fraunié, P. (2001). "Solitary wave breaking on sloping beaches: 2D two-phase flow numerical simulation by SL-VOF method". *Eur. J. Mech.*

INSTRUMENTS/SATELLITES & GRANDEURS ATTEINTES				VOCATION		USAGE DANS LES MODELES			
		résolution revisite (valeurs typiques)		monitoring	ponctuel	forçage	CAL/VAL	assimilation (in fine)	processus, traçage
couleur de la mer haute résolution	SPOT, Landsat	20 m	≥ 2 j						
couleur de la mer basse à moyenne résolution	SeaWiFS, MODIS, MERIS	1 km - 300m	1 j						
température de surface	AVHRR	1 km	1 j						
vent vectoriel	ERS, QuikSCAT ADEOS	20 km	< 1j						
vagues, vent, nappes, fronts	imagerie radar : ERS, RADARSAT, ASAR	30 m	3 j	mode vagues				mode vagues	
courants de surface	radars à onde de sol : CODAR, Cosmer, WERA	1 km	30 mn						



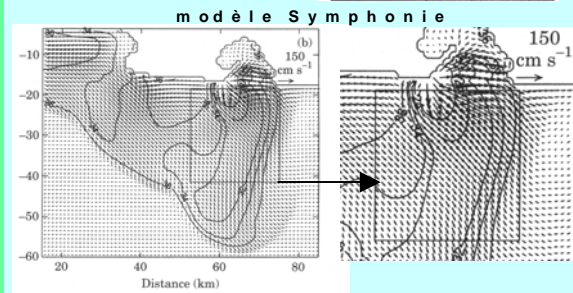
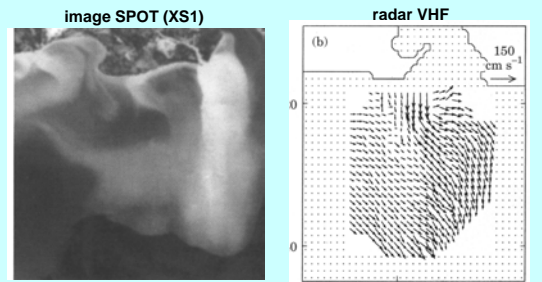
Signatures du panache du Rhône et du Mistral sur une image SAR

L'imagerie radar, dont une vocation première est la mesure du spectre de la houle, est une technique performante pour la détection de phénomènes météo-marins de petite échelle comme la distribution spatiale du vent, les fronts, les nappes, les ondes internes et autres structures dynamiques. Cependant, le temps de revisite, très supérieur à la variabilité des phénomènes, est un inconvénient pour une utilisation en modélisation opérationnelle.



Champ de concentration de MES par inversion d'image dans le visible et par modélisation

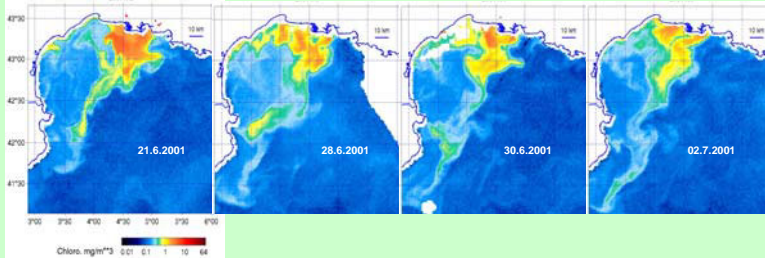
Une image visible haute résolution peut être convertie en champ de MES pour, par exemple, calibrer un modèle de transport. Cela présente un certain coût: nécessité de mesures sur le terrain, achat d'images. L'imagerie à moyenne résolution MERIS (300m au lieu de 20m pour SPOT) offre une solution plus économique, mais pour un produit qui reste à valider dans des cas de forte concentration et/ou de situation biogéochimique complexe comme, ici, le Rhône.



Comparaison des courants simulés par Symphonie, de ceux mesurés par radar et de la turbidité SPOT

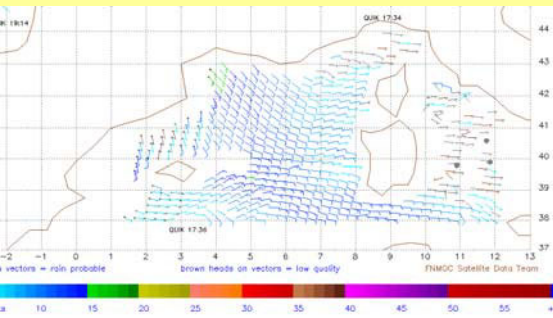
Estournel et al., Estuarine and Shelf Science, 2001

Exemple d'étude du panache du Rhône combinant la modélisation et deux techniques de télédétection. On note que le modèle capte mal les gradients au niveau des fronts du panache. Il a été, depuis, amélioré de ce point de vue.



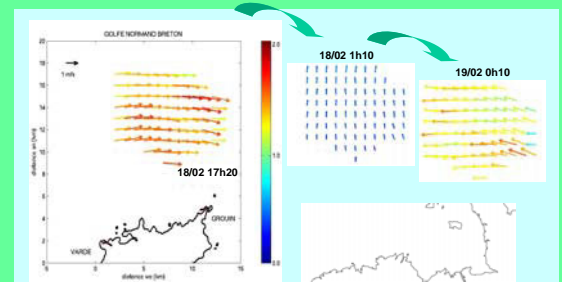
Images SeaWiFS de chlorophylle : traçage du courant Nord en Méditerranée Occidentale

Ces images illustrent un usage de la basse résolution dans le visible pour capter, par traçage, des structures dynamiques. L'imagerie SST présente un intérêt analogue. Des exercices d'assimilation de la donnée de chlorophylle dans des modèles physiques/biologiques ont déjà été réalisés (Journal of Marine Systems, numéro spécial 40-41, 2003). Le capteur MERIS de ENVISAT présente les avantages sur SeaWiFS d'une résolution meilleure (300m au lieu de 1km) et de produits plus nombreux (chlorophylle, MES et substance jaune) caractéristiques du côtier.



Vent QuikSCAT-ERS le 25 avril 2003 16-19h

Les champs de vent vectoriel semblables à celui-ci peuvent être obtenus en temps quasi-réel, pour de nombreuses régions dans le monde, sur le site de la Navy: www.fnoc.navy.mil. Le dispositif diffusiométrique a été enrichi par le lancement récent de ADEOS II (muni de SeaWinds, le même instrument que sur QuikSCAT). Plus tard, le radiomètre polarimétrique Windsat devrait compléter ce dispositif.

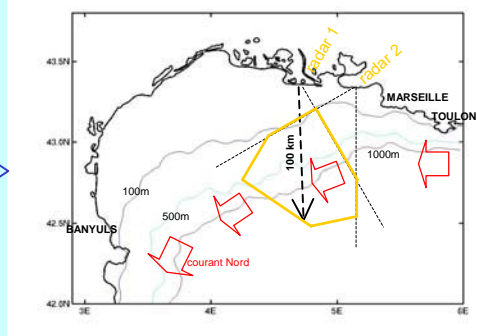


Reverse des courants de marée observée par radar VHF

La mise en œuvre routinière de radars à onde de sol pour la mesure des courants de surface est au centre de projets nationaux d'océanographie opérationnelle (e.g. USA, UK). Ces mesures, qui ne se substituent pas à la modélisation, de plus grande emprise, sont essentielles pour la prévention des risques (pollution, accident, routage...). Elles se prêtent à une utilisation dans les modèles par des techniques d'assimilation (ex. projet MAST EUROROSE).

Perspectives du LSEET en radar sol

- observation en continu de la circulation de surface dans le Golfe du Lion (partie Ouest) par radars HF longue portée WERA : LSEET
- validation du modèle emboîté haute résolution (modèle local) de Ifremer dans la rade de Toulon (juin 2002, radar Cosmer) : Ifremer, LSEET
- interactions vagues - courants par très fort courant (golfe normand-breton, 2003, radar Cosmer) : SHOM, LSEET



A ONE YEAR 3D OCEANIC SIMULATION IN THE NORTH-EAST ATLANTIC: APPLICATION TO HEAT BUDGETS AND SUBDUCTION DURING THE POMME EXPERIMENT

Hervé Giordani, Guy Caniaux, Louis Prieur and Alexandre Paci
 Météo-France / CNRM / GMGEC / MEMO
 42, Av. G. Coriolis 31057 Toulouse Cedex
 Corresponding author: herve.giordani@meteo.fr
 Tel: 33(5)-61-07-93-81. Fax: 33(5)-61-07-96-10

Introduction and Methodology

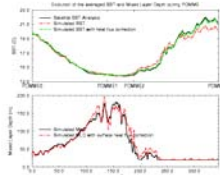
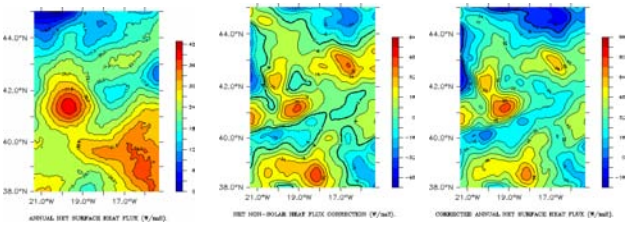
A simplified 3D oceanic model derived from 1D turbulent mixing model (Gaspar et al., 1990) was built in order to evaluate separately the impacts of the different physical processes on the oceanic mixed layer (OML) heat budget and particularly on the subduction rates in the Northeastern Atlantic during the POMME experiment (September 2000 – September 2001).

The original feature of this model is that the geostrophic dynamics are prescribed from independent altimetric and analysis data. Consequently, the model develops an ageostrophic circulation around the prescribed geostrophic rail. The model is forced by daily surface heat and momentum fluxes derived from satellite data, model outputs and surface turbulent fluxes parameterization. This model is run from the hydrological networks collected during the POMME Experiment (NE Atlantic).

Two annual cycles (without and with surface fluxes corrections) were simulated between POMME0 (28/09/00) and POMME3 (04/09/01) including two restarts at POMME1 (13/02/01) and POMME2 (04/04/01).

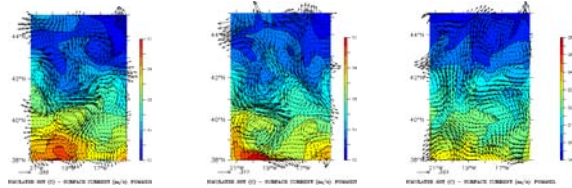
Results

Given that the non-solar net surface heat flux is known with large uncertainties, this component was corrected in order to improve the OML simulation. Daily satellite SST analysis were assimilated into the model to obtain corrections of the non-solar net surface heat flux. A nudging method was used to assimilate the data with a temporal relaxation of five days. Annual net heat budgets and corrections are presented below.

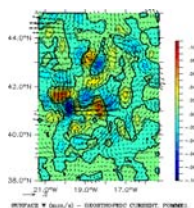


Scores of the model are improved when the satellite SSTs are assimilated. The technique used does not relax the simulated SSTs toward the observed ones but modifies the non-solar net surface heat flux in such a way to reduce the SST errors. Consequently, flux corrections include also the shortcomings of the model.

SST and surface current simulated at POMME1, POMME2 and POMME3 (see below) are realistic when compared to observed data. These results were obtained after 139, 50 and 155 simulated days and show that the model does not drift thanks to the geostrophic constraint.



The vertical velocity is inferred from the vorticity equation in order to obtain a good consistency between the vertical motion and the evolution of the geostrophic circulation.



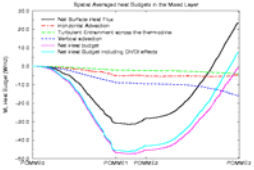
Structures of high intensities are found in the tracks of strong currents and changes of sign are located where the current changes curvature.

References

Qiu, B. and R. Xin Huang, 1995: Ventilation of the North Atlantic and North Pacific: Subduction versus Obduction. *J. Phys. Oceanogr.*, 25, 2374-2390.
 Gaspar, P., Y. Grégoris and J.M. Lefèvre, 1990: A simple eddy kinetic energy model for simulations of the oceanic vertical mixing: Tests at station Papa and long-term upper ocean study site. *J. Geophys. Res.*, 95,16,179-16,193.
 Caniaux, G. and S. Planton, 1998: A three-dimensional ocean mesoscale simulation using data from the SEMAPHORE experiment: Mixed layer heat budget. *J. Geophys. Res.*, 103, 25,081-25,099.

Mixed Layer Heat Budget

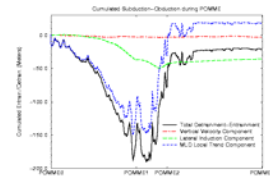
The components of the OML heat budget (Caniaux and Planton, 1998) are spatially averaged and cumulated from POMME0 to POMME3. The net heat budget has two distinct regimes. During POMME0-1, the net heat budget is negative and decreases continuously. During POMME1-3 it increases slightly up to POMME2 and strongly afterwards up to POMME3. At POMME3, the net heat budget is close to zero meaning that the OML did not have stock any amount of heat at the scale box.



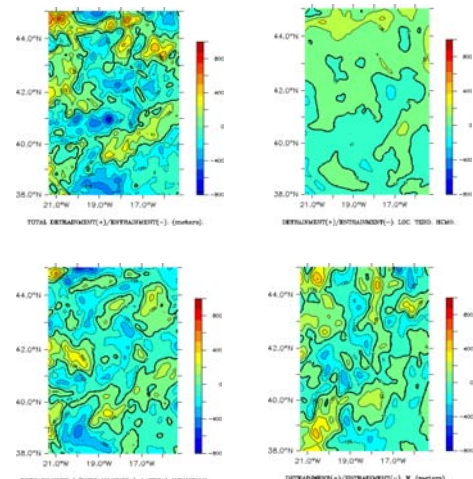
During the annual cycle, the net surface heat flux mainly drives the OML heat budget. Nevertheless the advection processes contribute significantly to the total heat budget specially the vertical advection.

Detrainment/Entrainment Rates

The detrainment (+)/entrainment (-) rates were calculated from Qiu and Xin Huang (1995), cumulated between POMME0 and POMME3 and averaged over the simulation domain. Entrainment prevails up to POMME1-2 and beyond detrainment is predominant up to POMME3. This behavior is explained by the local evolution of the mixed layer depth. This signal is modulated by the lateral induction process which always induces entrainment and forces the budget to be negative. No contribution of the vertical velocity is observed. Consequently, no subduction occurs during POMME at the box scale.



The total cumulated detrainment (+)/entrainment (-) and its components are spatialized at POMME3 (the end of the simulation) in order to locate the subduction (+) and obduction (-) areas (see figures below). Total subduction is prevailing in the north near the edges of the domain and along a band in the southeast. The contribution of local trend of the mixed layer depth to subduction is positive (shoaling) in the northern part and negative (deepening) in the southern part of the domain. This signal has synoptic features on which mesoscale structures superimpose when adding the lateral induction and the vertical velocity processes. Lateral induction is associated to horizontal advection of mixed layer depth and induces subduction i) in the northeast of the domain where a quasi permanent anticyclonic eddy drives the circulation and ii) in the southeast as shown in the budget. The vertical velocity includes the geostrophic adjustment associated to the evolution of the mesoscale structures, which is preponderant on the Ekman pumping, the tilting and the baroclinic processes even in frontal and eddy regions. Vertical velocity structures are highly correlated to the lateral induction ones with intensities of 200 meters of subducted water. Intensities generated by local trend of mixed layer depth are twice weaker that suggests that the mesoscale structures play a major role in the mode water subduction during the POMME experiment.



Mécanique des fluides hamiltonienne sur les marges continentales

G. Rouillet, LPO (MCF)

Objectifs

objectif principal

comprendre les transferts d'énergie entre

courants de pente → **ondes internes**
marée barotrope → **ondes internes**

par interaction avec la topographie

Séparation mode vortical / ondes de gravité

objectif intermédiaire

interaction vortical-vortical / topographie
 stabilité des courants de pente

Méthodologie

Théorie

Considérer les équations du point de vue du Lagrangien, il encode toute la physique

Extraire le mode vortical
désactiver les ondes de gravité
 → **balanced models**

Lagrangien shallow-water

$$L_{\text{sw}} = \iint d^2x \left(\frac{1}{2} h \mathbf{u}^2 + h \mathbf{u} \cdot \mathbf{R} - \frac{1}{2} g h^2 \right)$$

Lagrangien L1 (mode vortical)

$$L_1 = \iint d^2x \left(\frac{1}{2} h \mathbf{u}^2 + h \mathbf{u} \cdot \mathbf{R} - \frac{1}{2} g h^2 - \frac{1}{2} h (\mathbf{u} - \mathbf{u}^{\text{g}})^2 \right)$$

Cette approche garantit les lois de conservations

lois de conservations ↔ **symétries du Lagrangien**

Numérique

Implémenter numériquement les résultats théoriques en utilisant les méthodes de la **CFD compressible**

schéma de Godunov

intégration selon les caractéristiques (les ondes du système)

limiteur de flux

schéma TVD (maintient les fronts)

bibliothèque CLAWPACK

Résultats

Résultats théoriques

construction du modèle L2

retenir plus de physique vorticale que L1

modèle L1 : désactivation de $u-u_g$
 modèle L2 : désactivation de $u-(u_g+u_a)$

u_a étant la première composante agéostrophique du mode vortical

$$u_i^a = -\epsilon_{ij} u_k^g \partial_k u_j^g + \epsilon_{ji} \partial_i [1 - \nabla^2]^{-1} \left(\partial_l (h u_k^g \partial_k u_l^g) \right)$$

résultats très proches de Allen et Holm 1996
 le modèle est valable quelque soit Burger depuis le régime QG jusqu'au régime FG (frontal)

modèle L2*

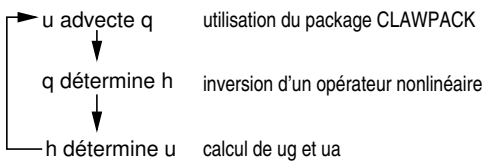
désactivation de $u-u_g$ et réactivation de u_a
 modèle intermédiaire entre L1 et L2

publication en cours
 collaboration avec J. Vanneste (Univ. of Edinburgh, UK)

Résultats numériques

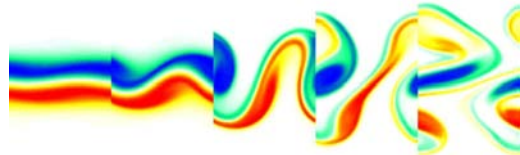
implémentation numérique de L2 (en cours de validation)

principe de base : inversion de la VP



destabilisation d'un jet barocline

2 couches
 régime QG
 modèle L2
 80x160 pts



évolution de la vp
 gradient de vp



collaboration avec M. Pavoc (thèse LPO)

Perspectives

valider L2 comparaisons avec Allen, Newberger et Holm 2002
 introduire la topographie
 tester le comportement en régime frontal
 tester L2*

Lagrangiens en domaine variable pour tenir compte de l'affleurement des couches
 excitation des coastal trapped waves

Références

- Allen et Holm, 1996 : Extended-geostrophic Hamiltonian models for rotating shallow water motion, *Physica D*, 98, 229–248
- Vanneste et Bokhove, 2002 : Dirac-bracket approach to nearly geostrophic hamiltonian balanced models, *Physica D*, 64, 152–167
- Allen, Holm et Newberger, 2002 : Toward an Extended-Geostrophic Euler-poincaré Model for Mesoscale Oceanographic Flow in Large-Scale Atmosphere-Ocean Dynamics, vol 1, Cambridge University Press
- CLAWPACK : LeVeque 2002
<http://www.amath.washington.edu/~claw/>



Ifremer



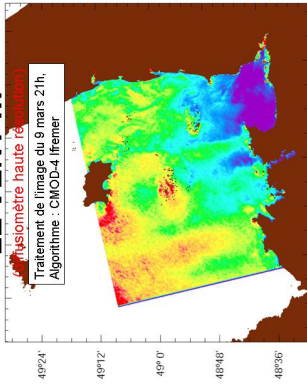
Fabrice Collard

Bertrand Chapron

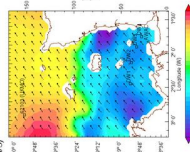
Fabrice Ardhuin

Le radar à synthèse d'ouverture (SAR), c'est ...

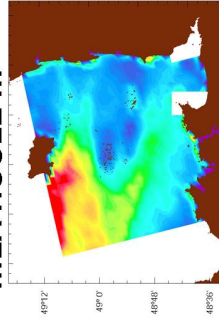
LE VENT ...



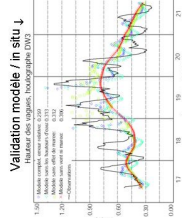
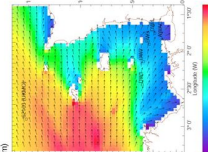
à comparer à la
prévision Aladin
(Météo-France):



...LA HOULE ...



à comparer au calcul
avec le modèle
Wavewatch III
(SHOM):

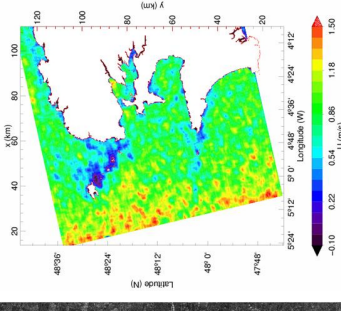


L'océan côtier vu par

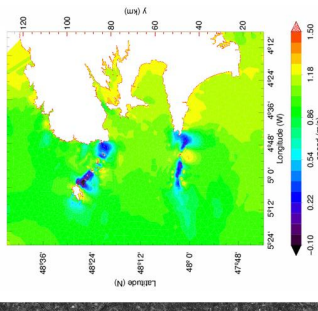
ASAR

...LES COURANTS...

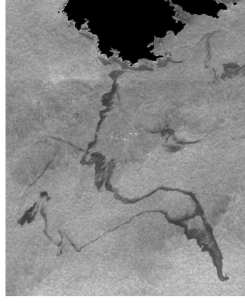
Traitement d'une image acquise en novembre 2002:
Courant de dérive en surface dans la direction de visée du satellite (range) obtenu par effet Doppler.
Algorithme : Ifremer / BOOST.



à comparer au modèle de
marée du SHOM:



... LA POLLUTION.



CONCLUSION:

Le SAR est un instrument unique par sa haute résolution, compatible avec les besoins de l'océanographie côtière. Il offre un complément très utile aux modèles numériques et à l'observation in-situ ponctuelle. Les futures plateformes, dont TerraSAR offriront une intermétrerie et donc des courants à haute résolution.

Image acquise le 9 mars 2003, par l'instrument ASAR sur le satellite Envisat, © Agence Spatiale Européenne, 2003

7.6. Annuaire des équipes de recherche

Equipe:

[Alexei SENTCHEV](#), Enseignant-Chercheur, alexei.sentchev@mren2.univ-littoral.fr

[Hubert LIOSEL](#), Enseignant-Chercheur, hubert.loisel@mren2.univ-littoral.fr

Université du Littoral – Côte d'Opale, Ecosystèmes Littoraux et Côtiers (ELICO), MREN, 62930 Wimereux.

[Philippe FORGET](#), Chercheur, CNRS, philippe.forget@lseet.univ-tn.fr

Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre (LSEET), BP 132, 83957 LA GARDE Cedex.

[Laurent SEURONT](#), Chercheur, CNRS, laurent.seuront@univ-lille1.fr

Ecosystèmes Littoraux et Côtiers (ELICO), Station Marine, 62930 Wimereux.

[Florent LYARD](#), Chercheur, CNRS, florent.lyard@cnes.fr

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiale (LEGOS), Toulouse.

Thème scientifique principal: Observation/Mesure. Modélisation/Couplages.

Résumé des activités: Développement de méthodes d'analyse des mesures radars de courants de surface. Validation des modèles numériques de circulation côtière en Manche orientale. Description des propriétés optiques des eaux côtières (Manche orientale et sud de la Mer du Nord) par des mesures in situ et par la télédétection de la couleur de l'eau. (PNEC – Chantier Manche orientale; ACI – "Observation de la Terre": Bloom de Phaeocystis).

- Utilisation conjuguée d'un modèle de marée, d'un modèle hydrodynamique de circulation côtière et d'un modèle du transport de type lagrangien. Application à la modélisation du transport des matières planctoniques en Manche orientale (PNEC – Chantier Manche orientale).

Participation au Séminaire: 3 (A. Sentchev, P. Gorget, F. Lyard)

Equipe: CMO/Systèmes Opérationnels de prévision océanographique

[Laurent KERLEGUER](#), Ingénieur, chef du CMO Toulouse, Email : kerleguer@cmo-tlse.shom.fr

[Didier JOURDAN](#), Chercheur, CMO Toulouse

[Christel LUCION](#), Ingénieur, CMO Toulouse

[Emilie DORGEVILLE](#), Assistant Ingénieur, CMO Toulouse

SHOM/CMO, CMO Toulouse 4 av. G. Coriolis 31057 TOULOUSE CEDEX

Thème scientifique principal: Systèmes opérationnels.

Résumé des activités: Développement mise au point de systèmes de prévision océanographiques opérationnels.

- Mise en œuvre de systèmes de prévision au profit de la Marine (soutien Hydro Océano Militaire, soutien Action Etat en Mer) en mode standard permanent et en mode soutien particularisé renforcé.

- Formation de personnels : prévisionnistes océanographes et utilisateurs.

Participation au Séminaire: 1 (L. Kerléguer)

Equipe:

[Francis GOHIN](#), IFREMER, Centre de Brest, Ecologie Côtière, BP 70 29280 Plouzane, Francis.Gohin@ifremer.fr

Thème scientifique principal: Observation par télédétection de l'environnement biologique côtier, assimilation.

Résumé des activités: Développement d'algorithmes empiriques pour utiliser les images de la couleur de l'eau en côtier. Mise en œuvre d'un serveur d'images SeaWiFS et AVHRR sur le Golfe de Gascogne et en Manche (concentration en chlorophylle, matières en suspension, coefficient d'atténuation de la lumière, et température de surface). Utilisation des produits de la couleur de l'eau en validation des modèles biologiques 3D et ajustement des paramètres.

Etudiant en Thèse:

[Martin HURET](#) (doctorant IFREMER/CNES).

Participation au Séminaire: 2 (M. Huret, F. Gohin)

Equipe: Processus et productions biologiques à l'interface eau - sédiment

[Katell GUIZIEN](#), Chercheuse, CNRS, guizien@obs-banyuls.fr

[Jean-Claude DUCHENE](#), Chercheur, CNRS. duchene@obs-banyuls.fr

Laboratoire d'Océanographie Biologique de Banyuls, UMR7621, BP 44, 66651 Banyuls S/ Mer Cedex

[Laurent ZUDAIRE](#), Ingénieur, CNRS zudaire@obs-banyuls.fr,

Observatoire Océanologique de Banyuls, UMS 2346, BP 44, 66651 Banyuls S/ Mer Cedex

Thème scientifique principal: Modélisation et couplages (Observation/Mesure via l'Observatoire Océanologique de Banyuls) .

Résumé des activités: Développement d'un modèle de dispersion larvaire dans une baie en Méditerranée.

Développement d'un modèle de re-suspension avec application à la structuration des peuplements benthiques.

Evaluation des modèles par comparaison avec des mesures in-situ.

Participation au Séminaire : 1 (K. Guizien)

Equipe: LEH

Pierre PETITGAS, pierre.petitgas@ifremer.fr
Benjamin PLANQUE, benjamin.planque@ifremer.fr
Olivier LE PAPE, olivier.le.pape@ifremer.fr
Jacques BERTRAND, jacques.bertrand@ifremer.fr
Yves DESAUNAY, yves.desaunay@ifremer.fr
Laboratoire Ecologie Halieutique, Ifremer, Nantes.

Thème scientifique principal: Ecologie des populations de poissons, relation avec l'environnement physique et biotique, couplage modèles physiques biologiques

Résumé des activités: Halieutique et environnement (couplage physique biologie). Développement de méthodes d'analyse des résultats de simulations hydrodynamiques. Construction d'indicateurs hydrodynamiques à partir des simulations. Méthodes de comparaison mesures/simulations.

Etudiantes en Thèse:

Gwenaél ALLAIN (ENSAR)
Sujet: Dynamique de population de l'anchois, du modèle individu-centré à la population.
Camille GILLIERS
Sujet: recherche de bio-indicateurs de la qualité des écosystèmes côtiers.

Participation au Séminaire: 1 (B. Planque)

Equipe: TMSI/RED/HA

Xavier BOMPAIS, Ingénieur de recherche, xavier.bompais@ifremer.fr
Didier BUISINE, Ingénieur de recherche, didier.buisine@ifremer.fr
Gilbert DAMY, Ingénieur de recherche, gilbert.damy@ifremer.fr
Marc LE BOULLUEC, Ingénieur de recherche, marc.le.boulluec@ifremer.fr
Alain LEBEAU, Ingénieur de recherche, alain.lebeau@ifremer.fr
Christophe MAISONDIEU, Ingénieur de recherche, christophe.maisondieu@ifremer.fr
Jean-Pierre MOREL, Ingénieur de recherche, jean.pierre.morel@ifremer.fr
Gregory GERMAIN*, Ingénieur de recherche, gregory.germain@ifremer.fr
Arnauld DEPUYDT*, Ingénieur de recherche, arnauld.depuydt@ifremer.fr
TMSI/RED/HA, Hydrodynamique Appliquée, IFREMER Centre de BREST, BP 70, 29280 PLOUZANE.
* TMSI/RED/HA, Hydrodynamique Appliquée, IFREMER Centre de Boulogne, 150 Quai Gambetta - BP 699
62321 Boulogne-sur-Mer France

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation.

Résumé des activités: Modélisation de la houle, réponse dynamique des corps flottants, acquisition et analyse de données, inter-comparaisons données expérimentales et modèles numériques.

* à Boulogne : veine de circulation, anémométrie laser, PIV.

Participation au Séminaire: 2 (C. Maisondieu, G. Damy)

Equipe: CEFREM

Roselyne BUSCAIL, Chercheur, CNRS, Buscail@univ-perp.fr
Xavier DURRIEU DE MADRON, Chercheur, CNRS, Demadron@univ-perp.fr
Serge HEUSSNER, Chercheur, CNRS, Heussner@univ-perp.fr
Philippe KERHERVE, Enseignant-Chercheur à l'Université de Perpignan, Kerherve@univ-perp.fr
Wolfgang LUDWIG, Enseignant-Chercheur à l'Université de Perpignan, Ludwig@univ-perp.fr
Centre de Formation et d'Etude de l'Environnement Marin, CEFREM, Université de Perpignan 52 av. de Villeneuve 66860 Perpignan.

Thème scientifique principal: Observation/Mesure

Résumé des activités: Etude des apports fluviaux, de l'hydrologie et des courants sur le plateau et la pente avec application au transport de matière particulaire. Etude de la resuspension de sédiment.

Etudiants en Thèse:

Maud GUARRACINO (CEFREM - bourse MRT)
Sujet: Analyse de la variabilité à court et long termes des flux particulaires sur la pente continentale du Golfe du Lion
Bénédicte FERRE (CEFREM - bourse de mobilité interrégionale et contrat européen).
Sujet: Impact des tempêtes et du chalutage sur la resuspension et le transport particulaire dans le Golfe du Lion.
Javier GARCIA (CEFREM - bourse de coopération France-Amérique du Sud)
Sujet: Transferts géochimiques en Méditerranée : exemple de la rivière Têt et de son bassin versant.
Vincent ROUSSIEZ (CEFREM - bourse MRT)
Sujet: Quantification des apports fluviaux en éléments métalliques et de leur dispersion sur le plateau et la pente du Golfe du Lion.
François BOURRIN (CEFREM - bourse régionale et contrat européen)
Sujet: Évolution des apports sédimentaires continentaux et des dépôts prodeltaïques marins sous l'impact des aléas climatiques : application au système Têt - Littoral du Roussillon

Participation au Séminaire: 1 (X. Durrieu de Madron)

Equipe: LOV

Louis PRIEUR, Chercheur, CNRS, prieur@obs-vlfr.fr
Gaby GORSKY, Chercheur, CNRS, gorsky@obs-vlfr.fr
Frédéric IBANEZ, Enseignant Chercheur, UPMC, ibanez@obs-vlfr.fr
LOV, Villefranche, BP 08, O6238 Villefranche sur Mer

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation Physique Biologie

Résumé des activités: Observations pluridécennales en mer Ligure, point côtier et point large, Surveillance du Courant Ligure, mesures ADCP en routine, évolution des peuplements du cycle saisonnier aux cycles pluriannuels, influence des facteurs anthropiques.

Etudiante en thèse :

Caroline WAREMBOURG.

Sujet: Etude du couplage entre hydrodynamisme et hétérogénéité spatiale du zooplancton et de la neige marine . Analyse d'une série du zooplancton côtier de 7 ans.

Participation au Séminaire : 1 (L. Prieur)

Equipe: COMODO

Bernard BARNIER, Chercheur, CNRS, Bernard.Barnier@hmg.inpg.fr
Thierry PENDUFF, Chercheur, CNRS, Thierry.Penduff@hmg.inpg.fr
Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, LEGI, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9.

Eric BLAYO, Enseignant-Chercheur à l'Université Joseph Fourier, Eric.Blayo@imag.fr

Laurent DEBREU, Chercheur, INRIA, Laurent.Debreu@imag.fr

Laboratoire de Modélisation et de Calcul, LMC, BP53, 38041, Grenoble Cedex 9.

Thème scientifique principal: Modélisation.

Résumé des activités: Développement et évaluation de méthodes de couplage interactif de modèles hydrodynamiques différents, avec application au couplage d'un modèle de circulation générale de l'Atlantique Nord à un modèle régional du Golfe de Gascogne (projet COMODO).

Etudiant en Thèse:

Sylvain CAILLEAU (LEGI - bourse DGA) encadrement B. Barnier et E. Blayo

Sujet: Traitement des conditions limites au frontières d'un domaine côtier: Application au Golfe de Gascogne.

Post-doctorante:

Veronika FEDORENKO (LMC) encadrement E. Blayo

Sujet: Développement de coupleurs pour modèles numériques

Participation au Séminaire: 4 (B. Barnier, E. Blayo, L. Debreu T. Penduff)

Equipe: NOVELTIS

Eric JEANSOU, ingénieur, NOVELTIS, eric.jeansou@noveltis.fr
Frédérique PONCHAUT, ingénieur, NOVELTIS, frederique.ponchaut@noveltis.fr
Gwénaële JAN, ingénieur, NOVELTIS, gwenaele.jan@noveltis.fr
Guilhem MOREAUX, ingénieur, NOVELTIS, guilhem.moreaux@noveltis.fr
NOVELTIS, Parc Technologique du Canal, 2 avenue de l'Europe, 31520 Ramonville St Agne.

Thème scientifique principal: Modélisation. Observations spatiales.

Résumé des activités:

Transfert de technologie. Développement d'outil d'aide à la décision en zones côtières en partenariat avec le Pôle d'Océanographie Côtière de Toulouse. Utilisation de données altimétriques côtières.

Etudiant en thèse :

Julien LAMOUROUX, LEGOS, bourse CIFRE, lamourou@notos.cst.cnes.fr

Sujet : développement d'un schéma d'assimilation d'observations spatiales et in situ dans un modèle régional à surface libre du Golfe de Gascogne

Participation au Séminaire: 1 (E. Jeansou)

Equipe: OPTIMER

Raymond NERZIC, Directeur, nerzic@optimer.fr
Françoise GIRARD, Ingénieur, girard@optimer.fr
Lucia PINEAU-GUILLOU, Ingénieur, pineau-guillou@optimer.fr
Cyril FRELIN, Ingénieur, frelin@optimer.fr
OPTIMER, 21 rue Jean-Macé 29200 Brest

Thème scientifique principal: Modélisation

Résumé des activités: Etudes météo-océaniques. Modélisation de la houle, de la circulation hydrodynamique et du transport sédimentaire pour les projets industriels et pour les études d'environnement, en haute mer et en zones littorales.

Participation au Séminaire: 1 (L. Pineau-Guillou)

Equipe: IRSN

Pierre GERMAIN, directeur du laboratoire, pierre.germain@irsn.fr, tél. : 02 33 01 41 02

Michel MASSON, adjoint du directeur du laboratoire, michel.masson@irsn.fr, tél. : 02 33 01 41 03

Etudes de sites industriels

Pascal BAILLY du BOIS, ingénieur, pascal.bailly-du-bois@irsn.fr, tél. : 02 33 01 41 05

Dispersion des radionucléides dans l'eau de mer, modélisation

Dominique BOUST, ingénieur, dominique.boust@irsn.fr, tél. : 02 33 01 41 06

Géochimiste, radionucléides fixés sur les sédiments

Olivier CONAN, ingénieur, olivier.conan@irsn.fr, tél. : 02 33 01 41 08

Chimiste

Bruno FIEVET, ingénieur, bruno.fievet@irsn.fr, tél. : 02 33 01 41 01

Biologiste, radionucléides fixés sur les espèces vivantes

Denis MARO, ingénieur, denis.maro@irsn.fr, tél. : 02 33 01 41 09

Dispersion atmosphérique, aérosols, transferts en milieu terrestre

IRSN, Laboratoire de Radioécologie de Cherbourg-Octeville (LRC), rue Max Pol Fouchet, B.P. 10, 50130 Octeville.

Franck DUMAS, ingénieur, fdumas@ifremer.fr, tél. : 02 98 22 46 76

Modélisation hydrodynamique, IFREMER/DEL Applications Opérationnelles, Centre de Brest, Z.I. de la pointe du Diable, B.P. 70, 29280 Plouzané.

Thème scientifique principal: Dispersion et transferts des radionucléides en milieu marin et côtier, modélisation.

Résumé des activités: Etude du devenir des radionucléides artificiels et naturels dans l'environnement marin de la Manche, de la Façade Atlantique, de la Mer du Nord et dans les zones côtières. Amélioration de la connaissance des phénomènes de transport et de transfert, modélisation physique des transports de radionucléides solubles et associés aux particules sédimentaires, et modélisation bio-géochimique des transferts entre les milieux liquides, biologiques et sédimentaires.

Etudiants en Thèse:

Aurélien GOUZY (IRSN) encadrement : D. Boust

Sujet: Etude sur le comportement du plutonium au cours de la diagenèse des sédiments marins : exemple du devenir à long terme de radionucléides rejetés en mer par l'usine de COGEMA La Hague.

Emilie FARCY (IRSN / Région Basse Normandie) encadrement : B. Fiévet

Sujet: Etude de l'impact des radionucléides rejetés par les installations nucléaires du Nord-Cotentin sur deux espèces de mollusques, l'huître et l'ormeau. Analyse de l'expression de marqueurs moléculaires de stress.

Post-doctorant:

Caroline OLIVIER (IRSN) encadrement : P. Bailly du Bois

Sujet: Développement d'un modèle numérique multicouche hétérométrique pour la simulation du transport sédimentaire en Manche ; Détermination de l'équation de transport par des mesures en canal expérimental

Participation au Séminaire: 1 (P. Bailly du Bois)

Equipe:

Leo NYKJAER, leo.nykjaer@jrc.it

Joint Research Center, Institute of Environment and Sustainability TP272, 21020 ISPRA (VA), ITALY

Thème scientifique principal: Imagerie satellite et production primaire, modélisation côtière.

Post-doctorant: **Steven HERBETTE**, steven.herbette@jrc.it

Sujet: Modélisation des upwellings sur les côtes d'Afrique du Nord-Ouest.

Participation au Séminaire: 1 (S. Herbette)

Equipe: LEGI

Jacques VERRON, Chercheur, CNRS, Jacques.Veron@hmg.inpg.fr

Pierre BRASSEUR, Chercheur, CNRS, Pierre.Brasseur@hmg.inpg.fr

Jean-Michel BRANKART, Ingénieur, CNRS, Jean-Michel.Brankart@hmg.inpg.fr

Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, LEGI, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9.

Thème scientifique principal: Modélisation et assimilation de données

Résumé des activités: Développement de méthodes d'assimilation et de techniques d'emboîtement de modèles pour l'analyse et la prévision océanique régionale à haute résolution

Etudiant en Thèse:

Grégoire BROQUET (LEGI - bourse DGA)

Sujet: Méthodes d'assimilation et de techniques d'emboîtement de modèles pour l'analyse et la prévision océanique régionale à haute résolution

Post-doctorant:

David ROZIER (LEGI – contrat SHOM)

Sujet: Méthodes séquentielles d'assimilation de données d'ordre réduit par filtrage SEEK – Application à la modélisation côtière

Participation au Séminaire: 2 (J. Verron, F. Birol)

Equipe: Pôle d'Océanographie Côtière (POC)**Pôle d'Océanographie Côtière - Equipe LEGOS**

Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (LEGOS), Equipe "Dynamique Océanique" (DYNO), 18 avenue E. Belin, 31401 TOULOUSE cedex 4

[Pierre DE MEY](mailto:pierre.de-mey@cnes.fr), CNRS, LEGOS/DYNO, pierre.de-mey@cnes.fr

[Christian LE PROVOST](mailto:christian.le-provost@cnes.fr), CNRS, LEGOS/DYNO, christian.le-provost@cnes.fr

[Florent LYARD](mailto:florent.lyard@cnes.fr), CNRS, LEGOS/DYNO, florent.lyard@cnes.fr

Thèmes scientifiques principaux: Modélisation, Assimilation, Mesures spatiales

Résumé des activités: Modélisation et assimilation dans les modèles de circulation générale (MERCATOR), les modèles de marée, les modèles barotropes à surface libre (réponse aux forçages atmosphériques). Avec le Pôle d'Océanographie Côtière de l'Observatoire Midi-Pyrénées: modélisation et assimilation dans les modèles régionaux et côtiers à surface libre. Expertise sur l'altimétrie et les mesures marégraphiques.

Etudiants en Thèse:

[Gabriel JORDA](#) (bourse LIM, Barcelone, co-direction M. Espino/P. De Mey)

Sujet: Assimilation par méthode d'ensemble dans un modèle hydrodynamique du plateau Catalan pour l'étude des interactions entre la mésoéchelle côtière et le panache de l'Ebre.

[Julien LAMOUROUX](#) (bourse CIFRE avec la société NOVELTIS, direction P. De Mey)

Sujet: Développement d'un schéma d'assimilation d'observations spatiales et in situ dans un modèle régional à surface libre du Golfe de Gascogne par méthode d'ensemble.

[Thierry LETELLIER](#) (bourse MEN, co-direction C. Le Provost/F. Lyard)

Sujet: Etude des marées non-linéaires sur les plateaux continentaux

[Baptiste MOURRE](#) (bourse CNRS/CNES, codirection C. Le Provost/P. De Mey)

Sujet: Etude de configuration d'une constellation de satellites altimétriques pour l'observation de la dynamique océanique côtière: utilisation d'une approche basée sur l'assimilation de données.

Post-doctorant:

[Sylvain MANGIAROTTI](#) (projet européen MFSTEP, direction P. De Mey), sylvain.mangiarotti@cnes.fr

Sujet: Assimilation par méthode d'ensemble dans un modèle hydrodynamique du Golfe du Lion pour l'étude de la pénétration du courant Liguro-Provençal-Catalan sur le plateau.

Participation au Séminaire: 7 (P. De Mey, C. Le Provost, T. Letellier, F. Lyard, S. Mangiarotti, J. Lamouroux, B. Mourre)

Pôle d'Océanographie Côtière - Equipe Laboratoire d'Aérodologie :

Laboratoire d'Aérodologie. 14 avenue Edouard Belin. 31400 TOULOUSE

[Francis AUCLAIR](mailto:francis.auclair@aero.obs-mip.fr), UPS, LA, francis.auclair@aero.obs-mip.fr

[Claude ESTOURNEL](mailto:claud.e.stournel@aero.obs-mip.fr), CNRS, LA, claud.e.stournel@aero.obs-mip.fr

[Patrick MARSALEIX](mailto:patrick.marsaleix@aero.obs-mip.fr), CNRS, LA, patrick.marsaleix@aero.obs-mip.fr

Thèmes scientifiques principaux: Modélisation 3D régionale et côtière

Résumé des activités :Modélisation hydrodynamique en Méditerranée et dans le Golfe de Gascogne. Développements de modèles, de méthodes d'initialisation de méthodes d'analyse en fréquence des champs 3D. Modélisation couplée océan atmosphère. Modélisation du transport sédimentaire.

Etudiants en Thèse :

[Claire JULLIAND](#) (bourse MEN, codirection P. Marsaleix I. Dekeyser)

Sujet : Etude des instabilités du courant Liguro-Provençal et des formations d'eau dense dans le Golfe du Lion.

[Ivane PAIRAUD](#) (bourse MEN, direction F. Auclair)

Sujet : Etude de l'interaction Ondes / Circulation océanique dans le Golfe de Gascogne

[Caroline ULSES](#) (projets européens INTERPOL et EUROSTRATAFORM, direction C. Estournel)

Sujet : Modélisation du transport sédimentaire dans le Golfe du Lion

[Gaelle CASAGRANDE](#) (ingénieur SHOM, codirection C. Estournel / Evelyne Richard)

Sujet : Couplage océan atmosphère à l'échelle régionale en région côtière. Collaboration avec le CMO

Post-doctorants :

[Muriel LUX](#) (PEA de la DGA)

Sujet : Modélisation de la circulation dans le Golfe de Gascogne.

[Gilles MOLINIE](#) (Projet européen MFSTEP)

Sujet : Finalisation et distribution de la méthode d'initialisation aux partenaires du projet. Tests et mise au point pour la phase opérationnelle de modélisation.

Participation au Séminaire: 3 (C. Estournel, M. Lux, I. Pairaud)

Equipe:

[Alain LEFEBVRE](mailto:alain.lefebvre@ifremer.fr), alain.lefebvre@ifremer.fr

Centre Ifremer de Boulogne-sur-Mer, Laboratoire de la Direction de l'Aménagement et de l'Environnement Littoral.

Thème scientifique principal: Observation/Mesure.

Résumé des activités: Surveillance de la qualité du milieu marin en Manche orientale et sud de la Mer du Nord.

Participation au séminaire: 1 (A. Lefebvre)

Equipe: IFREMER/DEL/AO**Direction de l'Environnement Littoral, service des Applications Opérationnelles. (DEL/AO)**

Yann Hervé De ROECK, responsable ,yhdr@ifremer.fr

Franck DUMAS, cadre de recherche, franck.dumas@ifremer.fr

Pierre GARREAU, cadre de recherche, pierre.garreau@ifremer.fr

Anne Marie JEGOU, cadre de recherche, amjegou@ifremer.fr

Pascal LAZURE, cadre de recherche, pascal.lazure@ifremer.fr

Dominique OBATON, cadre de recherche, dominique.obaton@ifremer.fr

Frédéric VANDERMEIRSCH, cadre de recherche, fvanderm@ifremer.fr

Michel KERDREUX, technicien, michel.kerdreux@ifremer.fr

IFREMER/DEL Applications Opérationnelles, Centre de Brest, Z.I. de la pointe du Diable, B.P. 70, 29280 Plouzané.

Thème scientifique principal: Hydrodynamique côtière, modélisation, mesures, applications.

Résumé des activités : Des modèles hydrodynamiques de la façade à la baie sont développés en Manche, Atlantique et Méditerranée. Ces modèles sont validés à l'aide de mesures dont une partie est mise en œuvre par le service. Plusieurs applications vers d'autres thématiques (sédimentologie, production primaire, halieutique) sont en cours et des couplages avec des modèles biogéochimiques ont été réalisés. (<http://www.ifremer.fr/delao/francais/hydrodynamique/index.htm>)

Etudiants en Thèse:

Stéphane POUS (UBO-SHOM)

Sujet: Modélisation du Golfe Persique et d'Oman.

Gael ANDRE (bourse Ifremer/PACA)

Sujet: Processus physiques et quantification des échanges côtes large en mer Ligure et Golfe du Lion.

Post-doctorant:

Stéphanie MAGRI HOELTZENER (Ifremer DEL/AO-DRV/ecohal), smagri@ifremer.fr

Sujet: Variabilité hydrodynamique sur les habitats biologiques du Golfe de Gascogne

Igor CHEVTCHENCO (Ifremer/Del/AO).

Sujet: Parallélisation d'un code hydrodynamique (MARS)

Participation au Séminaire: 7 (H. De Roeck, F. Dumas, P. Garreau, A.-M. Jegou, P. Lazure, D. Obaton, F. Vandermeirsch)

Equipe: CMS-Lanion

Pierre LE BORGNE, Pierre.Leborgne@meteo.fr

Anne MARSOUIN, Anne.Marsouin@meteo.fr

Gérard LEGENDRE, Gerard.Legendre@meteo.fr

Hervé ROQUET, Herve.Roquet@meteo.fr

Météo-France Centre de Météorologie Spatiale Avenue de Lorraine B.P. 147 22302 LANNION CEDEX

Thème scientifique principal: Observation/Mesures.

Résumé des activités: Océanographie opérationnelle et télédétection : restitution de la température de surface de la mer et des flux radiatifs à partir des mesures des satellites météorologiques (NOAA, GOES, MSG, Metop). Développement de produits opérationnels dans le cadre du SAF Océan et Glaces de Mer d'EUMETSAT.

Participation au séminaire: 1 (H. Roquet)

Equipe: AVELMOR

Sophie CASITAS, Docteur en Océanographie, Ingénieur d'étude, Casitas@cmo-tlse.shom.fr

Alain COAT, Chef de projet, Coat@avelmor.fr,

Philippe CRANEGUY, Docteur en Océanographie, Chef de projet, Craneguy@avelmor.fr

Marc LENNON, Docteur en télédétection, Chef de projet, Lennon@avelmor.fr

Vincent MARIETTE, Docteur en Océanographie, PDG, mariette@avelmor.fr

AvelMor, Technopôle Brest-Iroise, Place Nicolas Copernic, 29280 Plouzané

Thème scientifique principal: Observation/Mesures/Prévision temps réel.

Résumé des activités: Océanographie opérationnelle et télédétection haute résolution: mise en œuvre de système de prévision océanographique en temps réel, mesures hyperspectrales aéroportées, mesures de courants de surface à l'aide de radars HF. (www.avelmor.fr).

Etudiant e en thèse:

Véronique COCHIN, doctorante, cochin@avelmor.fr

AvelMor, technopôle Brest-Iroise, Place Nicolas Copernic, 29280 Plouzané/ GET - ENST Bretagne, Dép. ITI, CNRS FRE 2658

TAMCIC, Equipe TIME Technopôle Brest-Iroise; CS 83818; 29238 Brest cedex – France,

Nombre de participants au séminaire: 2 (V. Cochin, V. Mariette)

Equipe:

Patrick MONFRAY, Directeur de Recherche CNRS, Directeur du LEGOS, monfray-dir@legos.obs-mip.fr
Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales, UMR 5566 CNES-CNRS-IRD-UPS, 18, Avenue Edouard Belin, 31401 TOULOUSE Cedex 4, France,

Thème scientifique principal: Modélisation biogéochimique et biologique marine

Résumé des activités: Couplage physique-géochimie-biologie au sein du modèle OPA-ORCA afin d'étudier la propagation des changements globaux à la régulation des gaz à effet de serre (CO₂), des aérosols (DMS) et aux ressources marines (planctons, thons) dans le cadre des programmes IGBP (JGOFS, GLOBEC, IMBER) et GMMC/BIONUTS.

Pour plus d'information :

projet national GMMC/BIONUTS (<http://www.ipsl.jussieu.fr/~pmsce/MERCATOR/bionuts.htm>), coopération LEGOS, LEGI, LODYC, LSCE et CLS.

ii) projet international IMBER (<http://www.igbp.kva.se/obe/recentupdates.html>), vers une intégration des activités JGOFS et GLOBEC.

Participation au séminaire: 1 (P. Monfray)

Equipe: LSEET

Philippe FRAUNIE, Pr. UTV, fraunie@lseet.univ-tln.fr

Serge DESPIAU, UTV, despiou@lseet.univ-tln.fr

Philippe FORGET, CNRS, forget@lseet.univ-tln.fr

Vincent REY, UTV, rey@lseet.univ-tln.fr

Laboratoire de Sondages Electromagnétiques de l'Environnement Terrestre UMR 6017, Université de Toulon et du Var, BP 132 F-83957 La Garde cedex

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation, Couplages, Assimilation.

Océanographie côtière et littorale.

Résumé des activités: Modélisation d'ordre élevé de processus côtiers et littoraux en Méditerranée: Panaches fluviaux et courants de densité, turbulence en milieu fortement stratifié, structures secondaires. Interactions upwellings côtiers et structures frontales, forçage atmosphérique. Suivi d'interface par méthode VOF semi-Lagrangienne, Déferlement 3D.

Mesures in situ des courants de surface côtiers par radars HF et VHF et de houle littorale par lignes de capteurs de pression et Vector. Télédétection satellitale SAR et couleur de l'eau Génération des aérosols marins en milieu côtier.

Etudiants en Thèses:

Guillaume REFFRAY (Bourse MRT) encadrement P. Fraunié et P. Marsaleix.

Sujet: Modélisation des structures secondaires de la zone de dilution du Rhône (PATOM ARGOL).

Clothilde LANGLAIS (Bourse MRT) encadrement P. Fraunié et B. Barnier.

Sujet: Modélisation de la variabilité inter-annuelle de la circulation et des échanges côte-large dans le Golfe du Lion

Anne MEURET (Bourse Région) encadrement V. Rey et O. Le Calvé

Sujet: Mesures vagues/turbulence dans la zone de levée (PATOM/PNEC)

Christophe LACHAUME (PARG) encadrement P. Fraunié et S. Grilli

Sujet: Développement et couplage BIEM/SL-VOF pour le déferlement 3D

Déborah DREVAR (Bourse Région PACA/CNRS) encadrement P. Fraunié et V. Rey

Sujet: Modélisation du déferlement 3D sur une plage (PNEC/PATOM)

Christine LAFON (Bourse MRT puis ATER) encadrement J. Piazzola et P. Forget

Sujet: Etats de surface et génération d'aérosols marins

R. CAPOBIANCO (Ingénieur d'Etudes UTV) encadrement V. Rey et O Le Calvé

Sujet: Instrumentation en milieu littoral (chaînes de capteurs pression, vector)

Participation au Séminaire: 3 (P. Forget, P. Fraunié, V. Rey)

Equipe: LODYC-Méditerranée

Laurent MORTIER, ENSTA, LODYC, mortier@lodyc.jussieu.fr

Thème scientifique principal: Observation/Mesure

Résumé des activités: L'équipe Méditerranée a pour objectif d'étudier la circulation dans le proche Atlantique et la Mer Méditerranée et dans leurs régions côtières. Concernant la région côtière, on se focalise d'une part, sur l'étude de l'interaction entre circulation générale et circulation côtière et d'autre part, sur l'étude des processus dynamiques et sédimentaires qui contrôlent le transfert de la matière d'origine continentale (dans les zones d'apport fluviaux notamment) vers les eaux de la marge.

Postdoctorant:

Karine BERANGER, ENSTA/LODYC –Réseau bleu Mercator

Sujet: Modélisation pré-opérationnelle de la circulation de bassin Méditerranée

Participation au Séminaire: 1 (L. Mortier)

Equipe:

Jean-luc DEVENON, devenon@com.univ-mrs.fr

Anne PETRENKO, anne.petrenko@com.univ-mrs.fr

Yann LEREDDE, yann.leredde@com.univ-mrs.fr

MJENR, Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, LOB, Centre d'Océanologie de Marseille, Campus de Luminy, case 901, F-13288 Marseille Cedex 09 France.

Christelle CHEVALLIER, chevalier@com.univ-mrs.fr

Melika BAKLOUTI, melika.baklouti@com.univ-mrs.fr

IRD, UR Elisa, Guyanne. Laboratoire d'accueil: Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, LOB, Centre d'Océanologie de Marseille, Campus de Luminy, case 901, F-13288 Marseille Cedex 09 France.

Thèmes scientifiques principaux: observation et synthèse d'observations; modélisation variationnelle; couplage physique/biogéochimie.

Résumé des activités: Etude de la circulation côtière, et des échanges côte-large au niveau des plateaux continentaux, (Golfe du Lion, intrusion du courant Nord Méditerranéen, plateau Guyannais). Mise en œuvre de campagnes d'études expérimentales, utilisation de modèles numériques et mise en œuvre de méthodes d'assimilation de données. Mise au point de modèles couplés physique-biogéochimie.

Etudiants en thèse:

Vincent TAILLANDIER (bourse DGA)

Sujet: Contrôle des conditions aux limites ouverte d'une version côtière du code OPA par méthode d'assimilation de données. Application au cas du Golfe du Lion.

Agnes BOURRET (bourse MRT)

Sujet: Modélisation de la circulation du plateau Guyanais

Nikiema OUMAROU (bourse Bourse Ministère affaires étrangères (Côte d'Ivoire)

Sujet: Contribution à l'étude du panache de l'amazone et du transport sédimentaire induit le long du plateau continental nord Brésilien.

Julie GATTI (bourse MRT)

Sujet: Contribution à l'étude des intrusions du courant Nord sur le plateau du Golfe du Lion.

Participation au Séminaire: 3 (J.-L. Devenon, Y. Leredde, A. Petrenko)

Equipe:

Anne Marie TREGUIER, Directeur de Recherche CNRS, treguier@ifremer.fr

Laboratoire de physique des Océans, Ifremer, BP 70, 29280 PLOUZANE.

Thème scientifique principal: Modélisation

Résumé des activités: Modélisation de la circulation générale océanique, Modélisation et étude de la dynamique des courants sur les talus continentaux (deux projets, respectivement concernant le talus continental Est Groenland et le talus du Golfe de Guinée).

Participation au séminaire: 1 (A.-M. Treguier)

Equipe: CMO/Modélisation océanographique.

Yves MOREL, morel@shom.fr

Fabrice ARDHUIN

Alain SERPETTE

Annick PICHON

Frédéric JOURDIN

SHOM/CMO, EPSHOM 13, rue du Chatelier BP 30316 29603 Brest Cedex

Rémy BARAILLE

Gaëlle CASAGRANDE

SHOM/CMO, CMO Toulouse 4 av. G. Coriolis 31057 TOULOUSE CEDEX

Thème scientifique principal: Modélisation

Résumé des activités:

- Recherche et développement en modélisation hydrodynamique et en assimilation de données ;
- Modélisation numérique des vagues, de la circulation, des processus biochimiques et sédimentaires ;
- Etudes des couplages vagues-circulation-atmosphère-sédiment et circulation-biochimie-sédiment ;
- Mesures hydrologiques in situ, mesures par stations radars, satellite SAR, SST et couleur de l'eau ;
- Mise au point et évaluation de démonstrateurs pour les systèmes de prévision opérationnels.

Participation au séminaire: 7 (Y. Morel, F. Arduin, A. Serpette, A. Pichon, F. Jourdin, R. Baraille, G. Casagrande)

Equipe: Bords Est et marges continentales

UR IDYLE , Centre IRD de Bretagne, BP 70, 29280 Plouzané
Claude ROY, chercheur, IRD, claude.roy@ird.fr
Patrick MARCHESIELLO, chercheur, IRD, patrickm@atmos.ucla.edu
Pierrick PENVEN, chercheur, IRD, Pierrick.Penven@univ-brest.fr

UR IDYLE , Université de Cape-Town, Rondebosch 7701, Afrique du Sud
Frank SHILLINGTON, enseignant-chercheur, Université de Cape Town, shill@ocean.uct.ac.za
Pierre FLORENCHIE, chercheur, BCLME/UCT, pierre@ocean.uct.ac.za
Scarla WEEKS, ingénieur, OceanSpace, Cape Town, scarla@oceanspace.co.za

UR IDYLE , Marine and Coastal Management, Private Bag X2, Rogge Bay 8012 Cape Town, Afrique du Sud
Hervé DEMARCQ, chercheur, IRD, MCM, Cape Town, Demarcq@mcm.wcape.gov.za

LPO, Ifremer Centre de Brest, BP 70, 29280 Plouzané
Sabrina SPEICH, Enseignant-Chercheur, UBO, LPO, speich@univ-brest.fr
Bruno BLANKE, chercheur, CNRS, LPO, blanke@univ-brest.fr
Alain COLIN DE VERDIERE, Enseignant-Chercheur, UBO, LPO, acolindv@univ-brest.fr
Guillaume ROULLET, Enseignant-Chercheur, UBO, LPO, roulet@univ-brest.fr
Nathalie DANIAULT, UBO, LPO, daniault@univ-brest.fr
Jean Yves Le TAREAU, Enseignant-Chercheur, UBO, LPO, letareau@univ-brest.fr
Bernard Le CANN, Chercheur CNRS, LPO, blecann@univ-brest.fr
Michel ARHAN, Chercheur IFREMER, LPO, marhan@ifremer.fr
Xavier CARTON, Chercheur IFREMER, LPO, xcarton@ifremer.fr

LODYC, T26 4E Boite 100, 4 place Jussieu, 75252 Paris cedex 05,
Vincent ECHEVIN, chercheur, IRD, Vincent.Echevin@lodyc.jussieu.fr
Olivier AUMONT, chercheur, IRD, aumont@lodyc.jussieu.fr

LEGOS, 14 avenue Ed. Belin, 31401 Toulouse cedex 4, France
Véronique GARCON, Chercheur, Veronique.Garcon@notos.cst.cnes.fr

Thème scientifique principal: Dynamique des écosystèmes de bords Est et circulation sur les marges continentales

Résumé des activités: Observation/Mesures - Etude de la circulation sur les marges continentales et des échanges à travers ces marges à grande, méso et subméso échelles - Modélisation de processus (marées et ondes internes, courants de pente, upwellings, tourbillons et filaments) et modélisation régionale des systèmes de Bord Est (Golfe de Gascogne, upwellings Atlantique et Pacifique Est) – Couplage avec modèles NPZD et IBM - télédétection AVHRR et SeaWifs – application au fonctionnement des écosystèmes et à la dynamique des ressources marines.

Etudiant en Thèse:

Philippe ESTRADÉ (LPO) Estrade (LPO)

Sujet: Etude de l'influence de la topographie et de la variabilité spatio-temporelle du forçage par le vent sur les structures de circulation dans un upwelling

Scarla WEEKS (UCT)

Sujet: The Application of Remote Sensing to the Benguela Ecosystem: The development of derived ocean colour parameters and methodologies suitable to regional waters”.

Post-doctorant:

Eric MACHU (UCT, NRF et IDYLE)

Sujet: Modélisation biogéochimique du Benguela sud

Participation au séminaire: 10 (E. Machu, P. Marchesiello, P. Penven, P. Florenchie, C. Roy, V. Echevin, X. Carton, N. Daniault, G. Roulet, S. Speich).

Equipe: BRGM

Lorraine CHOPPIN, l.choppin@brgm.fr
Nicole LENOTRE, n.lenotre@brgm.fr
Carlos OLIVEROS, c.oliveros@brgm.fr
Rodrigo PEDREROS, r.pedreros@brgm.fr
BRGM, Aménagement du Territoire et du Littoral, ARN/ATL, 3 Av. C. Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans.
Nathalie DURAND, BRGM, 1039, rue de Pinville 34000 MONTPELLIER. n.durand@brgm.fr

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation.

Résumé des activités: Evaluation et couplage de modèles de transformation de la houle en domaine côtier, de circulation littorale et de transport sédimentaire en vue de déterminer l'évolution du trait de côte.

Participation au séminaire: 1 (R. Pedreros)

Equipe:

[Hervé GIORDANI](mailto:Herve.Giordani@meteo.fr), Chercheur, Herve.Giordani@meteo.fr
Météo-France - CNRM, 42 Av. G. Coriolis 31057 Toulouse.
[Guy CANIAUX](mailto:Guy.Caniaux@meteo.fr), Chercheur, Guy.Caniaux@meteo.fr
Météo-France – CNRM/MEMO, 42 Av. G. Coriolis 31057 Toulouse.

Thème scientifique principal: Modélisation, Assimilation.

Résumé des activités: Estimation de flux océan-atmosphère à fine résolution; influence sur la modélisation de la couche de mélange océanique; rôle des flux sur les processus d'entraînement/détréinement appliqué à la campagne POMME. Assimilation de courants géostrophiques (issus d'analyses, de climatologies ou de modèles comme MERCATOR) dans un modèle de couche de mélange océanique. Couplage d'un modèle de couche de mélange océanique au modèle atmosphérique Meso-NH pour l'étude des cyclogénèses marine.

Visiteur Scientifique:

[Silvana RAMOS-BUARQUE](mailto:Silvana.Ramos-Buarque@cnrm-memo.fr) (CNRM/MEMO)

Sujet: Validation des flux de surface océanique de la Ré-analyse ERA-40. Etude de l'effet du spin-up du modèle sur les flux de surface. Détermination des meilleurs jeux de flux de surface pour le forçage du modèle ORCA-2.

Participation au séminaire: 1 (H. Giordani)

Equipe:

[Georges CHAPALAIN](mailto:Georges.Chapalain@univ-lille1.fr), CNRS, UMR 8110 « Processus & Bilans en Domaines Sédimentaires », Université de Lille1, Bâtiment SN5, 59655 Villeneuve d'Ascq, Georges.Chapalain@univ-lille1.fr

Thème scientifique principal: Couplages

Résumé des activités: Mesure et modélisation des processus hydrodynamiques et hydro-sédimentaires contrôlant la dynamique sédimentaire sur la plate-forme interne et sur les plages sableuses.

Participation au séminaire: 1 (G. Chapalain)

Equipe:

[Isabelle BRENON](mailto:Isabelle.Brenon@univ-lr.fr), isabelle.brenon@univ-lr.fr
[Nicolas POUVREAU](mailto:Nicolas.Pouvreau@univ-lr.fr), nicolas.pouvreau@univ-lr.fr
Centre Littoral De Géophysique, Université de La Rochelle, Avenue Crépeau, 17042 La Rochelle Cedex

Thème scientifique principal: Modélisation.

Résumé des activités: Modélisation du comportement des masses d'eau et du transport sédimentaires dans les milieux côtiers. Impact des différents forçages océaniques (vent, marée, houle). Etude des processus sédimentaires.

Participation au séminaire: 1 (I. Brenon)

Equipe:

[C. BACHER](mailto:C.Bacher@ifremer.fr), cbacher@ifremer.fr
IFREMER, CREMA, BP 5 17137, L 'Houmeau

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation, Couplages, Assimilation, Modélisation

Résumé des activités: Modélisation des interactions aquaculture/environnement

Participation au Séminaire: 1 (C. Bacher)

Equipe:

[Catherine MAILLARD](mailto:Catherine.Maillard@ifremer.fr), Ifremer/TMSI/IDM/SISMER, BP 70 Plouzané 29280, Email : catherine.maillard@ifremer.fr
[Claude MARCHALOT](mailto:Claude.Marchalot@ifremer.fr), Ifremer/TMSI/IDM, département Informatique et Données Marines, BP 70 Plouzané 29280, Email : claude.marchalot@ifremer.fr

Thème scientifique principal: Observation/Mesure

Résumé des activités: 1) Centre national de données océanographiques, 2) participation à des projets européens de compilation de données dont MATER et MEDAR, 3) Développement et mise en œuvre de systèmes d'information opérationnels pour l'océanographie dans le cadre de Coriolis et pour l'océanographie côtière dans le cadre du réseau Roslit/Marel et des réseaux d'observation de l'Ifremer

Participation au séminaire: 2 (C. Maillard, C. Marchalot)

Equipe:

[Pierre COTTY](mailto:Pierre.Cotty@ifremer.fr), TMSI/ID/RIC, pierre.cotty@ifremer.fr
[Claude MARCHALOT](mailto:Claude.Marchalot@ifremer.fr), TMSI/IDM, département Informatique et Données Marines, claude.marchalot@ifremer.fr
IFREMER, Centre de Brest, BP 70 Plouzané 29280,

Thème scientifique principal: Modélisation

Résumé des activités: Infrastructures Informatiques (archivage, réseau, calcul haute performance), Développement et mise en œuvre de systèmes d'information opérationnels pour l'océanographie (dont Coriolis), Centre national de données océanographique SISMER

Participation au séminaire: 2 (P. Cotty, C. Marchalot)

Equipe:

[Philippe MARCHAND](mailto:Philippe.MARCHAND@ifremer.fr), IFREMER - TMSI/OP – BP 70 29280 Plouzané, Philippe.marchand@ifremer.fr
(TMSI/OP = direction de la technologie marine et des systèmes d'information/ responsable thématique océanographie opérationnelle).

Thème scientifique principal: Observation/Mesure

Résumé des activités:

- membre de l'équipe projet golfe de Gascogne (développements technologiques)
- secrétaire exécutif du comité exécutif inter-organismes CORIOLIS
- représentant Ifremer à EuroGOOS (et membre du board)
- advisory board de MAMA (projet UE d'OP unissant les 21 pays méditerranéens)

Nombre de participants séminaire: 1 (P. Marchand)

Equipe:

[Pierre LE HIR](mailto:Pierre.LEHIR@ifremer.fr), plehir@ifremer.fr

[Ricardo SILVA JACINTO](mailto:Ricardo.SILVA_JACINTO@ifremer.fr), rsilva@ifremer.fr

[Florence CAYOCCA](mailto:Florence.CAYOCCA@ifremer.fr), fcayocca@ifremer.fr

IFREMER, Laboratoire Transport Particulaire, IFREMER/DEL/EC/TP, BP70 29280 Plouzané
(Laboratoire de 5 chercheurs + 1 ingénieur + 1.5 technicien).

Thème scientifique principal: Observation/Mesure (hydrodynamique et paramètres sédimentaires);
Modélisation, Couplages hydrodynamique (circulations+vagues) /transport particulaire/sédiment

Résumé des activités: Développement de modèles couplés hydrodynamique et transport dissous/particulaire, dans la colonne d'eau et le sédiment ; effets de liquéfaction des vases par les vagues ; mesures de calibration et validation in situ ; application aux problèmes de l'environnement côtier.

Participation au Séminaire: 2 (P. Le Hir, R. Silva Jacinto ou F. Cayocca)

Equipe:

[Jacques LEGRAND](mailto:Jacques.LEGRAND@ifremer.fr), Jacques.Legrand@ifremer.fr

[Patrice WOERTHER](mailto:Patrice.WOERTHER@ifremer.fr), Patrice.Woerther@ifremer.fr

[Gérard LOAEC](mailto:Gerard.LOAEAC@ifremer.fr), Gerard.Loac@ifremer.fr

Direction Technologie Marine et Systèmes d'Information, Thématique Environnement Côtier (TMSI-EC) IFREMER - Centre de Brest BP 70 - 29280 PLOUZANE - FRANCE

Thème scientifique principal: Mesure.

Résumé des activités: Mesure automatisée haute fréquence des grandeurs caractérisant la qualité générale des eaux côtières et estuariennes.

Participation au Séminaire: 3 (J. Legrand, P. Woerther, G. Loac)

Equipe:

[Philippe CUGIER](mailto:Philippe.CUGIER@ifremer.fr), pcugier@ifremer.fr

[Alain MENESGUEN](mailto:Alain.MENESGUEN@ifremer.fr), amenesg@ifremer.fr

[Annie CHAPELLE](mailto:Annie.CHAPELLE@ifremer.fr), achapel@ifremer.fr

IFREMER, DEL/EC, laboratoire Proliférations Phytoplanctoniques, B.P. 70, 29280 Plouzané

Thème scientifique principal: Couplages modèles physiques et biologiques

Résumé des activités: Modélisation et couplage de modèles biologiques (production primaire, dynamique de population) avec des modèles hydrodynamiques et hydrosédimentaires (2D, 3D, boîtes) ; Mesures in situ et en laboratoire pour calibration et validation des modèles.

Participation au séminaire: 3 (P. Cugier, A. Ménesguen, A. Chapelle)

Equipe:

[Dominique ASTRUC](mailto:Dominique.ASTRUC@imft.fr), astruc@imft.fr

[Noel DOLEZ](mailto:Noel.DOLEZ@imft.fr), dolez@imft.fr

[Dominique LEGENDRE](mailto:Dominique.LEGENDRE@imft.fr), legendre@imft.fr

[Olivier THUAL](mailto:Olivier.THUAL@imft.fr), thual@imft.fr

Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse, UMR 5502, Allée du Pr. C. Soula, 31400 Toulouse,

Thème scientifique principal: Couplages

Résumé des activités: Développement et utilisation de modèles numériques pour l'estimation des flux de sédiments dans le domaine littoral et côtier et l'étude de la dynamique des formes sédimentaires résultant des instabilités du lit (barres littorales, mégarides, dunes et bancs). Etude du déferlement des ondes de surface.

Participation au Séminaire: 0

Equipe:

Jean-Michel BAEY, jean-michel.baey@ago.fr

Marc BOEUF, marc.boeuf@ago.fr.

Laurent RICHIER, laurent.richier@ago.fr

Atlantide, Pôle Sciences et Techniques de la Mer, Technopôle Brest Iroise, Site du Vernis, CS23866, 29238 BREST Cedex 3

Thème scientifique principal: Modélisation

Résumé des activités: Comparaison de modèles mathématiques et de codes de calcul sur la stabilité de tourbillons et de courants ; analyse et exploitation du code Hycom

Participation au séminaire: 2 (J.-M. Baey, M. Bœuf)

Equipe:

Bernard QUEGUINER queguiner@com.univ-mrs.fr

Frédéric DIAZ, diaz@com.univ-mrs.fr

Melika BAKLOUTI, IRD, UR ELISA (R053) baklouti@com.univ-mrs.fr

Université de la Méditerranée, Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Campus de Luminy case 901, 13288 Marseille cedex09.

Christel PINAZO, Université de la Méditerranée, Laboratoire d'Océanographie et de Biogéochimie, Station Marine d'Endoume, Ch. Batterie des Lions, 13007 Marseille. pinazo@com.univ-mrs.fr

Thème scientifique principal: Couplages de modèles physiques et biogéochimiques.

Résumé des activités: Développement de modèles biogéochimiques couplés à des modèles hydrodynamiques côtiers. Etude expérimentale fine des processus biogéochimiques décrits par les modèles afin d'en améliorer les formulations et les paramétrisations. Description explicite de plusieurs cycles d'éléments biogènes aux premiers échelons trophiques et introduction d'une diversité fonctionnelle des communautés planctoniques.

Participation au séminaire: 2 (C. Pinazo, B. Queguiner)

Equipe:

Bertrand CHAPRON, Nicolas REUL, Abderrahim BENTAMY, EZRATY Robert, QUEFFEULOU Pierre, QUILFEN Yves, TOURNADRE Jean, PIOLLE Jean-François, ARCHER Olivier, QUENTEL Marie Laure, LOUBRIEU Francine, MEVEL Sylvie, MICHEL Sylvain, AYINA Hervé-Ludos.

IFREMER, DOPS/Océanographie Spatiale, BP 70, 29280 PLOUZANE

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation.

Résumé des activités: Acquisition des données, étude de la mesure, validation des produits.

Participation au séminaire: 3 (B. Chapron, N. Reul, H.-L. Ayina)

Equipe:

Marc PREVOSTO, Michel OLAGNON, Pierre AILLIOT

TMSI/IDM/COM, Ifremer, Centre de BREST, BP 70, 29280 PLOUZANE

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation.

Résumé des activités: Approches statistiques de représentation des paramètres de l'environnement marin (principalement les vagues). A toutes les échelles (vague, état de mer, climat). Utilisation des différentes sources de données (in-situ, satellite, hindcast).

Participation au Séminaire: 1 (MPrevosto)

Equipe:

SEUBE Nicolas

CHINI Nicolas

ENSIETA, Département d'Automatique, 2 rue F. VERNY, 29806 Brest Cedex 9

Thème scientifique principal: Observation/Mesure.

Résumé des activités: Développement de glisseurs (gliders) : Conception, réalisation, modélisation et intégration capteurs/logiciel embarqué.

Participation au Séminaire: 2 (N. Seube, N. Chini)

Equipe:

Philippe DANDIN, philippe.dandin@meteo.fr

Patrick JOSSE, patrick.josse@meteo.fr

Division Marine et Océanographie, Direction de la Prévision, Météo-France, 42 Avenue G. Coriolis, 31057 Toulouse cedex

Thème scientifique principal: Modélisation opérationnelle

Résumé des activités: Développement et mise en œuvre de modèles de prévision de dérive, de modèles d'états de mer et de modèles de prévision de surcotes océaniques.

Participation au séminaire: 0

Equipe:

G. DAMY, gilbert.damy@ifremer.fr

JP. MOREL, N. GAIGNON, M. Le BOULLUEC, X. BOMPAIS, D. BUISINE,

A. Le NOACH, C. MAISONDIEU, A. LEBEAU

TMSI/RED/HA, Hydrodynamique Appliquée, IFREMER Centre de BREST, BP 70, 29280 PLOUZANE.

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation.

Résumé des activités:

Modélisation de la houle, réponse dynamique des corps flottants, acquisition et analyse de données, inter-comparaisons données expérimentales et modèles numériques

Participation au Séminaire: 3 (C. Maisondieu, M. Le Boulluec, G. Damy)

Equipe:

Eric DUPORTE, eric.duporte@shom.fr

SHOM, CIS (centre d'ingénierie, systèmes et équipements communs)

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Modélisation, Couplages, Assimilation.

Résumé des activités: Coordination des activités de planification, préparation et exécution des campagnes océanographiques du SHOM. Représentant du SHOM dans le projet CORIOLIS.

Participation au Séminaire: 1 (E. Duporte)

Equipe:

Laure PECQUERIE, étudiante en thèse, Laure.pecquerie@laposte.net

IFREMER, Laboratoire Ecologie Halieutique (DRV/EcoHal, Nantes) et Laboratoire Ecologie Côtière (DEL/EC, Brest), 43, rue de Cadouarn, 56860 Séné.

Thème scientifique principal: Modélisation, Couplages

Sujet de thèse : Couplage d'un modèle d'écosystème à un modèle de cycle de vie de poisson : l'anchois du Golfe de Gascogne

Participation au séminaire: 1 (L. Pecquerie)

Equipe: IRD-Nouméa

Pascal DOUILLET, IRD, UR 103 Camelia, IRD Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle Calédonie,

pascal.douillet@noumea.ird.nc.

Sylvain OUILLON, IRD et Université de Toulon, UR 103 Camelia et LSEET, IRD Nouméa, BP A5, 98848 Nouméa, Nouvelle Calédonie, ouillon@noumea.ird.nc.

Loys SCHMIED, Université de Toulon, LSEET, UTV, BP 132, 83957 La Garde Cedex, Loys.Schmied@lseet.univ-tln.fr.

Thème scientifique principal: Modélisation, Mesures, Couplages.

Résumé des activités: Modélisation de l'hydrodynamique et du transport particulaire dans le lagon sud-ouest de Nouvelle-Calédonie (chantier PNEC Nouvelle-Calédonie, thème 1) et dans le lagon de Suva (Fidji). Calibration des modèles à partir de mesures de terrain (courantomètre Doppler, CTD, turbidimètre, houlomètre, spectroradiomètre) et de télédétection satellitale. Modélisation de vagues de vent, influence sur le transport particulaire.

Participation au Séminaire: 1 (P. Douillet)

Equipe:

Jean ROLLAND, jean.rolland@meteo.fr

CNRM/CMM – Météo-France, 13 Rue du Chatellier, BP90411 – 29604 Brest Cedex

Thème scientifique principal: Observation/Modélisation

Résumé des activités: Le Centre de Météorologie Marine (CMM) a en charge le développement et la mise en œuvre des bouées de Météo-France. Le CMM déploie des bouées ancrées et dérivantes dans un cadre opérationnel et/ou recherche.

Participation au Séminaire: 1 (J. Rolland)

Nom :

LOYER Sophie, sloyer@shom.fr

DGO, Université Bordeaux I. Av. des Facultés, 33405 Talence cedex.

Thème scientifique principal: Modélisation, Couplages

Résumé des activités: Développement d'un modèle couplé hydrodynamique (Mars3D), sédimentaire (Siam3D) et biochimique du plateau continental atlantique français. Mesures in-situ et validation du modèle.

Participation au Séminaire: 1 (S. Loyer)

Equipe:

[GUILLOU Nicolas](#)

CETMEF, Département Littoral et Cours d'Eau, Division Hydraulique et Sédimentologie Maritimes, BP5, 29280 Plouzané.

Thème scientifique principal: Modélisation

Résumé des activités: Etudes d'ingénierie axées sur la modélisation des conditions hydro-sédimentaires. Activités de recherche dans le cadre de la préparation d'une thèse en dynamique sédimentaire.

Participation au Séminaire: 1 (N. Guillou)

Equipe:

[Fabienne GAILLARD](#), DOPS-IFREMER, BP 70, 29280 Plouzané, Fabienne.Gaillard@ifremer.fr

Thème scientifique principal: Observation/Mesure, Assimilation.

Résumé des activités: Mise en place de la collecte systématique des mesures navires (XBT, thermosalinomètres, ADCP de coque). Analyses temps réel des champs de température et de salinité en Atlantique. Zoom côtier en collaboration avec DEL/AO.

Participation au Séminaire: 1 (F. Gaillard)

7.7. Liste des participants

LISTE DES PARTICIPANTS AU SEMINAIRE D'HYDRODYNAMIQUE COTIERE 15 - 16 - 17 SEPTEMBRE 2003			
NOM	PRENOM	ORGANISME	Participation
ARDHUIN	Fabrice	SHOM/CMO	X
ASTRUC	Dominique	IMFT	
AUCLAIR	Francis	LA/POC	
AUMONT	Olivier	LODYC	
AYINA	Hervé-ludos	IFREMER	
BACHER	Cédric	IFREMER	X
BAEY	Jean-Michel	ATLANTIDE	X
BAILLY DU BOIS	Pascal	IRSN	X
BAHUREL	Pierre	MERCATOR	
BARAILLE	Rémy	SHOM/CMO	X
BARNIER	Bernard	CNRS/LEGI	X
BARNOUIN	Bruno	IFREMER	X
BENTAMY	Abderrahim	IFREMER	
BIROL	Florence	CNRS/LEGI	X
BLAYO	Eric	LMC/Grenoble	X
BŒUF	Marc	ATLANTIDE	X
BRASSEUR	Pierre	CNRS/LEGI	
BRENON	Isabelle	Univ.LR/CLDG	X
CARLOTTI	François	CNRS/Univ-Bordeaux	X
CARTON	Xavier	IFREMER/LPO	X
CASAGRANDE	Gaëlle	SHOM/CMO	X
CAYOCCA	Florence	IFREMER	X
CHAPALAIN	Georges	CNRS/Univ-Lille	X
CHAPELLE	Annie	IFREMER	X
CHAPRON	Bertrand	IFREMER	X
CHINI	Nicolas	ENSIETA	X
CHOPPIN	Lorraine	BRGM	
COCHIN	Véronique	AVELMOR	X
COTTY	Pierre	IFREMER	X
CUGIER	Philippe	IFREMER	X
DANIAULT	Nathalie	UBO/LPO	
DAMY	Gilbert	IFREMER	X
DEBREU	Laurent	LMC/Grenoble	X
DEMARCQ	Hervé	IRD	
DE MEY	Pierre	CNRS/LEGOS	X
DE ROECK	Yann-Hervé	IFREMER	X
DESAUBIES	Yves	IFREMER/LPO	X
DESPIAU	Serge	Univ-Toulon/UTV	
DEVENON	Jean-Luc	Univ-Marseille/LOB	X

DOUILLET	Pascal	IRD	X
DUMAS	Frank	IFREMER	X
DUPORTE	Eric	SHOM/CMO	X
DURRIEU DE MADRON	Xavier	CNRS/CEFREM	X
ECHEVIN	Vincent	LODYC	X
ESTOURNEL	Claude	CNRS/POC	X
FLORENCHIE	Pierre	UCT	X
FORGET	Philippe	CNRS/Univ-Toulon	X
FRAUNIE	Philippe	Univ-Toulon/UTV	X
GAILLARD	Fabienne	IFREMER	X
GARCON	Véronique	LEGOS	
GARREAU	Pierre	IFREMER	X
GIORDANI	Hervé	METEO France	
GOHIN	Francis	IFREMER	X
GUILLOU		CETMEF	X
GUIZIEN	Katell	CNRS/LOBB	X
HAUSER	Daniele	CETP/IPSL	X
HERBETTE	Steven	SHOM	X
HURET	Martin	IFREMER	X
JEANSOU	Eric	NOVELTIS	X
JEGOU	Anne-Marie	IFREMER	X
JOSSE	Patrick	METEO France	
JOURDAN	Didier	SHOM/CMO	
JOURDIN	Frédéric	SHOM/CMO	X
KERLEGUER	Laurent	SHOM/CMO	X
LAMOUREUX	Julien	LEGOS/POC	X
LAZURE	Pascal	IFREMER	X
LE BOULLUEC	Marc	IFREMER	
LEFEBVRE	Alain	IFREMER	X
LEGRAND	Jacques	IFREMER	X
LE HIR	Pierre	IFREMER	X
LE PROVOST	Christian	CNRS/LEGOS	X
LEREDDE	Yann	Univ-Marseille/LOB	X
LE VERGE	François	IFREMER	
LOAEC	Gérard	IFREMER	X
LOISEL	Hubert	Univ-Littoral/ELICO	
LOYER	Sophie	SHOM	X
LUX	Muriel	LA/POC	X
LYARD	Florent	CNRS/LEGOS	X
MACHU	Eric	IRD/UR/IDYLE	X
MADEC	Gurvan	LODYC	
MAILLARD	Catherine	IFREMER	X
MAISONDIEU	Christophe	IFREMER	X
MANGIAROTTI		LEGOS/POC	X
MARCHALOT	Claude	IFREMER	X
MARCHAND	Phillipe	IFREMER	X
MARCHESIELLO	Patrick	IRD/UR/IDYLE	X
MARIETTE	Vincent	AVELMOR	X

MARSALEIX	Patrick	CNRS/POC	
MEMERY	Laurent	LODYC	X
MENESGUEN	Alain	IFREMER	X
MERCIER	Herlé	IFREMER	X
MINSTER	Jean-François	IFREMER	X
MONFRAY	Patrick	CNRS/LEGOS	X
MOREL	Yves	SHOM/CMO	X
MORTIER	Laurent	LODYC	X
MOURRE	Baptiste	LEGOS	X
PAIRAUD	Yvonne	Labo d'Aérologie	X
PECQUERIE	Laure	IFREMER	X
PEDEROS	Rodrigo	BRGM	X
PENDUFF	Thierry	CNRS/LEGI	X
PENVEN	Pierrick	IRD/UR/IDYLE	X
PETRENKO	Anne	Univ-Marseille/LOB	X
PICHON	Annick	SHOM/CMO	X
PINAZO	Christel	Univ-Marseille/LOB	
PINEAU-GUILLOU	Lucia	OPTIMER	X
PLANQUE	Benjamin	IFREMER	X
POULIQUEN	Sylvie	IFREMER	X
PREVOSTO	Marc	IFREMER	
PRIEUR	Louis	CNRS/LOV	X
QUEGUINER	Bernard	Univ-Marseille/LOB	X
REUL	Nicolas	IFREMER	X
REVERDIN	Gilles	LODYC	X
REY	Vincent	Univ-Toulon/UTV	
RIOU	Gérard	IFREMER	X
ROLLAND	Jean	METEO France	X
ROQUET	Hervé	METEO France/CMS	X
ROULLET	Guillaume	UBO/LPO	X
ROY	Claude	IRD/UR/IDYLE	X
SAND	Aurélie	CNES	
SENTCHEV	Alexei	Univ-Littoral/ELICO	X
SERPETTE	Alain	SHOM/CMO	X
SEUBE	Nicolas	ENSIETA	X
SILVA JACINTO	Ricardo	IFREMER	X
SPEICH	Sabrina	UBO/LPO	X
TESTOR	Pierre	LODYC	
THOMIN	Pascale	IFREMER	X
TREGUIER	Anne-Marie	IFREMER	X
VANDERMEIRSCH	Frédéric	IFREMER	X
VANHOUTTE	Alice	IFREMER	X
VERRON	Jacques	CNRS/LEGI	X
WOERTHER	Patrice	IFREMER	X