

2. OCEANOGRAPHIE:

Contributeurs: David Antoine (LOV, PI OCAPI), Fabrice Ardhuin (LOS, CS TOSCA océan), Bruno Blanke (LPO, CS TOSCA océan), Pascal Bonnefond (OCA, président OSTST), Jacqueline Boutin (LOCEAN, CS TOSCA océan), Annick Bricaud (LOV, CS TOSCA océan), Eric Dombrowsky (Mercator-Océan, CS TOSCA océan), Lionel Gourdeau (LEGOS, CS TOSCA océan), Danièle Hauser (LATMOS, PI CFOSAT), Juliette Lambin DSP/TEC (CNES DSP/TEC, thématique Océan-Cryosphère), Benoît Legresy (LEGOS, CS TOSCA océan), Marina Lévy (LOCEAN, CS TOSCA océan), Hubert Loisel (LOG, CS TOSCA océan), Rosemary Morrow (LEGOS, PI SWOT), Jacques Verron (LGGE, président du groupe TOSCA océan, PI SARAL/AltiKa)

2.A. INTRODUCTION

Le périmètre scientifique de ce bilan est d'abord celui de l'océanographie. Il inclut aussi la cryosphère principalement dans sa composante marine bien que la distinction soit parfois subtile entre les composantes de la cryosphère et peu utile en pratique puisque nous travaillons en partenariat avec les autres groupes thématiques, notamment les surfaces continentales. Plus largement, on peut souligner que l'observation de la terre, et la science associée, n'est pas vraiment compartimentée selon les groupes du TOSCA. Parler d'océanographie est une facilité de classement mais nombre des projets scientifiques vus par le groupe Océan ont une dimension transversale commune avec l'atmosphère (par exemple pour le climat), les surfaces continentales (climat, cryosphère, hydrologie) et parfois la géophysique interne (géodésie). En pratique, nous n'avons jamais eu une vision très strictement thématique. Les missions spatiales par elles-mêmes sont souvent transversales, le meilleur exemple étant l'altimétrie qui couvre aussi bien des objectifs d'océanographie, de climat, d'hydrologie, de cryosphère, de géodésie, etc. et se révèle le creuset de compétences pluridisciplinaires.

Les grands enjeux scientifiques identifiés lors de la prospective de 2009 concernaient de manière synthétique:

- 1. Les problématiques liées aux zones côtières**
- 2. L'océanographie opérationnelle**
- 3. Les changements à long terme de l'océan**

A l'issue de ses réflexions sur ces grands thèmes, le groupe Océan avait mis en avant les recommandations suivantes au séminaire de Biarritz 2009, par ordre de priorité décroissante:

En ce qui concerne les missions satellites déjà planifiées :

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

En ce qui concerne les missions satellites faisables d'ici ~2016 :

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

Envisageables entre ~2016 et ~2020 :

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

A examiner pour faisabilité après ~2020 :

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

Par ailleurs, le groupe Océan avait pris acte de la sélection faite par l'ESAC pour les "core mission" du programme "Earth Explorers", et souligne l'intérêt pour l'océanographie des mesures de l'épaisseur des glaces que fournirait la mission COREH2O. Il avait évoqué son intérêt potentiel pour la mission BIOMASS pouvant fournir une contribution à la cartographie de la salinité de surface des océans.

2.B. LES AVANCEES SCIENTIFIQUES

L'analyse de nos avancées scientifiques est fondée sur ce qui émerge des projets vus par le TOSCA à divers titres: soit en tant que proposition scientifique proprement dite soumise à l'appel à proposition annuel du CNES, soit en tant que proposition soumise dans le cadre de l'Ocean Surface Topography Science Team (OSTST) en réponse à l'appel d'offres quadri-annuel commun au CNES, à la NASA et à EUMETSAT, soit au sein des études scientifiques dans le cadre de missions engagées (SMOS, CFOSAT, SARAL/AltiKa, OCAPI, SWOT). La segmentation qui suit reflète en pratique les thèmes dominants que l'on peut distinguer sous la thématique océan/cryosphère.

Altimétrie

L'altimétrie spatiale a atteint un grand niveau de maturité et le CNES en est un acteur de premier plan, participant de fait à toutes les missions altimétriques en opérations ou décidées. Le nom "AVISO" du portail de données d'altimétrie maintenu par le projet SALP du CNES est synonyme de "données altimétriques" par les scientifiques du monde entier. La communauté française est à la hauteur de cet investissement et participe activement à l'Ocean Surface Topography Science Team. Les travaux réalisés continuent à faire état d'une forte composante de calibration / validation, avec des étapes nécessaires d'élaboration de corrections de qualité. Cette activité est au service de toute la communauté qui exprime son intérêt pour un inter-étalonnage fiable et précis entre les différentes missions altimétriques, pour accéder à des séries temporelles longues et homogènes et pour pouvoir aisément combiner les missions entre elles. Sur la base des réponses au dernier appel d'offres OSTST, les applications scientifiques de l'altimétrie concernent:

- **L'océanographie dynamique et les circulations océaniques à grande et moyenne échelle:** études sur ondes planétaires libres et forcées, dynamique des ondes de Kelvin et des tourbillons dans les tropiques, monitoring du courant Antarctique Circumpolaire au passage de Drake, transport sur le plateau des Kerguelen, intercomparaison avec l'in situ dans l'Atlantique tropical, etc.
- **L'océanographie dynamique à moyenne et fine échelles:** études des fines structures dans le sud ouest Pacifique et l'Atlantique Nord, mélange, diffusion et transports par les tourbillons océaniques dans l'Océan Austral, etc.
- **L'océanographie climatique:** estimation des flux de chaleur, variabilité du stockage de la chaleur dans l'Atlantique sud, etc.
- **Les développements méthodologiques en direction de l'altimétrie côtière:** amélioration de l'utilisabilité de la mesure altimétrique en zone côtière pour les applications opérationnelles, approches multicateurs, etc..
- **La marée :** amélioration constante de la connaissance des marées à l'échelle globale et régionale, développement des modèles globaux et régionaux de la marée à fine résolution, ondes internes de la marée, marées dans les estuaires, marées sous les glaces en Antarctique.
- **Le niveau de la mer:** variabilité globale et régionale du niveau de la mer mais aussi calibration/validation des tendances à long terme avec des mesures marégraphiques, etc.
- **Les glaces:** topographie des glaciers et des calottes polaires, évolution en réponse aux fluctuations climatiques
- **L'hydrologie:** extension de l'altimétrie océanographique aux eaux continentales, lacs et rivières
- **Le vent et les vagues:** observations et caractérisation des événements extrêmes, application avec les modèles de prévision opérationnel des états de mer, etc.
- **La biogéochimie:** observations et analyses des interactions physique-biogéochimie associées aux tourbillons et aux ondes planétaires dans l'océan, lien entre différents types de variabilité climatique et production primaire, etc ..

- **L'écologie** : habitats et comportement des prédateurs supérieurs (frégates, éléphants de mer, ..) dans les champs de tourbillons, lien entre mélange turbulent et biodiversité planctonique, etc ..
- **La modélisation et l'assimilation de données**: développement des synergies entre observations satellites, in situ et les modèles d'océan, développements de méthodes d'assimilation de données pour l'intégration des données altimétriques dans les modèles physiques et physico-biogéochimiques, approches multi-échelles pour l'intégration altimétrie, couleur de l'océan et SST, etc...

Sur la période des 4 ans passés on note des avancées particulières, et non encore complètement abouties, en direction de l'océanographie côtière, un nombre notable de travaux sur la glace et des évidentes convergences entre l'altimétrie océanographique et hydrologique. L'OSTST couvrant largement les applications scientifiques de l'altimétrie, relativement peu de projets sont soumis au TOSCA en réponse à l'AO annuel. Parmi ceux-ci on note cependant plusieurs projets sur la glace (dérive de banquise en Arctique, vélage d'un iceberg géant en Antarctique, climatologie des icebergs de petite taille dans l'océan austral, couverture de glace des lacs et mers intérieures dans l'Hémisphère Nord, estimation par radar de l'épaisseur de neige et de glace de mer, etc.)

Par ailleurs, les missions engagées SARAL/AltiKa et SWOT présentent les projets de leurs groupes missions respectifs où l'on note:

- du côté de SARAL des ouvertures nouvelles liées aux potentialités de la bande Ka (côtier, hydrologie, calotte polaire) et de sa meilleure résolution pour l'accès aux mésoéchelles
- du côté de SWOT des travaux fondamentaux sur les sous-mésoéchelles, l'observabilité de l'altimétrie haute résolution, la modélisation et l'assimilation de données dans cette perspective haute-résolution.

Salinité

Les réseaux de mesure in situ de la salinité de surface se sont grandement améliorés ces dernières années (flotteurs de surface, navires marchands, ...), sans offrir cependant une couverture extensive dans l'espace ou dans le temps. La mesure fiable de la salinité de surface depuis l'espace représente donc un enjeu précieux, essentiellement pour des thématiques liées à l'océanographie et au climat du fait de la précision et des échelles aujourd'hui accessibles : suivi des panaches fluviaux, couches barrière, connaissance des processus d'évaporation/précipitations de grande échelle, cycles biogéochimiques...

La mission SMOS (et Aquarius pour la NASA) reproduit relativement bien la grande échelle des structures spatiales de SSS, avec moins de zones d'ombre liées à des interférences en radiofréquences que sur les sols continentaux, et a permis de suivre la variabilité de structures de salinité à moyenne échelle (panaches fluviaux, Gulf Stream, upwelling de Panama...).

Le principe d'extraction du signal de salinité bénéficie des travaux pionniers basés sur des mesures en laboratoire et aéroportées depuis les années 70 ; il repose sur la dépendance de l'émissivité de la surface de la mer à la salinité à basse fréquence dans le domaine microonde et a été appliqué avec succès, avant le lancement de SMOS, sur les mesures AMSR-E en zone tropicale. De nombreux progrès restent envisageables tant dans la reconstruction d'image de la mesure SMOS (il s'agit en effet de la première mission satellitaire portant un radiomètre interférométrique pour l'observation de la terre), que dans la correction des signaux parasites affectant cette bande de fréquence (problème commun à SMOS et AQUARIUS) . Les capteurs utilisés dans SMOS et Aquarius travaillent en bande L à une fréquence correspondant à un compromis entre sensibilité à la SSS et résolution spatiale effective.

L'inscription dans la durée de l'acquisition de mesures de salinité depuis l'espace et les progrès envisagés sur leur précision permettent donc de définir comme double objectif à moyen terme la dérivation de séries climatiques et l'identification de structures frontales.

En relation avec la mission SMOS (lancée en 2009), le groupe Océan du TOSCA a accompagné de nombreux travaux d'étalonnage / validation et quelques études scientifiques:

- l'optimisation de la modélisation directe du signal radiométrique en bande L au dessus de l'océan grâce à l'apport des mesures radiométriques aéroportées CAROLS et à l'analyse des premières mesures SMOS ; rôle de la rugosité de surface
- l'optimisation de l'inversion de mesures radiométrique bande L en SSS, incluant en particulier l'élaboration de tri soigneux des mesures du fait des nombreuses radio-interférences en bande L
- l'amélioration de notre connaissance de la variabilité de la salinité dans les premiers mètres de l'océan, la radiométrie en bande L échantillonnant seulement le premier cm de la surface océanique alors que les mesures in situ traditionnelles sont réalisées à plusieurs m de profondeur,
- la maintenance et l'amélioration des réseaux de mesures in situ de SSS
- l'amélioration de la cartographie "optimale" de la SSS réalisée à partir de toutes les mesures in situ

- disponibles et sa production régulière
- la confrontation mesures SSS SMOS aux mesures in situ à des fins de validation de la mesure SSS SMOS
- l'analyse de la SSS SMOS dans des zones à forte variabilité (notamment Atlantique et Pacifique tropical) et/ou dans des zones frontales, et/ou associée au passage de cyclones; détection du signal océanique et complémentarité par rapport aux mesures in situ.

Les chantiers proposant une utilisation effective des données SMOS restent encore peu nombreux, du fait des incertitudes qui existent encore sur la mesure de salinité de surface et de la nécessité de traiter des gradients spatiaux prononcés. Une réflexion sur une mission SMOS follow-on est d'ores et déjà d'actualité pour préciser le futur de ces travaux sur la télédétection de la salinité depuis l'espace.

Interface air-mer

La caractérisation de l'interface air-mer est intimement associée à la physique de la mesure de la plupart des capteurs (altimètres, diffusiomètres, radiomètres ...) et à des applications scientifiques et opérationnelles : étude des états de mer, des flux air-mer de quantité de mouvement et de gaz, hydrodynamique côtière, génie océanique et côtier.

La rétrodiffusion de signaux radars ou optiques sur l'eau (systèmes actifs) et l'émissivité de la surface marine (systèmes passifs) sont extrêmement sensibles à la rugosité et la géométrie de la surface de la mer, et peut être traduite selon les cas en vent de surface (qui induit une rugosité de la surface) ou en état de mer (caractéristiques spectrales des vagues : houle, mer du vent...). Ces processus ont une dynamique rapide, largement forcés par la dynamique atmosphérique mais avec un effet de mémoire qui se traduit par le rayonnement de houles à travers les océans, dont le bilan énergétique n'est pas bien compris. La caractérisation fine de l'interface est essentielle pour l'interprétation de la plupart des mesures de l'océan par télédétection, pour la bonne compréhension des couplages océan-atmosphère, leur modélisation et pour la prévision opérationnelle des états de mer (sécurité de la navigation) et la prévision atmosphérique. Le forçage de la dynamique littorale par le vent et les vagues est par ailleurs un aspect important pour les applications côtières. Les mesures de vent de surface par diffusiométrie et radiométrie sont acquises et exploitées de façon opérationnelle pour les besoins météo à des résolutions supérieures à la dizaine de kilomètres. La «diffusiométrie nadir» fournie par les altimètres en est un complément important. A plus haute résolution, indispensable en zone côtière, seuls les radars à synthèse d'ouverture peuvent aujourd'hui fournir des données pertinentes et indispensables pour le déploiement d'éoliennes en mer ou l'étude de la circulation océanique côtière. Les démonstrations réalisées sur l'exploitation géophysique du Doppler moyen enregistré par Envisat permettent dès aujourd'hui d'envisager des missions radar Doppler pour les vents et courants côtiers (SWORD, Wavemill, ...). Cela sera en partie permis par SWOT. A plus grande échelle, la complémentarité des mesures radiométriques et "diffusiométrie nadir" sur les altimètres est par ailleurs très intéressante pour les événements de type ouragan. L'arrivée de radiomètres (SMOS) et diffusiomètres (ALOS) en bande L permet désormais d'échantillonner des vitesses de vent extrêmes où le signal ne sature pas et est faiblement atténué par la pluie. Les projets d'observation en bande P sont à ce titre très intéressants pour l'océan. En revanche, la caractérisation des vagues n'est possible que très partiellement avec les missions actuelles. La mission CFOSAT développée par le CNES et la CNSA va offrir pour la première fois une mesure dédiée du spectre directionnel des vagues, colocalisée avec une mesure de vent, qui permettra de décrire finement cette physique d'interface O/A, d'améliorer en conséquence sa représentation dans les modèles, ainsi que de mieux comprendre les échanges (de température, mouvement, carbone...) qui s'y produisent.

Le TOSCA contribue à la mise au point des algorithmes d'inversion et à la préparation de la calibration/validation des instruments concernés. Les activités en amont sur la nature des ondes de surface océanique et en aval, comme la modélisation du champ de vagues, sont également développées dans ce cadre.

Glace de mer

Outre les missions altimétriques dédiées (IceSAT et CryoSAT) à l'observation de la glace de mer, des propriétés (étendue, dérive, âge) de la banquise est essentiellement assurée par les diffusiomètres, dans lesquels on peut compter les SARs, et radiomètres (SSM/I, AMSR, SMOS). A ce titre, la continuité des séries diffusiométriques de ERS et QuikSCAT est bien assurée par ASCAT sur Metop, avec des développements méthodologiques sur l'estimation de propriétés de la glace (proxy de la rhéologie) et de courants sous la glace. L'analyse des événements de fonte récents en arctique fait de l'exploitation complémentaire de toutes ces données, une source importante d'avancées scientifiques.

Biogéochimie

Les projets de recherche soutenus par le TOSCA en biogéochimie ont porté essentiellement sur trois aspects :

Les développements d'algorithmes

En dépit de son nom à connotation poétique, la "couleur de l'océan" par satellite est une mesure extrêmement exigeante en termes de précision radiométrique et d'utilisation puisqu'il s'agit d'aller observer, au travers de l'atmosphère, des structures dans un milieu optiquement très uniforme, au moins pour ce qui est de la perception humaine. L'interprétation des signaux satellites couleur de l'océan pour l'estimation des différentes composantes biogéochimiques (charge en matières en suspension, biomasse végétale, contributions des différents groupes phytoplanctoniques, concentration en matière organique dissoute colorée...) a donné lieu à de nombreux développements algorithmiques (aussi bien pour l'atmosphère que pour l'océan), essentiellement pour le milieu côtier. Cela inclut d'une part l'amélioration des corrections atmosphériques, d'autre part la compréhension des signaux radiométriques marins en fonction de ces composantes. Le TOSCA a aussi contribué à des projets internationaux incluant l'océan ouvert (e.g. projet Malina), qui ont généré ou génèreront de nouveaux progrès algorithmiques. Enfin, les liens tissés avec le KORDI Coréen ont permis de travailler sur les données de l'instrument GOCI pour démontrer l'intérêt des mesures couleur en géostationnaire pour le suivi des panaches.

Les développements technologiques

Bien qu'actuellement peu impliqué dans des missions spatiales dans le domaine de la couleur de l'océan (citons tout de même POLDER/PARASOL et la contribution CNES à Sentinel-3), le TOSCA a soutenu un certain nombre de travaux visant à améliorer les mesures in situ intrinsèquement complémentaires des satellites :

Tout d'abord, la validation des développements algorithmiques exige le développement de systèmes de validation in situ pointus, et des avancées techniques importantes ont été réalisées dans ce champ, comme le développement de caméras effectuant des mesures directionnelles, l'amélioration des protocoles de mesure de la réflectance marine en milieux côtiers et le développement d'instruments pour la mesure d'indicateurs de diffusion polarisés.

Ensuite, certains développements technologiques ont porté sur l'acquisition d'informations biogéochimiques à partir de microcapteurs optiques fixés sur des flotteurs autonomes ou sur des éléphants de mer, et cela aussi bien pour les eaux côtières que pour les eaux du large. Cet axe de recherche est essentiel pour les activités de développement algorithmique, pour la calibration/validation des données couleur de l'eau, pour l'accès à la dimension verticale en complément de l'information satellitaire, ainsi que pour l'acquisition de données dans des zones à fortes couvertures nuageuses et sans éclaircissement (hivers aux hautes latitudes).

Dans cette veine, le TOSCA a ainsi soutenu des projets en amont (acquisition de données in situ par les flotteurs-profileurs ou par les mammifères marins), qui sont ou seront essentiels pour ces progrès algorithmiques. Les projets combinant les données satellitaires et les données des plateformes autonomes. L'utilisation "en synergie" des différents moyens de mesures (satellites et plateformes autonomes : glider, flotteur, ..) se généralise et devra être encouragée dans le futur.

Les études du couplage physique-biogéochimie

Il s'agit de recherches aval et/ou intégrée, pour lesquelles on note les projets suivants soutenus par le TOSCA

- Développement d'une plate-forme de modélisation couplée physique-biogéochimie pour l'océan Indien sud
- Etude des événements El Nino de type "central-pacifique" d'un point de vue biogéochimique.
- Amélioration de la quantification des contributions relatives des différentes pompes (physique, biologique, solubilité) dans l'océan
- Développement d'outils de surveillance de la qualité des eaux fluviales et estuariennes par télédétection spatiale et modélisation
- Etudes sur le lien entre changement climatique et flux de carbone stimulés par le rayonnement solaire dans l'océan Arctique
- Etude de l'enrichissement de l'océan par des cendres volcaniques autour des Vanuatu.

Pour finir, notons quelques faits marquants et avancées majeures des 4-5 dernières années permises par le spatial dans le domaine de l'océanographie physico-biogéochimique :

- les observations spatiales sont le plus souvent utilisées en combinaison entre elles ("multi-capteur"), car la compréhension des processus et l'étude de leur variabilité passe par la confrontation d'informations synoptiques concernant à la fois la dynamique de l'océan et la biogéochimie (SST, SSH, couleur, vent). Le fait de disposer de différents instruments sur la même plateforme (typiquement SST et Chl) facilite grandement l'étude des couplages, et ce, à toutes les échelles (submésos à décennale).

- Ces observations multi-capteurs sont complétées par les observations in-situ : en particulier les flotteurs ARGO apportent une variable essentielle qui n'est pas- à l'heure actuelle- accessible depuis l'espace et qui est cruciale en biogéochimie : la profondeur de la couche mélangée.
- L'utilisation de la couleur de l'océan est devenue incontournable en modélisation biogéochimique pour l'évaluation des modèles : ceci pose éventuellement la question du développement et de la mise à disposition de produits régionaux (i.e. obtenus avec des algorithmes régionaux) pour la communauté des modélisateurs. Ce besoin s'est fait ressentir dans le cas de l'océan Austral où les algorithmes standards semblent fortement biaisés (facteur 2 à 3 sur la Chl).
- Le développement de flotteurs dédiés à la biogéochimie (Provbio) permet de compléter les informations spatiales par la dimension verticale sous la surface ce qui permet une meilleure estimation des stocks.
- L'accès à une information synoptique sur la disponibilité en sels nutritifs devrait permettre des avancées majeures : le développement de capteurs miniaturisés de nutriments qui pourraient être déployés sur des flotteurs va dans ce sens.
- D'énormes progrès ont été réalisés quant à la possibilité de télédétection de la vitesse verticale (à partir de l'information sur la SST et la SSH) : c'est extrêmement prometteur en biogéochimie où les vitesses verticales jouent un rôle clef, particulièrement à l'échelle des tourbillons et des filaments océaniques.
- Les observations spatiales sont en train de permettre des avancées majeures en écologie, et c'est tout à fait nouveau. C'est vrai au niveau du phytoplancton avec la détection de groupes phytoplanctoniques qui permet un accès à des indexes de biodiversités. C'est vrai pour les prédateurs marins dont les trajectoires sont suivies par GPS avec une grande précision, permettant de relier leurs comportements (déplacement, alimentation) à la spécificité du terrain qu'ils explorent (SST, SSH).
- Les nouvelles approches lagrangiennes à partir de l'altimétrie (type exposants de Lyoponov, advection de la SST ou de la SSS) ont significativement augmenté notre capacité à détecter les structures frontales fines, avec de nombreuses applications.
- L'utilisation statistique des informations à petite échelle spatiale apportée par le spatial en est à ses balbutiements. Un des freins est la couverture nuageuse. Le développement de méthodes statistiques d'interpolation est une voie qui commence à montrer son potentiel.

Divers

Certains autres travaux proposés au TOSCA océan, éventuellement à cheval avec d'autres groupes thématiques, ont concernés les sujets suivants:

- **La bathymétrie:** simulateur de lidar bathymétrique, gravimétrie par altimétrie haute résolution pour l'amélioration de la bathymétrie
- **Les balises ARGOS:** développement d'une nouvelle génération de balise ARGOS pour équiper les éléphants de mer, en vue d'acquérir des données à haute résolution en température, salinité, oxygène dissous, fluorescence dans les 500 m superficiels de l'océan et d'avoir accès à la sous-mésosécherelle océanique, et particulièrement dans l'Océan Austral
- **La réflectométrie GNSS**
- **L'écologie:** étude des phoques de Weddell et bio-océanographie de la banquise Antarctique.

Intégration

L'océan est un milieu difficile d'accès, en surface et surtout en profondeur : les observations spatiales sont essentielles pour appréhender la plupart des phénomènes à l'échelle globale et dans leur dimension temporelle. Pour autant, elles ne permettent pas d'observer la dimension verticale, les observables spatiales sont rarement directement une variable d'état du système. La donnée spatiale ne doit et ne peut pas considérée autrement que combinée avec d'autres données spatiales ou in situ et en association plus ou moins étroite avec de la modélisation.

Pour la dynamique de l'océan, la modélisation numérique océanique bénéficie largement des apports de l'altimétrie spatiale qui se révèle notamment indispensable pour les missions de la prévision numérique opérationnelle ou pour la réanalyse de la circulation océanique des dernières décennies.

De plus, cette modélisation physique est souvent associée, au moins à l'échelle d'un bassin, à un couplage avec un module biogéochimique, permettant de valoriser simultanément un ensemble de produits satellite : vents, couleur de l'eau, SSH, etc.

L'utilisation méthodologique des produits spatiaux en océanographie physique fait souvent appel à des travaux d'assimilation de données, notamment en relation avec le système de modélisation communautaire NEMO. Ces méthodes d'assimilation de données font partie intégrante des chaînes d'océanographie opérationnelle.

L'utilisation combinée de différents produits spatiaux justifie des travaux essentiellement méthodologiques. Le groupe Océan a ainsi accompagné des travaux d'inversion de profils verticaux de chlorophylle par une approche neuronale, la reconstruction de la dynamique 3D de l'océan à partir d'images de haute résolution de sa surface ou la dérivation de quantités proxy pour le transport de certaines veines d'eau à partir de la connaissance du niveau de la mer.

Faiblesses

Cette analyse de bilan a conduit à identifier quelques insuffisances et fragilités dont on peut mentionner certaines:

- **Altimétrie:** La pérennité de la filière altimétrique multi-satellite n'est pas garantie dans l'état actuel des instruments en orbite ou prévus pour lancement. Cette difficulté est de nature à remettre en question l'existence de séries climatiques longues et les usages opérationnels.
- **Flux océan-atmosphère:** L'estimation des flux turbulents de chaleur échangés entre l'atmosphère et l'océan demande la connaissance de la SST, de l'humidité spécifique, de la température de l'air et de la vitesse du vent. Les estimations actuelles de ces flux (et notamment du flux de chaleur sensible) révèlent des biais systématiques et des erreurs au regard des estimations in situ disponibles (effectuées par des bouées ou des navires instrumentés), avec des amplitudes allant jusqu'à 50 W/m². La méconnaissance des paramètres atmosphériques (humidité et température de l'air) est principalement à l'origine de ces incertitudes. La connaissance de ces flux est pourtant essentielle pour assurer ou valider la cohérence de simulations climatiques ou d'études de processus océaniques.
- **Biogéochimie:**
 - Peu de recherche algorithmique concernant l'océan ouvert, alors que (même si ce milieu est moins complexe que l'océan côtier) de nombreuses questions subsistent (algorithmes régionaux vs. globaux, quantification des erreurs, paramétrisation de certains composants pour les modèles bio-optiques etc...).
 - Peu de recherche sur l'exploitation de l'information hyperspectrale, alors que ces données peuvent donner accès à de nouveaux produits biogéochimiques, aussi bien dans l'océan côtier que dans l'océan ouvert.
 - L'articulation entre les excellentes compétences de la communauté française dans le domaine de la physique de la mesure et dans les applications scientifiques n'est pas développée à un niveau optimal

Ouvertures

- **Océanographie côtière:** Les principaux domaines émergents en océanographie physique liés à l'altimétrie spatiale concernent le domaine côtier et plus généralement l'utilisation des données altimétriques de haute résolution spatiale (étude de la variabilité tourbillonnaire, reconstruction de la dynamique de subsurface en croisant des informations de niveau de la mer avec d'autres sources de données comme la SST, états de mer pour la caractérisation d'événements extrêmes).
- **Rôle de l'océan dans le cycle du carbone :** On estime aujourd'hui qu'environ un quart des rejets anthropiques de CO₂ dans l'atmosphère sont absorbés par l'océan. Les estimations basées sur l'inversion des mesures atmosphériques restent, à l'heure actuelle, plus incertaines que les estimations déduites d'inversions océaniques ou d'estimations 'bulk' faisant intervenir la vitesse de transfert et le gradient de pression partielle du gaz à l'interface air-mer. Pour ces dernières, les vents satellitaires ont été largement utilisés pour décrire la variabilité spatio-temporelle de la vitesse de transfert et les produits vent-vagues décrits ci-dessus pourraient, dans le futur, fournir de nouvelles contraintes ; les champs de SST, SSS, couleur de l'eau et anomalie de la hauteur de la mer sont des outils puissants pour interpréter et extrapoler la pression partielle de CO₂ océanique dont dépend localement le sens des échanges. Prévoir l'évolution à long terme du puits océanique nécessite de bien comprendre et modéliser les processus contrôlant la distribution du carbone dans l'océan et passe par la modélisation physique/biogéochimique décrite ci-après. Etant données les avancées récentes, il serait hautement intéressant d'étudier les contraintes posées par les paramètres élaborés qui commencent à être accessibles à partir des instruments couleur de l'eau (e.g. production primaire, carbone organique dissous) vis à vis des simulations des modèles physiques-biogéochimiques.
- **Echelles fines:** L'ouverture scientifique majeure de ces dernières années concerne l'accès aux échelles inférieures à la mésoéchelle. Celle-ci s'est faite comme souvent par une conjonction de fait entre des

capacités d'observation plus ou moins émergentes (SWOT mais aussi probablement SARAL/AltiKa, et les observations de traceurs – SST, SSS, couleur de l'océan) et des avancées scientifiques parallèles. A cet égard, les deux idées fortes sont la mise en évidence de l'importance, jusqu'alors sous-estimée, des fines échelles dans les spectres d'énergie et la conjugaison entre physique et biogéochimie à ces échelles.

- **Intégration:** Malgré de réelles avancées, il est essentiel d'encourager encore des études intégrées montrant et valorisant tout le potentiel déjà existant de l'observation spatiale côtière et probablement de toute l'observation spatiale en général. Pour le milieu côtier, ceci pourrait se faire en encourageant les projets intégrant modélisation dynamiques et/ou biogéochimiques et données spatiales (avec ou sans assimilation) ainsi que ceux utilisant en synergie données satellites et mesures in situ issues des plateformes autonomes. Ceci pourra se faire sur des aspects précis comme la dynamique côtière, la prévision climatique régionale, le suivi des écosystèmes, le développement de blooms, le suivi de panaches, les effets de remise en suspension, etc.

2.C. MISSIONS EN COURS ET AVANCEMENT DES MISSIONS

OSTST

L'équipe de l'OSTST (Ocean Surface Topography Science Team) qui avait été établie en 2007 suite à l'AO CNES - DSP/OT07-4571 vient d'être à nouveau constituée pour la période 2013-2016 suite à l'AO CNES - DSP/OT 12-2118. Les quatre dernières années ont été pavées d'évènements importants puisqu'en juin 2008 le satellite Jason-2 a été lancé et qu'après une période de vol en formation de 6 mois son prédécesseur Jason-1 a été placé sur une orbite intercalée permettant une meilleure résolution spatio-temporelle très importante pour les modèles océaniques. En mai 2012, du fait de risques accrus sur la santé de la plate-forme PROTEUS, et suite à une très active interaction entre les agences spatiales et les scientifiques de l'OSTST, Jason-1 a été placé sur une orbite géodésique. Sur cette nouvelle orbite destinée à anticiper sa fin de vie (ne pas encombrer l'orbite nominale des missions Jason) mais qui contribue notamment par son caractère dérivant à affiner les échelles spatiales de la surface océanique, Jason-1 continue une belle moisson de données entamée il y a bientôt 11 ans avec un niveau de précision peu ou pas dégradé. En revanche, ce changement d'orbite induit un déphasage temporel et spatial avec Jason-2, ce qui n'est pas optimal pour certains produits tels que DUACS. Ceci a été accentué par la perte du satellite Envisat (avril 2012) et par le retard pris par SARAL/AltiKa qui aurait dû assurer la jonction. Ces évènements montrent clairement la fragilité de la constellation altimétrique dans le contexte de l'altimétrie opérationnelle et il serait important de lancer des études pour anticiper ces problèmes dans les années à venir (constellation de micro satellites ?).

Quant à Jason-2 il va entrer en 2013 dans sa phase de mission étendue après 5 ans de mission nominale et atteindre voire dépasser encore aujourd'hui tous les critères de la mission que ce soit en précision, volume ou délai des données. Grâce à la première partie de la mission pendant laquelle Jason-2 et Jason-1 étaient placés en vol en formation (séparés temporellement d'1 minute), les travaux menés dans le cadre de l'OSTST ont permis de mieux comprendre les différences entre les deux systèmes de mesures et converger vers un nouveau standard (GDR-D) dont le retraitement pour Jason-2 s'achèvera avant la fin 2012. De plus, les équipes du CNES ont découvert l'origine des biais instrumentaux qui affectaient les mesures de distances de Jason-1 et Jason-2 (respectivement ~90 mm et ~170 mm) ce qui fait que les données de Jason-2 au standard GDR-D sont statistiquement non biaisées comme l'étaient celles de TOPEX/Poseidon. En ce qui concerne Jason-1, comme les données n'ont pas été retraitées, le biais en distance demeure mais son origine est comprise. Cet aspect est un résultat majeur puisqu'il réconcilie les mesures des missions de référence et démontre la possibilité d'un système altimétrique non biaisé au moins d'un point de vue instrumental (altimètre). D'autre part, les analyses croisées entre Envisat et Jason-1&2 qui sont régulièrement menées au sein de l'OSTST et les travaux menés dans le cadre du Quality Working Group d'Envisat ont permis de mieux réconcilier les séries temporelles d'Envisat et celles de Jason notamment en ce qui concerne les tendances globales et régionales du niveau moyen : un retraitement complet d'Envisat (GDR-C v2.1) a été effectué et un jeu de corrections a été rendu public depuis fin août 2012.

Le futur des missions de "références" comme Jason est en bonne voie puisque le problème de lanceur rencontré sur Jason-3 semble résolu et que la date prévue de lancement (décembre 2014 ?) devrait permettre sans trop de risque d'effectuer le lien entre Jason-2 et Jason-3. Quant à Jason-CS qui prendra la suite de Jason-3, les phases d'études avancent de façon nominale. Cette mission n'est en revanche pas "un clone" des

précédents et embarquera notamment un altimètre permettant les mesures en mode SAR. Ce type de mesure présent actuellement sur CryoSat-2 et bientôt sur Sentinel-3, nécessite malgré tout de nouvelles études notamment pour assurer le lien avec le mode classique LRM des missions passées. Il apparaît clairement que la communauté OSTST s'engage dans ces études depuis plus d'un an (meeting de San Diego en octobre 2011) et que le meeting de Venise cette année a été ponctué par de nombreuses présentations et discussions sur ce sujet. Pour autant, la communauté présente encore un manque de maturité dans ce domaine et il sera très important dans les années à venir de renforcer le creuset d'experts sur ce sujet afin de bien préparer les missions à venir (Sentinel-3, Jason-CS, SWOT, ...).

La série temporelle de deux décennies des observations de topographie de surface à haute précision a permis à la communauté OSTST de faire de grands progrès dans leur compréhension des variations océaniques à long terme, y compris les variations du niveau de la mer, le rôle de l'océan dans les variations climatiques (par exemple, ENSO, l'Oscillation Décennale du Pacifique, l'Oscillation de l'Atlantique Nord), et l'interaction entre la circulation océanique à grande échelle et à moyenne échelle.

Les mesures altimétriques en temps quasi-réel ont aussi fourni la clé de voûte pour les applications de l'océanographie opérationnelle, via leur intégration dans les modèles de prévision océanique.

Les algorithmes embarqués sur la dernière mission OSTM/Jason-2 ont été spécifiquement conçus pour améliorer la qualité des données dans les régions côtières et sur des lacs et des rivières. Ce sont des régions avec d'importants impacts socio-économiques et climatiques mais mal couvertes par les données altimétriques standard dans le passé. L'OSTST a travaillé en étroite collaboration avec la communauté COASTALT pour améliorer la qualité et la quantité des observations altimétriques dans ces régions clés.

L'OSTST a une longue histoire de coordination internationale qui commence dès 1988 avec la constitution de la Scientific Working Team (SWT) pour la mission TOPEX/Poseidon. A l'origine majoritairement composée de Français et d'Américains, cette équipe scientifique regroupe désormais de nombreux PI's (75 en 2007 et 110 propositions reçues pour l'AO 2012) issus de la communauté européenne, des États-Unis et d'autres pays (environ 20 %). La communauté OSTST se réunit annuellement, voir deux fois l'année des phases de validation suivant le lancement d'une mission : ces réunions de travail voient une participation croissante ces dernières années autant en nombre que par les pays représentés. Outre cette coordination de plus en plus internationale, l'une des forces de l'OSTST réside dans son caractère pluri-disciplinaire qui permet au projet Jason de s'appuyer sur des compétences variées pour analyser et valoriser les données. De plus, parmi les 75 propositions de 2007, près de la moitié comportait une composante de Calibration/Validation ; c'est très certainement ce qui a été et continue à être un des points clés de cette communauté dans l'interaction réciproque entre la composante scientifique et la composante "projet" des missions Jason. Ce pôle important d'activités de Calibration/Validation, qui repose aussi sur le "socle" CLS, montre malgré tout un déséquilibre grandissant France/États-Unis : la contribution des États-Unis semble baisser non par désintérêt mais par manque de moyens (surtout humains) et il serait important de pallier à ce déséquilibre car c'est bien cet aspect "compétition/coopération" qui fait le succès de l'OSTST. Par ailleurs, même si d'un point de vue instruments et standards des produits, les missions dépassent largement les prérequis il ne faut pas passer en mode veille et réfléchir aux actions innovantes et prospectives (e.g. transition LRM -> SAR, retracking, SSB, ...). De plus, il est apparu clairement ces dernières années que certains pôles de compétences se sont réduits en nombre de personnes et/ou équipes. On peut citer en exemple extrême le SSB (Sea State Bias) pour lequel l'ensemble des études et des modèles utilisés dans le cadre de Jason (mais aussi Envisat) repose sur une seule personne faisant partie de CLS. Enfin, un nombre important des propositions du prochain OSTST ressemblent un peu à des copiés-collés de celles correspondant à l'AO de 2007, ce qui dans certains cas est justifié par l'aspect long terme de certaines études mais peut nuire aussi à l'aspect innovant qui a caractérisé l'OSTST dans le passé.

La répartition géographique et thématique des laboratoires et/ou institutions participant à l'OSTST est assez bonne en France même si le pôle Toulousain (CLS, LEGOS, ...) reste clairement majoritaire. Il ne semble pas que des laboratoires et/ou institutions pouvant apporter leur contribution soient absents de l'OSTST d'autant que d'autres propositions non intégrées directement à l'OSTST sont régulièrement soumises aussi via le TOSCA-Océan.

Le bilan de l'OSTST sur son dernier exercice (2007-2012) est donc globalement très positif et les forces vives de ses équipes restent très actives et motivées, ceci est clairement renforcé par le succès de la mission Jason-2 dont la précision et le volume de données dépassent largement les objectifs. Ceci concerne notamment l'acquisition des données sur les eaux continentales et en domaine côtier qui voit émerger de nombreuses études qui sont très importantes pour les missions à venir (e.g. SWOT). En ce qui concerne le domaine côtier, la

communauté COASTALT (<http://www.coastalt.eu/>) s'est particulièrement développée ces dernières années et leurs réunions de travail, souvent phasées avec celles de l'OSTST, voient leur nombre de participants grandir : les résultats et conclusions sont présentés lors des réunions de l'OSTST pour alimenter les réflexions des différents groupes de travail.

L'arrivée à plus ou moins brève échéance des nouvelles missions embarquant notamment de nouvelles technologies (SARAL/AltiKa, Sentinel-3, Jason-CS, SWOT) permettra de continuer à mobiliser la communauté OSTST afin de leur faire profiter des expériences passées mais aussi développer de nouveaux pôles de compétence et d'expertise (altimétrie en bande Ka, mode SAR, ...).

CFOSAT

Le projet franco-chinois CFOSAT (China-France Oceanography Satellite) a pour objectif la mesure des paramètres vent-vagues à la surface océanique. Il vise à emporter sur une même plateforme (fournie par la Chine), l'instrument SWIM (radar spectromètre de vagues sous responsabilité CNES, et un diffusiomètre (SCAT) à antenne tournante pour la mesure du vent de surface, proposé et mis en œuvre par la Chine. Ainsi la mission permettra des mesures simultanées et colocalisées du vent et de l'état de la mer (vagues).

Les objectifs prioritaires concernent l'étude des processus à la surface océanique (vent/vagues et leur couplage), l'impact des vagues sur les processus et échanges à la surface (courant) et dans les couches limites atmosphériques et océaniques, ainsi que l'amélioration de la modélisation des états de mer (vent, vagues). La mission comporte un objectif opérationnel sur l'utilisation des observations vent/vagues en temps quasi-réel pour la prévision des états de mer et la prévision atmosphérique (assimilation de données pour les modèles de prévision météorologique et des vagues). La mesure du vent pourra également servir certains objectifs en modélisation océanique (forçage des modèles par le vent). Par ailleurs, des objectifs secondaires ont été définis pour valoriser les données sur continents : caractérisation des calottes polaires, estimation de la rugosité et de l'humidité des surfaces continentales.

Dans le cadre de l'accord signé entre Agences Française (CNES) et Chinoise (CNSA), la phase A du projet CFOSAT a été menée de 2007 à mi-2008. Le passage en phase B pour l'instrument SWIM a démarré fin 2008 et s'est terminé fin 2010. Le passage en phase C a été décidé par le CNES en décembre 2010. La mission dans son ensemble est actuellement en phase C/D, tandis que le segment sol (centres de mission et chaînes de traitement) est encore en phase B (passage en phase C prévu en 2013). La mission comporte également un volet aéroporté avec le radar aéroporté KuROS dont l'objectif est d'affiner les algorithmes de traitement, et de valider les produits SCAT et SWIM de niveau 1 et 2. Le radar a été développé au LATMOS en 2011, les premiers tests ont été effectués en 2012 et la première campagne scientifique s'est déroulée en février-mars 2013, en conjonction avec le volet Hymex du chantier Méditerranée Mistral. Deux vols ont également été réalisés en mer d'Iroise (Bretagne) en coordination avec une campagne du SHOM portant sur les interactions vagues/courant et les situations de submersion.

Les travaux menés par les équipes scientifiques associées à la mission ont porté sur quatre types d'activité :

- contribution à la spécification instrument, études de performance, préparation des algorithmes de traitement
- analyse de données d'autres missions dédiées à l'observation de la surface océanique (altimétrie, SAR, diffusiométrie)
- préparation des opérations de validation géophysique
- amélioration des modèles et techniques de prévision numérique des champs de vagues.

Parmi les résultats obtenus, on peut citer :

- amélioration d'un simulateur d'observations pour SWIM, application à la simulation d'observations à partir de sorties du modèle de prévision d'état de mer de Météo-France
- étude numérique de l'impact de la pluie et des nuages sur les signaux et produits SWIM, étude de la signature des icebergs et des "slicks" sur les signaux altimétriques
- mise au point et tests d'une méthode de mesure des spectres directionnels des vagues par stéréovideo utilisable depuis plateformes en mer ou navires
- développement et mise au point d'un instrument dédié à la mesure de rugosité de petite échelle sur continent
- développement et premières mesures du radar aéroporté KuROS
- amélioration de la paramétrisation de modèles de prévision des vagues utilisés en mode recherche ou en mode opérationnel (dissipation, réflexion à la côte) –modèle WW3 utilisé par Ifremer et SHOM et modèle MFWAM utilisé par Météo-France ; poursuite de développement des méthodes d'assimilation

d'observation dans les modèles de prévision des vagues (utilisation de données du mode SAR-vagues de ENVISAT dans le modèle MFWAM)

- mise en évidence de l'apport de données de télédétection de la surface (Scat/altimètres/SAR) pour l'étude et le suivi de conditions extrêmes (cyclones,..)

-

Le groupe mission français est composé d'une quinzaine de membres répartis sur environ 9 équipes de divers organismes : Ifremer/LOS, Meteo-France/DPREVI/MAR et CNRMS/GAME, SHOM, CNRS/universités/autres (LATMOS, MIO, LERMA, CESBIO, LEGOS). Le groupe a été élargi récemment –en 2012– au LERMA et à l'équipe GMAP du CNRM-MF. Les compétences des membres du groupe sont complémentaires : physique de la mesure radar appliquée à l'océan, glaces et surfaces continentales, hydrodynamique des vagues, modélisation numérique et techniques d'assimilation, expérimentation in situ.

La coordination technique France /Chine pour le développement de la charge utile est assurée par les agences concernées (CNES en France). Du côté scientifique cela s'est accompagné de deux colloques scientifiques (2009 et 2011) qui ont permis de mieux se connaître et d'échanger sur les travaux en cours dans chacun des pays. Le document "Mission Requirements" a été écrit conjointement par les équipes scientifiques françaises et chinoises.

La coopération internationale autour de CFOSAT est actuellement très fortement liée au MOU signé entre la France et la Chine qui restreint actuellement à ces deux pays l'accès aux données temps réel. Des instituts ou laboratoires étrangers, intéressés à la mission sont identifiés, ont été invités pour certains aux colloques scientifiques, mais ne sont pas pour l'instant associés formellement au groupe mission. Il est prévu une ouverture ultérieure vers ces partenaires potentiels par le biais d'un appel à manifestation d'intérêt (qui serait géré conjointement CNES/Chine, sur le modèle OSTST), dans un premier temps pour participer à la CAL/VAL, puis dans un deuxième temps autour de l'exploitation scientifique des données.

Des contacts ont été établis avec les porteurs de l'action Européenne Globwave (action lancée par l'ESA et soutenue par le CNES), action qui vise à offrir à des utilisateurs non spécialistes un portail unique de données, et des outils à valeur ajoutée concernant les données vagues d'un ensemble de missions spatiales (actuellement plusieurs missions en altimétrie, et SAR). Ces contacts devraient permettre de faire rentrer les données CFOSAT dans le même système pour élargir la future diffusion des données CFOSAT et faciliter leur utilisation (sous réserve ici accord avec la Chine).

SMOS

La mission SMOS portant le radiomètre interférométrique en bande L MIRAS a été lancée en novembre 2009. Actuellement, les salinités de surface (SSS) inversées à partir des mesures SMOS et moyennées sur $100 \times 100 \text{ km}^2$ et 10 jours ont une précision de l'ordre de 0.25-0.30 dans les régions tropicales et subtropicales et de l'ordre de 0.5 entre 45°N et 45°S . Les mesures SMOS ont démontré pour la première fois la faisabilité de la mesure de la SSS par radiométrie satellitaire en bande L, révélant avec une résolution spatio-temporelle nouvelle les grands contrastes en SSS, comme le panache dessalé de l'Amazone, les variations de SSS associées aux passages de cyclones, mais aussi des contrastes à grande échelle dans l'océan ouvert liés aux événements ENSO, en particulier La Niña 2010. De part leur échantillonnage spatio-temporel, les mesures SMOS apparaissent complémentaires des mesures ARGO qui échantillonnent peu certaines régions dessalées, comme les panaches de fleuve. L'objectif de la mission (atteindre une précision de 0.10-0.20 pour des salinités moyennées sur les échelles GODAE) n'est néanmoins pas encore atteint. Il faut rappeler ici qu'il s'agit du premier radiomètre interférométrique utilisé depuis un satellite pour l'observation de la terre. Ce choix a été motivé par le besoin d'utiliser une fréquence basse (1.4 GHz) et le souhait de conserver une résolution spatiale de l'ordre de 40km. Contrairement à un radiomètre classique, l'interféromètre échantillonne le signal émis dans l'espace des fréquences spatiales, et la restitution des températures de brillance passe par un processus complexe de reconstruction d'image. Les algorithmes de reconstruction d'image appliqués dans les chaînes de traitement SMOS continuent à évoluer depuis le lancement de la mission, et il est espéré que certains défauts encore actuellement observés, par exemple des effets d'ombrage des continents sur la mer au voisinage des côtes, ou liés à des repliements de zones aliasées mal corrigés s'amélioreront. Il s'agissait également du premier radiomètre en bande L. Les modèles directs reliant température de brillance en bande L à la SSS ont sensiblement évolué au vu des premières mesures mais restent partiellement incertains, notamment en ce qui concerne la diffusion du signal galactique par la surface de la mer ou l'influence de la direction du vent. A noter que les évolutions des modèles directs sont très liées aux améliorations de la qualité de la reconstruction d'image et de l'étalonnage des mesures.

En tant que problèmes majeurs, il reste à l'heure actuelle des biais latitudinaux entre orbites ascendantes et descendantes dont l'origine est indéterminée (problème d'étalonnage du radiomètre ? des modèles directs ?). Par ailleurs, l'importance de la pollution des mesures en bande L par les radio-interférences (RFI) avait été très fortement sous-estimée avant le lancement de la mission. Les techniques de tri des données polluées se sont beaucoup améliorées mais des progrès sont encore espérés. Si à moyen terme, on peut espérer éliminer la plupart des données polluées, dans de larges régions de l'océan, notamment dans l'Atlantique nord et au voisinage des côtes asiatiques, la mesure de la SSS par SMOS restera impossible.

En comparaison, le satellite Aquarius (NASA, lancé en juin 2011) est un radiomètre en bande L, portant une antenne classique et est opérationnel depuis août 2011. La précision des SSS restituées est du même ordre que celle de SMOS (une fois les moyennes effectuées sur les mêmes échelles spatio-temporelles et les biais saisonniers moyennés à l'échelle globale corrigés); des biais latitudinaux assez similaires à ceux de SMOS sont observés sur les SSS Aquarius. Les modèles de rugosité SMOS et Aquarius sont, au premier ordre, similaires. Néanmoins Aquarius porte un diffusiomètre qui permet une correction des effets de rugosité certainement plus précise que l'utilisation de mesures angulaires dans le cas de SMOS (ce point sera néanmoins à confirmer lorsque les algorithmes de reconstruction d'image et les modèles directs SMOS se seront améliorés). La pollution des mesures Aquarius par les RFI existe également mais est beaucoup moins étendue spatialement du fait d'un tri à bord des RFI et de l'utilisation d'une antenne réelle.

La couverture spatio-temporelle fournie par SMOS (une couverture globale tous les 3 à 5 jours avec une résolution spatiale d'environ 40km) est bien meilleure que celle d'Aquarius (une couverture globale tous les 7 jours avec une résolution spatiale d'environ 100km) ; si les mesures individuelles SMOS sont plus bruitées que celles d'Aquarius, à résolutions comparables les précisions sont très voisines. Ainsi les fronts en SSS seront mieux localisés avec SMOS qu'avec Aquarius mais cela n'a été jusqu'ici que peu abordé. Les études dans les années futures devraient mieux analyser les avantages et faiblesses de chacun des instruments.

Pour les instruments futurs, il sera primordial d'envisager des tris de RFI à bord (basés sur des analyseurs de spectres par exemple), dans le cas d'un interféromètre de respecter autant que le permet la technologie des espacements entre antennes élémentaires respectant le critère de Shannon afin de minimiser les problèmes de repliement d'alias dans le champ de vue. On devrait aussi s'interroger sur l'apport d'une mesure active en plus des mesures passives multi-angulaires pour la correction de rugosité dans le cas d'un instrument interférométrique. L'étalonnage de SMOS et Aquarius s'est révélé insuffisant pour atteindre la précision nécessaire en SSS et dans les deux cas il est nécessaire actuellement d'ajouter une 'calibration vicarious' ; cela souligne l'importance à accorder à un étalonnage soigneux des instruments avant lancement.

A l'échelon Européen sont organisés 3 réunions annuelles du Quality Working Group de l'ESA et un workshop annuel Cal/Val ESA/CNES. De nombreuses sessions de congrès internationaux ont portées sur SMOS incluant depuis le lancement d'Aquarius des sessions jointes SMOS/Aquarius. Un workshop a eu lieu à Brest avec la mise en place de groupes de travail internationaux sur stratification verticale de salinité et étalonnage/modèles directs. Le programme expérimental SPURS a par ailleurs eu un rôle très fédérateur US-Europe. En plus des nombreuses sessions SMOS proposées dans divers meetings, des formations utilisateurs commencent à attirer de nouveaux scientifiques. Le projet EU COST SMOS-MODE permet également une ouverture à de nombreux scientifiques extérieurs à la mission.

D'une manière générale, la coordination SMOS est parfois difficile car les priorités de l'ESA ne sont pas uniquement définies par des critères scientifiques mais tiennent compte en partie des "retours géographiques".

Les études scientifiques commencent à démarrer mais cela a pris un peu de temps du fait des mesures très imparfaites après le lancement de la mission, en partie du fait de son caractère exploratoire.

Les points forts de la communauté nationale tiennent à la forte implication de quelques scientifiques (Pis et Cols) depuis le début de la mission au CESBIO, à l'IPSL, à l'IFREMER et à leur obstination à démontrer les points forts et faibles de la mission et à en tirer le meilleur possible. De plus, la qualité des chaînes de traitement de niveau 2 bien testées avant lancement sont un vrai point fort.

Parmi les points faibles, il faut citer:

- l'absence d'une chaîne de traitement de niveau 1 validée avant lancement et les contraintes de temps pour les débogger

- les difficultés liées au fonctionnement du Centre Aval de Traitement des Données SMOS (CATDS) et en particulier le développement par un industriel trop rigide vis-à-vis des nombreuses évolutions de traitement décidées après lancement s'agissant d'un instrument démonstrateur tel que SMOS.

SARAL/AltiKa

Le satellite SARAL (Satellite with Argos and AltiKa) a été mis en orbite de manière nominale le 25 février 2013 sur la même orbite (à ≈ 1 km près) que le satellite ENVISAT de l'ESA. Avec une antenne de 1 m de diamètre, l'ouverture de l'antenne de AltiKa est de $0,55^\circ$ au lieu de $1,22^\circ$ pour RA2 de ENVISAT. La trace au sol est donc significativement plus petite. En conséquence, la distorsion de la forme de l'onde radar par les ondulations de la surface de la glace est réduite. La PRF (Pulse Repetition Frequency) est plus élevée (4 kHz). Cela augmente le nombre d'échos indépendants par seconde, donc la forme de l'onde est obtenue chaque 175 m le long de la trace au lieu de 350 m. La bande passante est de 500 MHz, ce qui donne une résolution verticale de 30 cm au lieu de 45 cm, de sorte que l'échantillonnage du front d'onde est meilleur. De plus, l'atténuation ionosphérique est négligeable à cette fréquence. Pour toutes ces raisons, il y a moins de bruits pour chaque mesure individuelle. A ce jour, les performances des instruments sont nominales mais il manque évidemment un peu de recul pour être complètement affirmatif sur ce point.

Rappelons que SARAL/AltiKa correspond aux besoins de maintenir une continuité dans la filière altimétrique à la suite de ENVISAT et avant la série Sentinel en parallèle avec un satellite altimétrique de la génération Jason (Jason-2 en ce moment). Les fins de vie de ENVISAT et JASON-1 ont créé en effet un vide préoccupant dans la continuité de la filière altimétrique dont la pérennité était jusqu'au lancement donc très récent de SARAL suspendu aux bonnes performances de JASON-2. Compte tenu des besoins en continuité requis à la fois par la communauté scientifique (sur les aspects climatiques principalement) et l'océanographie opérationnelle, le succès de SARAL/AltiKa était et est critique (cf. par exemple motion de l'OSTST à ce propos lors du meeting de Lisbonne en octobre 2010). Il faut noter également que SARAL/AltiKa est une mission de coût intermédiaire et bien moindre que les missions altimétriques de références (série Jason).

Mais c'est aussi une première mission altimétrique en bande Ka qui préfigure SWOT de ce point de vue. La bande Ka n'est pas encore aussi bien documentée que la bande Ku en termes de rétrodiffusion, d'impact des pluies et de la vapeur d'eau, d'impact de la rugosité de surface, etc... Il est donc extrêmement important d'avoir le plus de mesures possibles en bande Ka pour documenter les caractéristiques des futures mesures SWOT. C'est également avec AltiKa la première fois qu'un radar active et passif, à visée verticale, donnera des mesures simultanées. C'est un moyen exceptionnel et nouveau pour contraindre et améliorer considérablement les modèles électromagnétiques. Non seulement cela permet d'améliorer la mesure mais aussi d'extraire des paramètres géophysiques. Ceci a de très nombreux intérêts sur la glace continentale, sur la glace des lacs ou de mer, en hydrologie continentale mais aussi sur l'océan pour la mesure des vagues.

SARAL/AltiKa a des objectifs principaux qui relèvent de l'océanographie dynamique (mésosécherelles, océanographie côtière, états de mer, assimilation de données, ...) et des objectifs secondaires qui incluent l'hydrologie, la cryosphère, le niveau de la mer, la géodésie, etc. L'antenne fonctionne en bande Ka (37 GHz ou 8 mm de longueur d'onde), c'est à dire 2,7 fois plus que la fréquence Ku, ce qui offre des caractéristiques nouvelles et intéressantes, en particulier:

- la meilleure résolution spatiale devrait permettre un meilleur accès aux méso-échelles,
- la mesure à proximité des côtes devrait gagner un facteur 2 par rapport à l'altimètre de référence (T/P, Jason) et donc on attend une amélioration pour l'océanographie côtière,
- la mesure des calottes glaciaires est améliorée notamment grâce à la moindre pénétration en bande Ka et d'une prise en compte améliorée de l'état de la neige de surface.

Le groupe mission français (constitué de 12 sous-projets scientifiques) a présenté un projet commun à l'OSTST lors du dernier appel d'offres CNES-NASA en 2012. Auparavant, il se présentait sous des avatars différents et était vu au TOSCA au titre strict de la mission SARAL (et non pas de l'OSTST). Ce "rattachement" à l'OSTST est parfaitement justifié puisque SARAL est un élément à part entière de la constellation altimétrique et que les objectifs scientifiques de SARAL ont une forte analogie avec ceux de l'altimétrie en général; un de ses objectifs était d'ailleurs de se positionner comme "gap-filler" après ENVISAT. Notons que le groupe mission français est bien représentatif des laboratoires français impliqués dans l'altimétrie et qu'il est effectivement transversal sur le plan thématique puisqu'il inclut de l'océanographie, de la glaciologie mais aussi de l'hydrologie ou de la météorologie, avec des visions très diversifiées (climatique, opérationnelle, côtière, ...). La dimension CAL/VAL est également présente à plusieurs titres au sein de ce projet OSTST ou d'autres projets parallèles. En bref, on

peut considérer que c'est un point fort de cette communauté nationale de pouvoir "couvrir" tous ces aspects. Encore une fois rappelons que l'OSTST voit SARAL comme une des composantes de la filière altimétrique et permet une ouverture scientifique encore plus complète pour les usages des données SARAL.

Dans le cadre international, nous avons mis en place un appel d'offres international aux équipes intéressées par l'utilisation des données et/ou par des opérations CAL/VAL. Cet appel d'offres a connu un vrai succès: à ce jour 39 équipes indiennes, 17 équipes françaises et 27 équipes internationales pilotées par des PI ni-Français ni-Indiens, sont membres du groupe mission international. SARAL est, avec Mégha-Tropiques, un élément avancé de la coopération franco-indienne en observation de la terre. La nature des relations entre l'ISRO et la communauté scientifique indienne est assez différente de celle qui lie le CNES et la communauté scientifique française et européenne. Il en a résulté certaines difficultés pour l'animation scientifique de l'ensemble. Les scientifiques indiens ont par ailleurs une mobilité faible en dehors de leur pays ce qui rajoute aux difficultés précédentes. Du point de vue des scientifiques français, l'OSTST est l'instance naturelle pour cette animation scientifique internationale et ceci est reconnu désormais par nos partenaires de l'OSTST. La présence Indienne n'y est pas jusqu'à présent à la hauteur des enjeux mais on peut espérer que le lancement effectif de SARAL permettra une évolution positive.

Le groupe mission français se réunit à une fréquence annuelle en France et le groupe mission international avec une fréquence équivalente en Inde, en général à l'ISRO d'Ahmedabad. Un symposium dédié à SARAL a eu lieu lors du symposium PORSEC de Cochin (5-9 novembre 2012).

SWOT

Le groupe mission SWOT a été lancé en 2007 pour accompagner le développement de la future mission spatiale SWOT. L'objectif de la mission SWOT est de mesurer des hauteurs d'eau (et de leurs dérivées spatio-temporelles) des fleuves, lacs et des océans hauturière et côtières. SWOT va embarquer un altimètre interférométrique, et va permettre de fournir une image bidimensionnelle avec une résolution horizontale de l'ordre de 50-100 m sur les surfaces hydrologiques, avec une moyenne de 1 km sur les océans. L'augmentation en précision et en couverture spatiale va révolutionner les observations à fine échelle sur ces surfaces, mieux que les observations d'aujourd'hui avec l'altimètre nadir. Ces structures à fine échelle forment une composante clé pour l'estimation du bilan d'eau douce et le climat de notre planète.

En 2007, une première équipe de "Science Working Group" a été formé, pour avancer sur les questions scientifiques fondamentales du projet, et d'aider et conseiller les équipes Projet de la NASA et du CNES afin de préparer la phase A de la mission. Ce groupe se réunit plusieurs fois par an avec les équipes projets. SWOT a reçu une contribution importante dans le cadre des Investissements d'Avenir de la part du gouvernement français en 2010, et la mission est passée en phase A pour la NASA en novembre 2012, avec une très bon revue interne de la NASA. Un appel d'offre a été lancé en 2012 pour établir une nouvelle équipe de "Science Definition Team": une quarantaine de propositions françaises, américaines et canadiennes ont été sélectionnées, une moitié en hydrologie et une moitié en océanographie.

Le travail de préparation de SWOT par les groupes scientifiques a déjà porté ses fruits, avec des avancées importantes sur la compréhension des processus mésoéchelles et sous-mésoéchelle dans l'océan, et leur observabilité en surface, ainsi qu'un travail de fond sur la modélisation des bassins versants, et leur observabilité par SWOT. La communauté scientifique est très motivée par la perspective de futures observations à ces échelles, et s'est largement manifestée à l'occasion des colloques dédiés pour la préparation de SWOT, par exemple avec 300 participants à un Workshop International de 2 jours à Lisbonne en octobre 2010.

Pour la communauté scientifique et le SDT, les perspectives à court et à moyen terme sont centrées sur l'accompagnement scientifique du projet pour les décisions clé à prendre dans la phase A, et la préparation des données de test pour le projet et pour la communauté scientifique, issue d'un version aéroportée de SWOT (AirSWOT). Le passage de SWOT en phase A est une grande réussite – car l'héritage de SWOT a été développé pendant les 15 dernières années, donc la préparation du projet et la réflexion scientifique autour de la mission est assez mature.

La mission est coordonnée conjointement par le CNES et le NASA, en basant sur plus de 20 ans d'expérience de gestion et de développement des missions altimétriques nadir, partagés entre les 2 agences. Cette coopération historique est une force importante pour le bon déroulement du projet. Un troisième partenariat a été établi avec l'Agence Spatiale Canadienne (CSA), pour une contribution instrumental et scientifique.

Les enjeux scientifiques pour la mission SWOT sont très importants, concernant le bilan de l'eau douce globale, et le rôle de l'océan à fine échelle dans l'ajustement aux changements climatiques. Les équipes océanographiques françaises qui travaillent depuis plus de 20 ans avec les observations spatiales sur l'océan, et sur la modélisation à fine échelle, sont très avancées sur ce sujet, et ils apportent un soutien mature et déterminant pour l'avancement de la mission. Pour la composante hydrologique, l'utilisation des observations spatiales est moins avancée, mais les équipes françaises sont en avance pour développer les nouvelles applications spatiales. Pour les 2 communautés, il y a un travail important pour développer l'expertise dans la physique de la mesure sur ces surfaces, avec les techniques SAR et par interférométrie. Pour les océanographes, il y a nécessité à bien comprendre la structure des erreurs, car on cherche un signal de faible amplitude à la sous-mésoéchelle. Pour les hydrologues, il est important aussi de développer les modèles de bassins versants, les masques de surfaces hydrologiques globales, et de développer les techniques d'assimilation de données pour bien contraindre les modèles.

Les forces scientifiques françaises en soutien de SWOT sont concentrées dans les laboratoires océanographiques et hydrologiques du CNRS, Universités, par exemple le LEGOS, LOCEAN, LPO/Ifremer, LGGE pour les océanographes, et le LEGOS, Météo-France, CESBIO, Univ Rouen & Strasbourg, etc. En phase A, il est aussi important de chercher une expertise plus large au niveau Européen pour aider au bon choix d'algorithmes et de traitement SAR/interférométrie, et les connaissances scientifiques sur les surfaces à mesurer.

Autres missions, projets de missions:

Pour mémoire, il paraît important d'évoquer le statut actuel d'un certain nombre de projets de mission relevant pour tout ou partie de l'océanographie:

OCAPI

La proposition OCAPI initialement soumise au CNES en 2008 (et dans la version antérieure BIOGEOSAT), ainsi que les autres propositions pour des observations à partir de l'orbite géostationnaire, ont conduit à une forte recommandation du séminaire de prospective scientifique de 2009. La proposition OCAPI a reçu un accueil favorable lors de l'appel EE8 en 2010, même si la mission n'a pas été sélectionnée. Sur la base des diverses évaluations, le CNES a poursuivi l'examen de ce dossier, sous la forme de deux phases 0.2 industrielles menées en 2011-2012, ainsi que par une étude sur les besoins génériques en haute revisite temporelle dans différents domaines de l'observation de la Terre.

Une mission couleur de l'océan à partir de l'orbite géostationnaire comme Geo-OCAPI répond à trois "classes" d'objectifs :

- Quand les conditions d'observation le permettront (angles solaires, couverture nuageuse etc..), la dynamique journalière de l'océan sera accessible. Dans ce cas, l'objectif est d'étudier le fonctionnement à petite échelle temporelle de l'écosystème, via la variabilité diurne des propriétés optiques, qui sont les proxys de la charge en particule des eaux. En effet, le cycle diurne de la photosynthèse/respiration génère un cycle diurne de la composition particulaire qui se traduit par un cycle diurne des propriétés optiques observables depuis l'espace. C'est l'objectif le plus ambitieux et le plus "recherche ».
- Dans les mêmes conditions que ci-dessus mais aussi quand un peu moins d'observations seront disponibles sur une journée (ne permettant plus de remplir le premier objectif), le deuxième groupe d'objectifs concerne l'observation et la compréhension des phénomènes à évolution rapide non liés directement au fonctionnement biologique interne de l'océan, mais plutôt à la physique locale ou à des perturbations autres. Ici on peut citer le suivi des panaches turbides (fleuves), des panaches d'aérosols, des blooms phytoplanctoniques, des structures à méso-échelle etc...
- Enfin, quand les conditions d'observation ne permettront pas d'accéder à la variabilité à petite échelle temporelle évoquée dans les points précédents, il restera la capacité à obtenir au moins une observation de qualité par jour en chaque point d'observation, et donc d'améliorer très largement la couverture spatiale. Ceci est crucial pour, d'une part, l'assimilation des observations couleur de l'océan dans les futurs modèles couplés de l'océanographie opérationnelle et, d'autre part, le développement des services opérationnels en zone côtière, qui n'ont pour l'instant pas réussi à réellement séduire les acteurs institutionnels et économiques à cause de la très pauvre couverture temporelle fournie par les missions LEO.

Le groupe mission s'est enrichi de nouveaux membres depuis la soumission d'OCAPI à EE-8 :

- La société Hygeos, Didier Ramon en particulier, qui a été très active également dans le cadre d'études préparatoires traitant des observations géostationnaires, a rejoint le groupe mission.
- L'équipe Signal et Image du laboratoire LSIS, en complément de ses activités "couleur de l'eau" (bathymétrie, cartographie des fonds, estimation de la composition de l'eau en zones côtières) a développé un simulateur d'images géostationnaires.

La phase 0.2 menée par le CNES avec le support de l'industrie (études parallèles chez Astrium et Thales) s'est clos lors du "point clef numéro 2" (PK2) à Toulouse le 26 Février 2013. Il en ressort que la justification du besoin est complète. Le seul point à clarifier concerne le besoin de FTM et la capacité technique à l'atteindre. La solution instrumentale à résolution spatiale 250m (sous satellite) est mature, contrairement à la solution à 100m qui dépend étroitement du choix de plateforme. Ce dernier point reste d'ailleurs ouvert. L'orbite, le lancement, et le coût de la mise et du maintien à poste sont maîtrisés.

SENTINEL

Le programme européen GMES/Copernicus marque un tournant dans l'observation spatiale des océans puisqu'il va permettre, via les programmes Sentinel (essentiellement Sentinel-3 et Sentinel-1), d'assurer la continuité opérationnelle des mesures de radar imageur (Sentinel-1), d'altimétrie (S3), de température de surface (S3) et de couleur de l'océan (S3) autrefois assurées par ENVISAT. Ces observables spatiales sont devenues d'usage courant en océanographie, et cette transition opérationnelle reflète bien la maturité de ces techniques. Le CNES a soutenu divers projets en lien avec ces futures observations : dans le domaine de la couleur de l'eau, avec le maintien d'un fort soutien financier de la part du TOSCA au site d'étalonnage BOUSSOLE afin d'assurer la continuité des données entre ENVISAT et Sentinel-3. Par ailleurs, les travaux sur les traitements altimétriques en zone côtière, en mode SAR avec la mission Cryosat-2, ont permis de montrer le potentiel d'amélioration qui existe encore dans l'altimétrie spatiale et de pousser l'ESA à implémenter pour Sentinel-3 l'état de l'art en matière d'altimétrie. Ces efforts sont révélateurs du besoin d'assurer que même dans le cadre d'une "transition à l'opérationnel" l'exigence d'une performance de mesure poussée au maximum est prise en compte et non le strict besoin des utilisateurs opérationnels.

2.D. STRUCTURATION DE LA COMMUNAUTE

Dans notre domaine scientifique, le cas de l'altimétrie nous semble le prototype d'une excellente structuration qui peut servir de référence pour d'autres missions d'océanographie, voire d'exemple pour d'autres programmes d'observation de la Terre.

Autour des missions d'altimétrie et dès l'origine des idées ayant conduit à l'aboutissement de celle-ci, se sont construits toutes les composantes et toutes les facettes d'une structuration qui s'avère avec le recul comme emblématique d'un certain idéal en la matière. Les ingrédients de ce succès sont connus:

- continuum technologie – science: technologie pointue, mobilisation scientifique
- stimulation-coopération entre la France et les USA, partenariat exemplaire
- des grands enjeux scientifiques sont concernés et/ou se sont révélés/développés: ENSO et différents modes de variabilité climatique de l'océan, variabilité méso-échelle, niveau de la mer, ...
- ouverture vers les applications: le développement de l'océanographie opérationnelle entre autres
- facteurs humains, rôle de personnalités individuelles et d'équipes de pointe
- actions de formation, de diffusion de l'information, écoles internationales, conférences dédiées, workshops récurrents...
- continuum générationnel
- rôle/vision des organismes dont le CNES en premier lieu
- excellence des segments sol, du management et de la distribution des données (e.g. AVISO)
- communication, vulgarisation
- vision intégrée (tryptique Jason-Mercator-Coriolis, implication du CNES)
- ...

Aujourd'hui le temps a passé. Même si la structuration de la communauté autour de l'altimétrie est encore extrêmement pertinente, efficace et productive scientifiquement, des faiblesses peuvent commencer à se dessiner. L'enthousiasme et la dynamique initiales ont forcément perdu un peu de leur force et une certaine routine peut s'installer: SWOT arrive au bon moment pour redynamiser la science avec des nouveaux enjeux. Le maintien d'une bonne dynamique scientifique au sein de l'OSTST est essentiel. En franco-français cette dynamique n'est pas nécessairement très forte et on pourrait réfléchir à un mode de ré-activation. On pourrait aussi recommander que des organismes aval dont la place (et la pertinence) dans le système a été croissante veillent à ne pas perdre le lien avec les scientifiques. La problématique du maintien d'un lien vivant entre science et opérationnel tel qu'il est posé en ce moment dans le cadre de Mercator-océan est dans une certaine mesure directement transposable au cas de l'altimétrie et du lien à maintenir les acteurs de la recherche fondamentale et ceux du privé concernés par la valorisation des données spatiales.

Des missions comme SARAL/AltiKa et SWOT, spécificités techniques ou de coopération internationale mis à part, bénéficient très directement de cette dynamique de la situation altimétrique. La coopération scientifique avec l'Inde est encore à développer sur bien des plans, à la fois bilatéral mais aussi au sien de la communauté internationale de l'OSTST. Le cadre bilatéral franco-américain propre à SWOT réitère la situation historique de Topex/Poseidon et Jason avec quelques sérieux défis scientifiques et techniques à relever, dont la communauté française doit assumer sa part.

La mission SMOS commence à fournir des données d'un grand intérêt océanographique et sa valorisation n'en est qu'à ses prémises. Du point de vue de la structuration de la communauté, cette mission SMOS reflète presque jusqu'à la caricature les forces et les faiblesses de l'approche européenne de l'océanographie spatiale.

Comme indiquée précédemment, la communauté scientifique autour du projet OCAPI est nombreuse et compétente et se structure fortement au niveau national et international. Sa mobilisation est croissante de même que sa présence au sein de la communauté océanographique en général. La réussite d'OCAPI devra peut-être passer par une meilleure articulation entre les scientifiques spécialistes de la physique de la mesure et les scientifiques intéressés par les produits finaux dans une perspective largement aval, notamment grande échelle et climatique. Les axes de coopérations internationales doivent être muris dans ce domaine. De manière plus large, la communauté scientifique "couleur de l'océan" se structure depuis quelques années suite à la création du Groupement d'intérêt scientifique couleur de l'océan (GIC COOC) à partir de la collaboration de longue date entre le LOV et ACRI-ST. Ce GIS monte en puissance. Il organise un atelier national annuel (le troisième a eu lieu en Janvier 2013) au cours duquel de nombreux échanges ont lieu. Il finance des thèses, et a commencé la mise en place de groupes de travail dans le but de fédérer une communauté autour d'un sujet nécessitant la mise en commun de différentes expertises, et dans le but d'amener ensuite à la soumission de propositions de recherche conjointes (TOSCA ou ANR ou LEFE etc..). Trois nouveaux laboratoires rejoignent progressivement le GIS COOC, à savoir le LOG (Wimereux), le LOCEAN (Jussieu) et le LEGOS (Toulouse). Il faut aussi noter que la communauté Française s'est beaucoup impliquée dans la structuration au niveau international via sa contribution à l'IOCCG. Ce groupe sous présidence françaises réunit l'ensemble des agences œuvrant en couleur de l'océan et la communauté scientifique. Au cours de ce mandat, ont été mis en place 4 nouveaux groupes de travail, dont deux sont présidés par des scientifiques français (Polar Seas Ocean Colour Remote Sensing, Uncertainties in Ocean Colour Remote Sensing, Intercomparison of Retrieval Algorithms for Coastal Waters, et Inter-comparison of atmospheric correction algorithms in turbid waters) et une école d'été de haut niveau récurrente. Plus récemment, a été organisé le premier meeting "International Ocean Color Science Meeting" (6-8 Mai 2013) conçu sur le modèle de l'OSTST (altimétrie) et de GHRSS (SST) et qui a vocation à devenir récurrent.

L'instrument SWIM est le reflet d'une préoccupation ancienne et d'un investissement de longue durée de plusieurs scientifiques français. Les objectifs affichés peuvent s'enrichir avec l'émergence encore plus évidente des questions d'interface océan-atmosphère. Même si la mise en œuvre actuellement proposée avec CFOSAT présente des singularités, les questions scientifiques ouvertes avec SWIM restent prioritaires et la communauté est très compétente sur tous les aspects physiques de la mesure et valorisation des produits.

2.E. CONCLUSION

Voici une lecture que l'on peut faire concernant la mise en œuvre effective des recommandations faites par le

groupe OCEAN du TOSCA en 2009. On reprend les priorités dans l'ordre de priorité décroissante comme il a été fait dans le document prospectif de 2009 et en introduction.

Missions satellites déjà planifiées :

- On peut considérer que la recommandation concernant les missions JASON-3 et SENTINEL-3 et leurs segments sols, et la stabilisation de la fourniture des séries temporelles climatiques et la stabilisation des systèmes opérationnels est relativement bien satisfaite autant qu'elle peut l'être à ce jour en 2013 et compte-tenu des aléas programmatiques. On peut penser que cette recommandation mise à jour sur la base des éléments récents garde toute sa place pour le futur et donc pour la prospective 2014.
- On peut également considérer que les recommandations concernant les partenariats à établir avec d'autres agences spatiales (Inde et Chine en particulier) pour pallier aux défaillances des autres programmes, notamment d'une mission planifiée au niveau européen ont été relativement bien satisfaites. Le partenariat avec l'Inde s'est bien déroulé sur le plan technique malgré quelques aléas notamment une dérive temporelle importante. Dans le cas de l'Inde et de la Chine, les coopérations scientifiques en sont à leurs prémises: les différences culturelles et le temps nécessaire aux connaissances réciproques en sont les principales explications.

Missions satellites faisables d'ici 2016 :

- La mise en place d'une mission couleur de l'océan en orbite géostationnaire n'a pas été réalisée comme recommandée en 2009. Il n'y pas de raison de penser que cette priorité ait en aucune manière changé compte-tenu de tous les éléments présentés dans ce document de bilan. Ceci doit être une priorité très forte pour la prospective 2014. Il faudra mobiliser la communauté scientifique (sans doute élargir au delà de l'océanographie – nuages et aérosols par exemple, terres émergées aussi) et préciser le contexte programmatique. Celui-ci est très favorable au niveau international avec les projets Américains (GeoCAPE), Coréens (GOCI-II), Indiens (GeoSAT) Japonais (Himariwi) notamment.
- La recommandation concernant la constellation Iridium pour l'océanographie a conduit à une étude de phase 0 industrielle sur la performance et le coût d'un tel concept appliqué à l'altimétrie (jusqu'à 24 altimètres embarqués sur les satellites Iridium). Les résultats, exposés à l'OSTST de Seattle, montrent un concept séduisant, mais qui n'a pas donné de suite effective. Plusieurs raisons peuvent être avancées pour ce demi-échec : la mise en place de GMES et de SWOT qui assuraient chacun déjà deux grands aspects du besoin exprimé (opérationnel et haute résolution respectivement), l'incompatibilité entre le calendrier de décision d'embarquement sur Iridium et le cycle de décision de programme des agences spatiales, et enfin la nécessité de repenser une constellation altimétrique en un bloc alors que la constellation virtuelle actuelle s'est construite mission par mission. L'étude a cependant inspiré une proposition de phase 0 pour étudier ce dernier point : quel serait le choix technique pertinent pour établir une constellation altimétrique performante et cohérente. La phase 0 a démarré en 2013 et pourrait servir de cadre de réflexion pour une constellation altimétrique dans un GMES du futur.
- Concernant le CEOS et l'océanographie, le CNES participe aux "constellations virtuelles" pour l'altimétrie, les vents de surface et la couleur de l'océan. Ces groupes servent essentiellement à nourrir la coordination inter-agence et l'échange d'informations, et s'appuient aussi sur des "Science Teams". En pratique, pour l'altimétrie, ce sont les meetings OSTST qui permettent (et permettaient avant le CEOS) aux responsables thématiques des agences d'avoir des échanges suivis. Le CEOS a permis de formaliser un "User Requirement Document" qui synthétise le besoin communément exprimé en terme de constellation altimétrique (virtuelle ou non), sans forcément anticiper les avancées techniques issues des travaux scientifiques en cours. Pour la couleur de l'océan, l'OCR-VC (Ocean Colour Radiometry Virtual Constellation) s'appuie sur les travaux de l'IOCCG (International Ocean Colour Consultative Group) : ce dernier comité est à la fois plus équilibré sur le plan international (Asie, Amérique du Sud) et plus resserré que l'OSTST, mais un meeting international (IOCS) biennal a été instauré, fortement inspiré de la structuration OSTST. Le comité OSVW-VC (Ocean Surface Vector Wind) est très actif avec une "Science Team" associée, et constitue un bon forum pour sensibiliser la communauté sur les enjeux scientifiques de la mission CFOSAT. Celui-ci, de même que le comité analogue pour la température de surface (adossée au groupe international préexistant GHRSSST), sont largement animés par les agences et utilisateurs opérationnels, et le CNES en tant

qu'agence y est peu actif.

On peut enfin noter que la coopération France-Chine sur HY-2 et CFOSAT est très favorablement vue par ces comités du CEOS, où l'un des objectifs prioritaires est d'encourager la mise à disposition par les agences des données de leurs missions. La Chine, bien qu'ayant plusieurs missions d'océanographie en opérations, reste pour le moins prudente sur l'accès aux données : le CNES est donc, de par ses contacts privilégiés, un point de contact souvent sollicité. Les actions du CNES pour pouvoir rediffuser les données altimétriques HY-2, ou sur la politique de données CFOSAT sont ainsi très attendues de la communauté internationale, même si le progrès en est plus que modéré.

Missions satellites envisageables entre 2016 et 2020 :

- La recommandation concernant la mission SWOT a été suivie. Bien des questions restent en suspens évidemment à ce stade. Mais il me semble néanmoins que tout a été fait pour que cette recommandation soit suivie et tous les voyants sont au vert actuellement.
- La recommandation concernant la définition de la résolution spectrale la plus adaptée pour le milieu côtier est d'importance et le reste probablement. Si le milieu côtier doit ressortir, comme probable, comme une priorité forte en 2014, il faudra inclure ce point parmi d'autres dans la réflexion sur les aspects techniques, scientifiques, d'organisation et institutionnels relevant de ce milieu.

Missions satellites à étudier pour faisabilité après 2020 :

- Les études de faisabilité relativement au projet SWORD restent peu avancées même si on note des travaux de phase 0 sur SWIM Nouvelle Génération et des projets analogues en cours à l'ESA.
- Le rappel de l'intérêt pour l'océanographie des mesures de l'épaisseur des glaces devra être développé avec force pour la prospective 2014
- Des réflexions sont en cours sur de futurs instruments permettant d'améliorer la résolution spatiale et la qualité des salinités télédétections (projet SMOS-NEXT en France).

Moyens d'accompagnement:

- Les moyens d'accompagnement des missions n'ont pas diminués sur la période récente et restent à un niveau extrêmement appréciable. C'est un point sur lequel nous devons travailler en détail pour la prospective et qui était peut être d'un degré de généralité trop grand pour être complètement opérationnel.
- La recommandation concernant un pôle Couleur de l'océan était bonne. Il faut l'analyser aujourd'hui et la replacer avec la priorité que nous mettrons probablement sur une mission couleur. Elle a été en partie satisfaite avec la création du GIS COOC même si ce n'est pas strictement un pôle.
- La recommandation concernant un ARGO biogéochimique a été suivi avec des moyens significatifs.

Soutien à la recherche:

- Dans cette rubrique avait été recommandés la poursuite de soutien scientifique autour des missions telles que CFOSAT, SMOS, CRYOSAT et de la physique de la mesure en couleur de l'océan. Cela a été fait plutôt bien dès lors que des scientifiques ont proposé des projets dans ces directions.
- Bien que potentiellement utile pour l'océanographie, les données de POLDER dans le cadre de la mission PARASOL n'ont pas été utilisées autrement que de façon assez marginale, car la configuration mission (en train avec MODIS/AQUA) est moins favorable que dans les missions ADEOS précédentes. Quelques travaux sur l'intérêt de la mesure polarimétrique, plutôt axés sur la validation in situ, ou une proposition de phase 0 d'une revisite des spécifications pertinentes pour l'océanographie sont tout de même à noter.
- Les capteurs hyperspectraux présentent un intérêt certain pour l'océanographie et la recommandation était à cet égard judicieuse. Elle doit sans doute être élaborée plus avant pour le côtier pour la future prospective.

Dans l'ensemble la série des recommandations faites en 2009 était plutôt pertinente et pourrait servir de base pour 2014 avec l'évidente mise à jour nécessaire. La hiérarchisation des priorités était peut-être insuffisamment lisible sur le plan scientifique et devrait pouvoir être améliorée.