

Jason et notre planète Océan

Dossier
d'information



Sommaire

Pages 4 et 5

Vers un système opérationnel de surveillance des océans

Pages 6 et 7

Sur les traces de TOPEX/POSEIDON

Pages 8 à 11

Le satellite Jason-1 et sa charge utile

Pages 12 et 13

Le lancement et la mise en orbite

Pages 14 à 16

Le segment sol et le traitement des données

Pages 16 et 17

Le défi du millimètre par an

Pages 18 à 20

Jason au service de la prévision du climat

Pages 21 à 23

Jason au service des gens de la mer

Pages 24 et 25

L'accompagnement scientifique de la mission

Pages 26 et 27

De nombreux équipiers français parmi les Argonautes

Pages 28 et 29

La coopération France/Etats-Unis



Vers un système opérationnel de surveillance des océans

A tout instant, dans les moindres recoins de notre planète bleue, nous devons être capables d'observer l'état de l'océan, composante fondamentale de notre système climatique, le décrire, l'expliquer et en prévoir les évolutions !

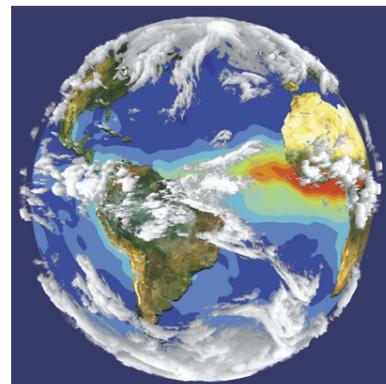
Notre Terre, serait-elle mal nommée puisque l'eau recouvre 71 % de sa surface et semble absente des autres planètes ? 360 millions de km², 700 fois la surface de la France ! Des océans qui constituent 97 % de la réserve d'eau liquide sur la Terre.

Cette eau, sans cesse en mouvement, joue un rôle primordial dans l'évolution du climat et de l'environnement terrestre du fait de son inertie – bien plus importante que l'atmosphère - due à une masse 500 fois plus importante.

Notre Terre vit au rythme des saisons et du Soleil qui la chauffe de façon inégale. Océans, atmosphère, glaces et terres se répartissent cette chaleur en profitant de la circulation naturelle des vents et des courants marins.

La succession de catastrophes que nous avons connues ces dernières années, inondations, tempêtes exceptionnelles, phénomènes "El Niño" et "La Niña", nous a brutalement fait prendre conscience de l'impact des changements climatiques sur notre vie quotidienne. Les scientifiques ont ainsi été amenés à s'interroger sur les causes, les conséquences et la "prévisibilité" de l'évolution de l'Océan et de ses

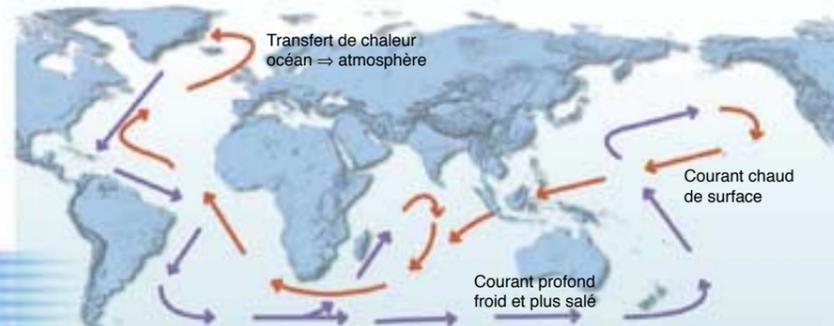
variations... puisqu'il est désormais admis que l'Océan joue un rôle perturbateur et régulateur fondamental dans l'évolution du climat. Au cours de ces trente dernières années, notre vision réduite de l'Océan s'est nettement améliorée. Accéder à une représentation globale et continue, en temps réel, semblait démesurée il y a de cela quelques dizaines d'années, à une époque où seules des observations



Aujourd'hui de nombreux paramètres océaniques sont mesurés depuis l'espace : température, couleur de l'eau, vent, vagues et topographie dynamique.

in situ partielles et discontinues étaient disponibles. Ce n'est plus le cas aujourd'hui, grâce aux satellites d'observation de la Terre et des Océans qui balayent en l'espace de quelques jours toute la surface du globe et peuvent mesurer avec une

L'Océan est en perpétuel mouvement, en surface sur des laps de temps de quelques heures à quelques années, mais aussi en profondeur sur des échelles de temps de plusieurs siècles.

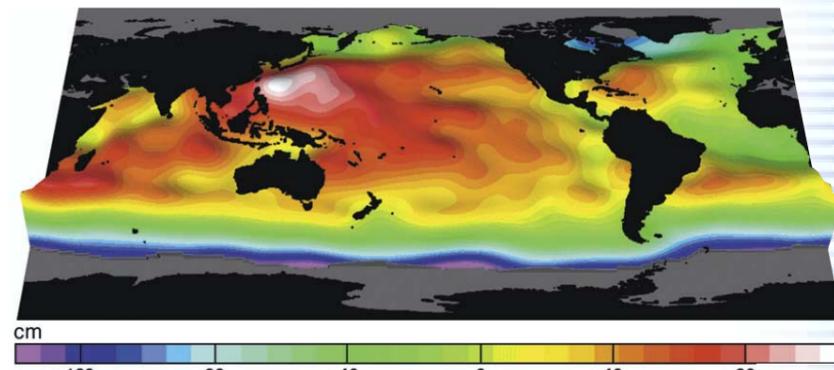


précision remarquable température de surface, couleur de l'eau, vitesse et direction du vent et topographie de la mer.

Faisant suite aux satellites SEASAT (1978) et GEOSAT (1985), le satellite franco-américain TOPEX/POSEIDON fut lancé en 1992.

Avec ERS-1/2 (1991, 1995), il a fait une brillante démonstration de l'apport des techniques spatiales en océanographie. Grâce à une technologie très performante de radar altimètre, les moindres variations centimétriques du niveau de la mer n'échappent pas à l'œil perçant de ce satellite. En donnant accès pour la première fois à une mesure rapide, synoptique, globale et répétée de la topographie de surface des océans, l'altimétrie satellitale a révolutionné l'océanographie physique. Grâce au demi-million de mesures collectées par le satellite sur tous les océans en l'espace de 10 jours, les scientifiques ont pu, entre autres, dresser régulièrement des cartes des courants marins, suivre leurs variations saisonnières et annuelles, et observer les effets d'anomalies climatiques majeures, comme le phénomène El Niño/La Niña 97-99. C'est ainsi que les mécanismes complexes qui interviennent, les interactions multiples entre les différents modes de variabilité de l'Océan commencent à être mieux comprises et mieux décrits.

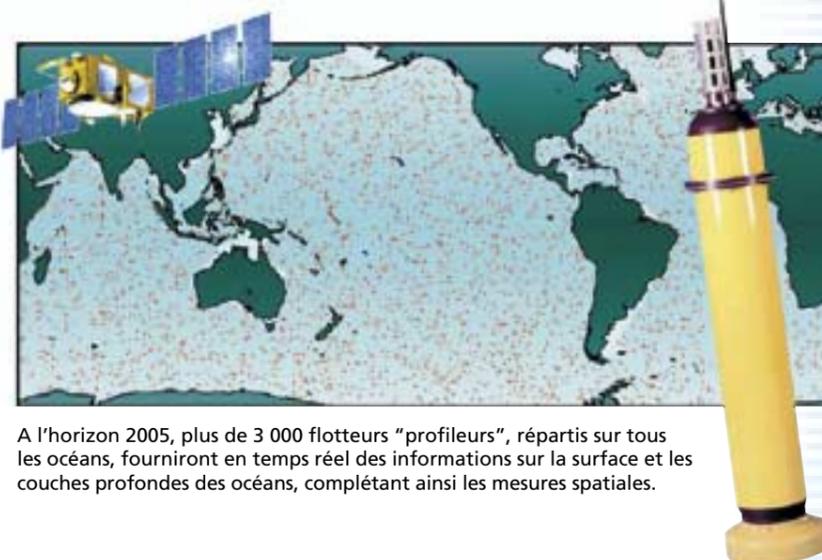
La mission TOPEX/POSEIDON ayant tenu toutes ses promesses, l'altimétrie par satellite est devenue une discipline indispensable à la poursuite d'un nouveau défi, celui de l'océanographie opérationnelle. Ce défi se nourrit de la dynamique née autour des missions spatiales océaniques de ces dernières années et des grands programmes de recherche associés. C'est le cas par exemple de programmes précurseurs tels que l'expérience WOCE (World Ocean Circulation Experiment), TOGA-COARE (pour l'observation des anomalies climatiques du Pacifique équatorial), ou plus récemment du programme de



Topographie dynamique de l'océan, observée par altimétrie. (TOPEX/POSEIDON)

recherche sur le climat CLIVAR (Climate Variability and Predictability).

Le passage toujours délicat de la recherche aux applications est en cours. Des services d'océanographie opérationnelle à l'échelle régionale sont déjà en place, citons le système SOPRANE développé par le SHOM sur l'Atlantique nord ou le projet européen MFSP (Mediterranean Forecasting System Pilot Project). La prochaine étape est le passage au global avec en particulier le programme international GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment), opérationnel en 2003. Le centre MERCATOR, composante française de GODAE, fournira une description et une prévision 3D haute résolution de l'Océan à l'échelle planétaire. Depuis janvier 2001, une première version opérationnelle MERCATOR fournit des prévisions sur l'Atlantique nord et tropical. En même temps que le développement de systèmes spatiaux et de modèles d'Océan de plus



A l'horizon 2005, plus de 3 000 flotteurs "profileurs", répartis sur tous les océans, fourniront en temps réel des informations sur la surface et les couches profondes des océans, complétant ainsi les mesures spatiales.



Le satellite américain Seasat, lancé en 1978, marqua le début d'une nouvelle ère en océanographie.

en plus sophistiqués, le réseau in situ d'observation global sera largement étoffé et maintenu. C'est l'objet du programme ARGO qui prévoit la mise à l'eau de plus de 3 000 flotteurs profileurs sur tous les océans d'ici 2005.

Le succès de ces initiatives a démontré la capacité de mobilisation d'un grand nombre de compétences scientifiques, techniques et opérationnelles pour mettre en œuvre une océanographie opérationnelle, désormais nécessaire et du domaine du réalisable.

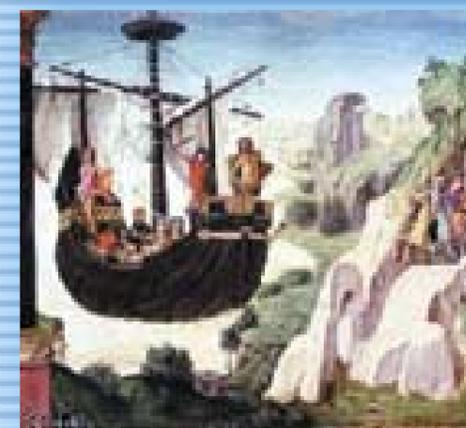
Fournir des bulletins de météorologie marine au profit de la navigation commerciale ou des flottes de pêche, prévoir de grands événements climatiques anormaux ou mieux gérer les zones côtières... Grâce à l'altimétrie spatiale de Jason-1, et à tout un réseau d'observation spatial et in situ pérenne, notre "planète océan" et ses humeurs changeantes seront encore mieux comprises et de plus en plus prévisibles.

Le nom Jason

Jason est un des héros de la mythologie grecque. A la tête de la fameuse expédition des argonautes il décida de récupérer la "Toison d'Or", toison gardée par un dragon en Mer Noire.

Son navire ARGO était capable de prédire en temps réel l'état de la mer et de le communiquer à l'équipage. Après plusieurs années d'efforts, après avoir traversé de part en part la Méditerranée, Jason atteint son objectif.

Toute civilisation a besoin de mythes et de réussite. L'expédition des argonautes réunit les deux, il en sera de même pour Jason qui apporte les deux composantes motrices de l'activité spatiale : la quête (recherche) et la conquête (la mise en œuvre des applications).



Jason à bord de son navire, Argo, à la recherche de la Toison d'or.

Sur les traces de TOPEX/POSEIDON



Les principaux thèmes de recherche de la nouvelle mission altimétrique Jason-1 ont été définis d'après les retours d'expérience de la mission TOPEX/POSEIDON. L'océanographie physique est la première discipline à bénéficier de ces outils, remarquables de précision. Mais d'autres disciplines, en sciences de la Terre, leur doivent beaucoup.

Placé sur une orbite inclinée à 66°, à une altitude de 1 336 km, Jason-1 suivra, et revisitera tous les 10 jours les mêmes traces au sol que son prédécesseur TOPEX/POSEIDON, détectant ainsi les moindres variations du niveau des mers et alimentant en données de haute qualité les divers programmes de recherche.



TOPEX/POSEIDON, mission dédiée à l'observation de la circulation océanique a révolutionné l'océanographie physique. Il a été lancé le 10 août 1992 par une fusée Ariane 4 depuis Kourou, et continue de fonctionner après plus de 9 ans de bons et loyaux services.

La circulation océanique moyenne

Caractériser les courants moyens à partir des mesures altimétriques est indispensable pour mieux comprendre leur influence sur les mouvements transitoires et la physique des phénomènes en jeu, pour les modéliser et affiner l'état initial de l'océan. Les mesures Jason-1 combinées au géoïde marin déduites des missions spatiales gravimétriques présentes (CHAMP) et à venir (GRACE et GOCE) contribueront de manière significative à une connaissance accrue de cet état océanique moyen.

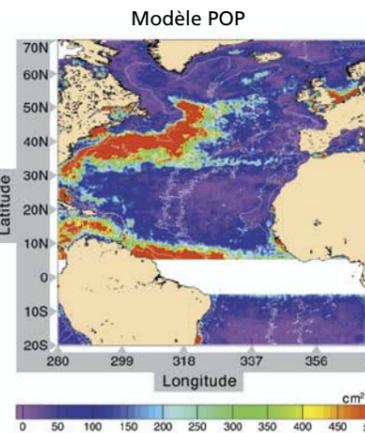
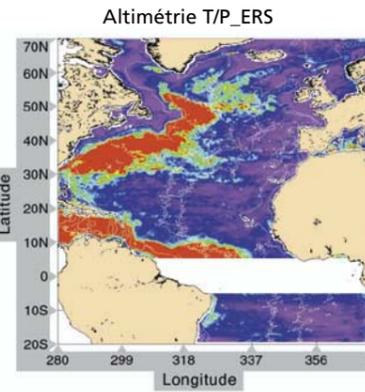
La variabilité intrasaisonnière à interannuelle

Cette variabilité océanique, qui affecte en particulier les grands courants océaniques, a un effet considérable sur les changements climatiques. Le cycle saisonnier par exemple entraîne, pour chaque hémisphère, une élévation ou un abaissement du niveau de la mer de plus de 15 cm en certains endroits mais avec des variations significatives d'une année sur l'autre. Les épisodes du phénomène "El Niño" dont celui très marqué de 97-98, dans le Pacifique tropical sont des exemples extrêmes de ces anomalies interannuelles. Les trains d'onde qui traversent les bassins océaniques sur des périodes de plusieurs mois sont eux aussi porteurs d'une énergie considérable qu'ils échangent avec l'atmosphère. La mission TOPEX/POSEIDON a marqué un tournant essentiel dans l'observation de ce type de variabilité du fait d'une précision accrue des mesures et d'une réduction considérable des sources d'erreurs. L'intégration systématique des données altimétriques Jason-1 dans les modèles océaniques jouera ainsi un rôle de tout premier plan dans la description et la prévision de ces phénomènes.

Variabilité mésoéchelle et côtière

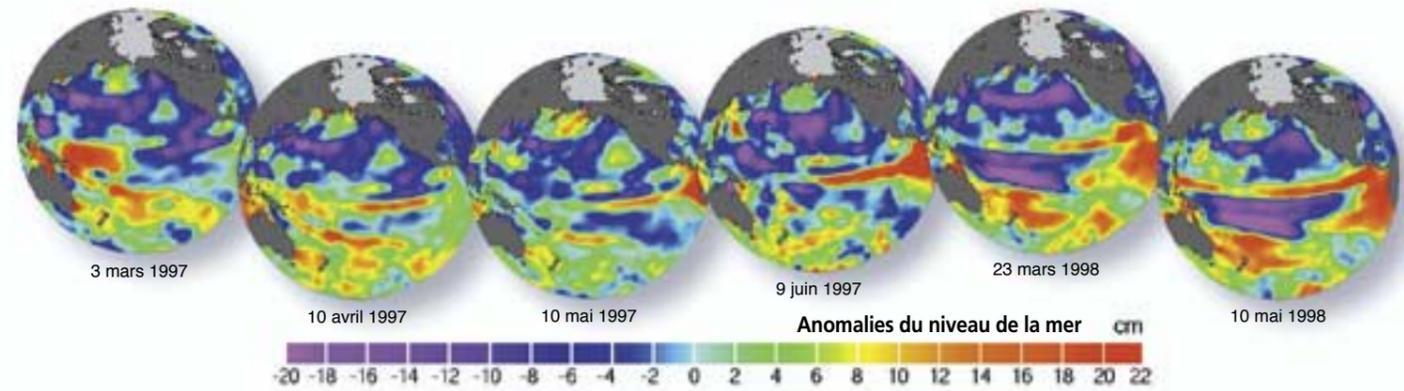
Les données altimétriques sont particulièrement utiles pour résoudre la variabilité océanique mésoéchelle. Sous cette appellation se cachent des signaux à faible extension spatiale (quelques dizaines de kilomètres) ayant des durées de vie

Energie cinétique tourbillonnaire



L'altimétrie qui permet de mieux décrire et quantifier l'énergie transportée par les courants océaniques (ici le Gulf Stream) est un outil indispensable pour ajuster et valider les modèles numériques de circulation océanique.

de l'ordre de quelques mois. Citons, à titre d'exemple, les tourbillons très énergétiques, générés au voisinage des grands courants océaniques, qui jouent un rôle capital dans le transport de chaleur des basses vers les hautes latitudes.



Pour la première fois en 1997-98 le phénomène El Niño pu être observé dans sa globalité, et en continue, grâce à TOPEX/POSEIDON.

Les zones côtières, qui représentent 8 % de la surface des océans, sont elles aussi soumises à une forte activité turbulente. Il s'agit d'un domaine fragile et complexe soumis à de multiples influences, comme l'accumulation de matières organiques et d'eau douce charriées par les cours d'eau, l'action de la glace aux latitudes élevées, les marées côtières, et les interactions entre les courants côtiers et les courants de haute mer. Jason-1, associé au satellite ENVISAT de l'Agence spatiale européenne, sera un partenaire de choix dans l'observation et la résolution de ce type de variabilité...

L'évolution du niveau moyen de la mer

Le niveau moyen de la mer est un indicateur significatif du réchauffement de la planète. Les mesures TOPEX/POSEIDON ont permis de confirmer la tendance déjà observée par les marégraphes, à savoir une élévation moyenne de l'ordre de

2 mm/an. Toutefois ce signal extrêmement faible est à la limite de ce qui peut être observé, même par un système de la classe de précision TOPEX/POSEIDON. Seule l'accumulation sur plusieurs années de telles mesures permettra d'arriver à un niveau d'observabilité satisfaisant, d'où la nécessité de pouvoir disposer, dans la foulée de TOPEX/POSEIDON, des mesures Jason-1.

Les marées

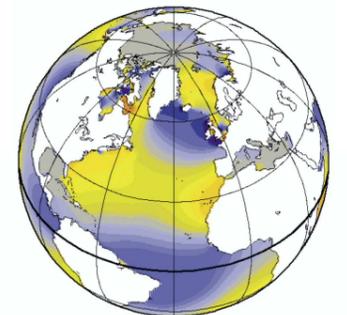
Grâce aux données TOPEX/POSEIDON, plusieurs modèles sont maintenant capables de prédire les principales composantes diurnes et semi-diurnes de la marée océanique avec une précision exceptionnelle de l'ordre de 2 cm. Des ondes internes générées par la marée ont même été mises en évidence à partir des estimations de la dissipation de l'énergie des marées déduites de l'altimétrie. Jason-1 permettra d'affiner ces études. Dans les régions côtières, la combinaison des données Jason-1 et ENVISAT sera particulièrement bénéfique pour résoudre les longues périodes et les signaux à faible extension des marées.

L'état de la mer

L'altimètre fournit également des mesures de la hauteur des vagues et de la vitesse du vent qui sont d'un grand intérêt scientifique et opérationnel en météorologie marine. Plusieurs centres météorologiques utilisent déjà les mesures altimétriques en entrée de leurs modèles opérationnels et bénéficieront donc de l'apport des mesures vent-vagues Jason-1 disponibles moins de 5 heures après leur acquisition par le satellite.

Autres applications en géodésie, géophysique, glaciologie et hydrologie

La mesure altimétrique du niveau de la mer intègre au premier ordre le géoïde marin, effet de la gravité terrestre sur l'océan, dont l'amplitude est 10 à 100 fois supérieures à celle de la topographie dynamique des océans. Les géophysiciens ont ainsi accès à une multitude d'informations pour étudier la bathymétrie, la tectonique des plaques avec des niveaux de précision et de résolution jamais atteints jusqu'alors. Beaucoup d'autres investigations en sciences de la terre, comme l'étude des glaces, des mers fermées, des grands lacs, des régions désertiques, tireront avantageusement parti des mesures altimétriques Jason-1.



Les modèles de prévision de marée ont largement bénéficié de l'apport des mesures altimétriques. Aujourd'hui, on est capable de prévoir la marée avec une précision de 2 cm en plein océan. (ici l'onde M2).



Le satellite Jason-1, quatre fois plus léger que TOPEX/POSEIDON, suivra les mêmes traces au sol et offrira les mêmes performances que son aîné.

Le satellite Jason-1 et sa charge utile...

Jason-1 est un mini-satellite, premier d'une nouvelle filière. Cinq fois plus léger et près de trois fois moins cher que TOPEX/POSEIDON, il utilise la plate-forme multi-mission PROTEUS.

Le satellite

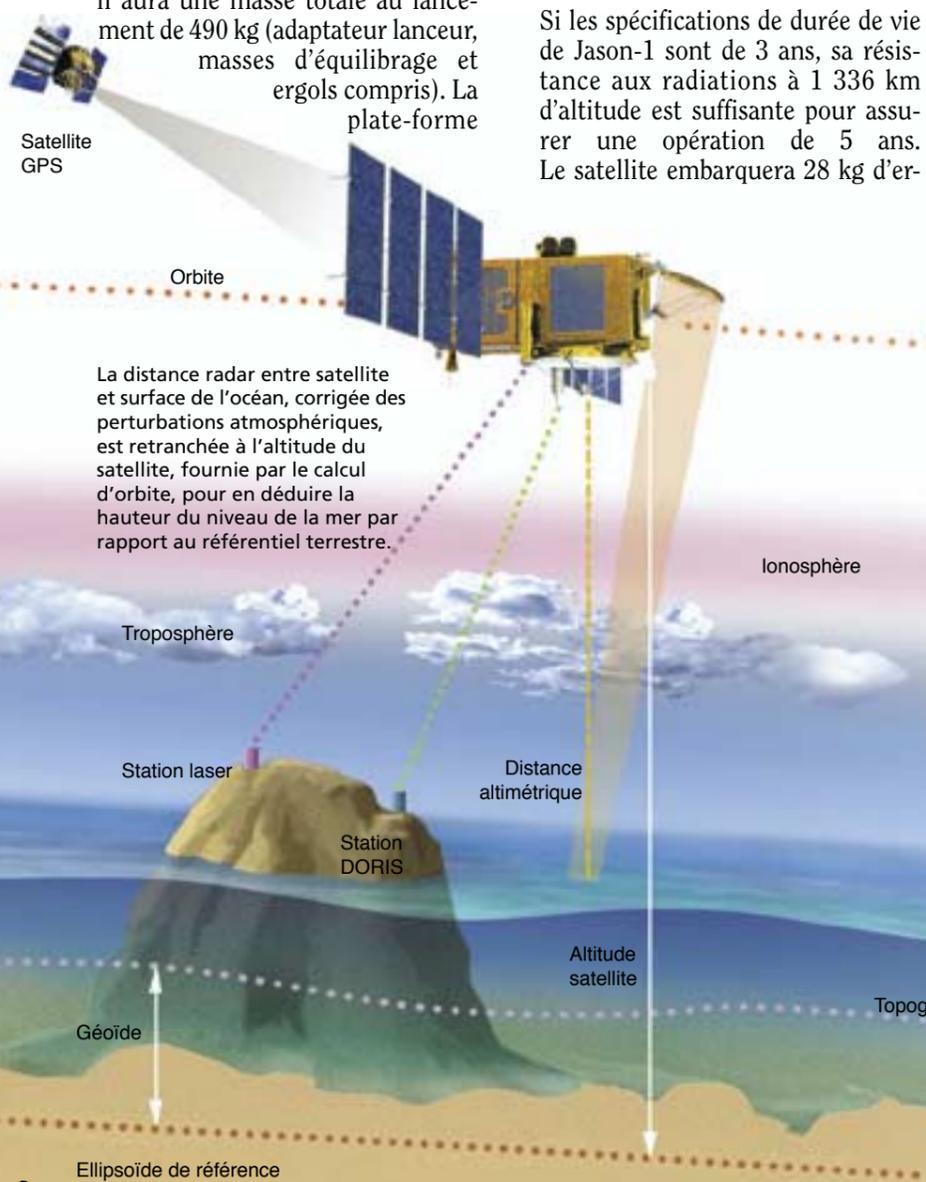
Jason-1 est le premier satellite à utiliser la plate-forme multi-mission PROTEUS, réalisée dans le cadre d'un partenariat à long terme entre le CNES et Alcatel Space Industries.

Ce satellite, stabilisé trois axes, mesure environ 3,4 m de haut et il aura une masse totale au lancement de 490 kg (adaptateur lanceur, masses d'équilibrage et ergols compris). La plate-forme

du satellite avec ses deux senseurs stellaires représente 275 kg, et l'ensemble de la charge utile 175 kg (instruments et structures).

Une fois placé en orbite, le satellite déploiera deux ensembles de panneaux solaires d'une surface totale de 9,5 m² qui lui fourniront une puissance de 500 W, utilisables par la plate-forme et la charge utile.

Si les spécifications de durée de vie de Jason-1 sont de 3 ans, sa résistance aux radiations à 1 336 km d'altitude est suffisante pour assurer une opération de 5 ans. Le satellite embarquera 28 kg d'er-



gols consommables largement suffisants pour une telle durée de vie.

Le système de mesure

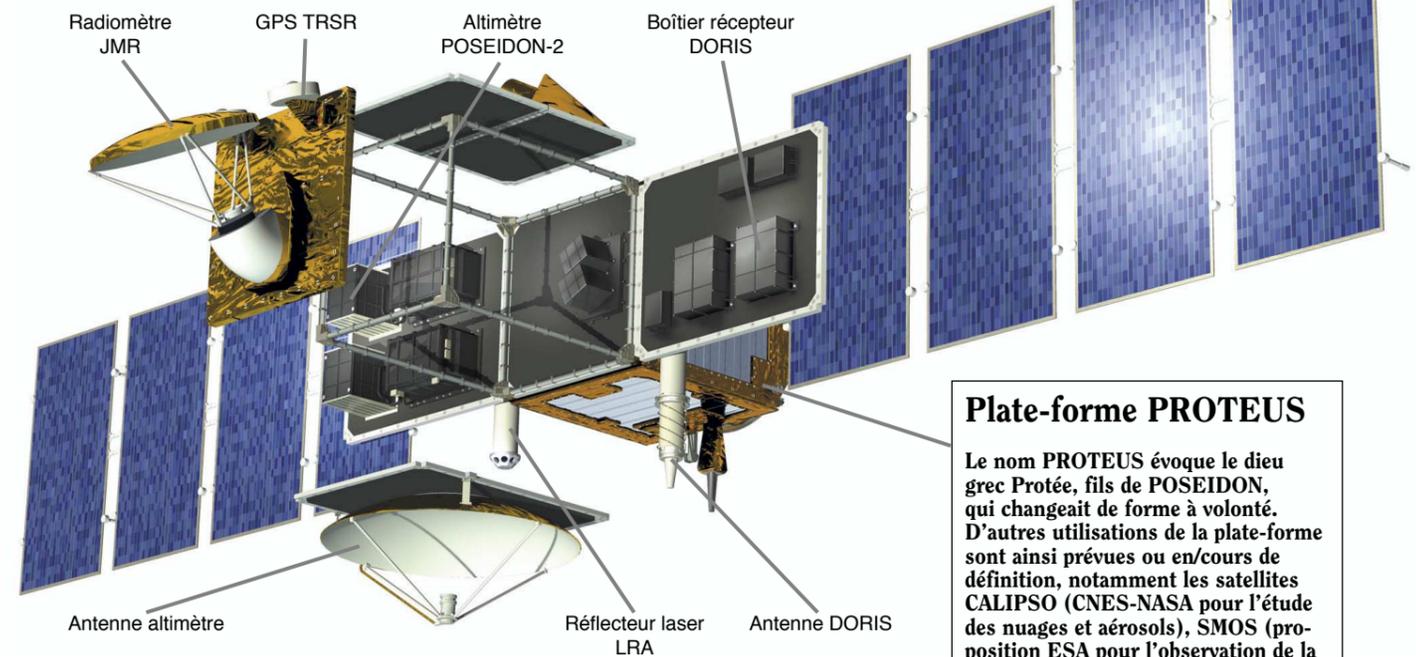
La charge utile de la mission se compose de cinq instruments. Un altimètre bi-fréquence appelé "POSEIDON-2" et un système d'orbitographie DORIS embarqué sont fournis par le CNES. La NASA, pour sa part, a livré un radiomètre à trois fréquences, un système de localisation GPS et un réflecteur laser. Tous ces instruments, à l'exception du réflecteur laser, sont redondés.

DORIS, complété par le GPS et le réflecteur laser, permet de déterminer la position du satellite sur son orbite par rapport à un système de référence terrestre avec une précision de l'ordre du centimètre. L'altimètre utilise le principe du radar : les ondes radio émises depuis Jason-1 sont réfléchies par la surface de l'eau et reviennent vers le satellite.

Le temps mesuré du trajet aller-retour fournit, après un traitement approprié tenant compte notamment du ralentissement dû aux traversées de l'ionosphère et de la troposphère, la distance précise entre le satellite et la mer. La différence entre cette mesure et l'altitude du satellite par rapport à la Terre, déduite du calcul d'orbite, permet d'accéder à la hauteur de la mer et ses variations.

L'analyse de la forme et de l'amplitude de l'écho radar donne accès également à la hauteur des vagues et à la vitesse du vent.

Toutes les mesures obtenues sont stockées en continu dans une mémoire de masse embarquée à



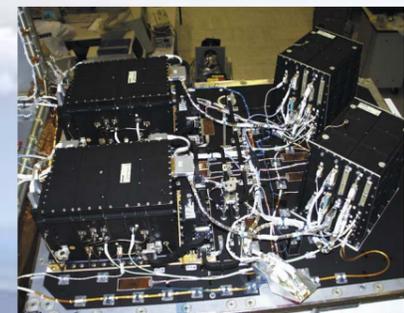
Eclaté du satellite montrant les différents instruments qui se trouvent à son bord.

bord du satellite. Elles sont transmises au sol chaque fois que Jason-1 est en visibilité d'une station terrestre.

POSEIDON-2

L'instrument radar de la mission Jason-1 est l'altimètre à état solide POSEIDON-2. La maîtrise d'œuvre a été confiée par le CNES à Alcatel Space Industries.

Cet altimètre est dérivé de l'altimètre "POSEIDON-1" utilisé sur la mission TOPEX/POSEIDON. Ses performances sont accrues par sa conception bi-fréquence et il est plus compact et léger.



Les 2 modèles de vol du radar altimètre sur les bancs de test au sol. Les performances annoncées ont ainsi été confirmées, en particulier le niveau de bruit à 1 Hz inférieur à 2 cm.

La réalisation des boîtiers électroniques et les tests ont été confiés à Alcatel Space Industries à Toulouse, tandis que le développement et les tests de l'antenne ont été réalisés à Alcatel Space Industries Cannes.

Depuis l'antenne de 1,2 m orientée vers le nadir du satellite, l'émission d'impulsions radar sur deux fréquences (13,6 et 5,3 GHz) permet



L'antenne altimètre pendant les essais au sol.

de mesurer la distance et de la corriger du ralentissement ionosphérique directement à partir de l'effet différentiel des deux fréquences émises dans l'ionosphère.

Ce radar est capable de mesurer la distance entre le satellite et la surface de la mer avec une précision de 2 cm pour un échantillonnage à 1 Hz (une mesure par seconde) le long de sa trace au sol.

Plate-forme PROTEUS

Le nom PROTEUS évoque le dieu grec Protée, fils de POSEIDON, qui changeait de forme à volonté. D'autres utilisations de la plate-forme sont ainsi prévues ou en cours de définition, notamment les satellites CALIPSO (CNES-NASA pour l'étude des nuages et aérosols), SMOS (proposition ESA pour l'observation de la Terre), Corot (CNES, télescope optique destiné à l'étude de la structure interne des étoiles et à la détection de leurs planètes), Jason-2, et Megha-Tropiques (CNES/ISRO, étude du cycle de l'eau dans l'atmosphère tropicale).

DORIS

La réussite de la mission Jason-1 (comme celle de TOPEX/POSEIDON) tient essentiellement à la précision exceptionnelle avec laquelle la position du satellite sur son orbite est connue, ce que l'on doit principalement à la qualité du système DORIS.



L'antenne DORIS qui se trouve à bord de TOPEX/POSEIDON et Jason-1 a un design très particulier.

Embarqué à titre expérimental pour la première fois à bord du satellite SPOT-2 en 1990, le système DORIS a été mis au point par le CNES et réalisé par THALES (anciennement Dassault Electronique). Les performances validées en vol en font actuellement le meilleur système d'orbitographie existant. Sa reconnaissance est désormais internationale depuis son intégration au Système International de la Rotation Terrestre.



Les antennes et stations DORIS sont très facilement transportables pour faciliter des opérations de localisation précise temporaires.

Le satellite est en permanence localisé par rapport à un réseau d'une cinquantaine de balises, régulièrement réparties sur l'ensemble de la planète, qui émettent un signal bi-fréquence lors des passages du satellite. Ces signaux sont captés par le récepteur DORIS du satellite qui mesure l'effet Doppler – le décalage entre la fréquence émise et la fréquence reçue.

Les mesures DORIS effectuées par Jason-1, combinées avec les mesures obtenues par les instruments embarqués à bord d'autres satellites (la série SPOT-2-4 et TOPEX/POSEIDON) permettent de localiser précisément les balises dans un système de référence terrestre international.

Les mesures de décalage de fréquences sont renvoyées au sol et intégrées par le Service d'Orbito-

graphie DORIS du Centre Spatial de Toulouse, dans un modèle d'orbitographie complexe qui restitue la trajectoire du satellite et sa position instantanée par rapport à la Terre. La précision validée pour la mission TOPEX/POSEIDON est estimée à 2-3 cm et la performance espérée pour Jason-1 est centimétrique.

Le récepteur DORIS sur Jason-1 est une version miniaturisée de celui qui est également embarqué à bord d'ENVISAT, satellite de l'Agence spatiale européenne.

De plus, grâce à ses performances et à l'amélioration des mesures, DORIS ouvre maintenant la voie à la navigation autonome d'un satellite. Ceci consiste à intégrer dans le

récepteur DORIS une fonction de détermination en temps réel de la position du satellite. Cette fonction "DIODE", démontrée avec succès lors de la mise à poste de TOPEX/POSEIDON puis sur SPOT-3 et SPOT-4, sera mise en œuvre sur Jason-1. La performance espérée pour Jason-1 est de l'ordre de 10 cm, ce qui permet d'envisager une utilisation efficace des données d'altimétrie en temps réel.

Le Radiomètre

Le radiomètre micro-onde à trois canaux Jason Microwave Radiometer (JMR) permet de déterminer le contenu en vapeur d'eau dans la troposphère et de corriger ainsi les mesures altimétriques du retard de propagation dans les couches troposphériques.

Chacune des trois fréquences utilisées est sensible à des effets différents. Le canal principal à 23,8 GHz est très sensible à la vapeur d'eau alors que le canal 18,7 GHz permet de quantifier les effets induits par le vent sur la surface de la mer, et le dernier canal à 34,0 GHz permet de corriger les effets des nuages non-précipitants. La combinaison des mesures de températures de brillance aux trois fréquences permet in fine de restituer précisément le contenu en vapeur d'eau.



Le radiomètre, ici avec son antenne, permettra de mesurer très précisément le contenu en vapeur d'eau de la troposphère et de corriger en conséquence les mesures radar altimètre.

Ce radiomètre de nouvelle génération fait appel aux technologies de miniaturisation MMIC (Microwave Monolithic Integrated Circuit) qui garantissent une grande fiabilité, et un gain en masse et en consommation. L'équipement JMR, notamment son canal central et ses systèmes de surveillance numériques, sont entièrement redondés.

Récepteur GPS

Le récepteur GPS de Jason-1 a été fourni par le Jet Propulsion Laboratory (JPL) afin de disposer d'un système complémentaire de détermination précise de l'orbite du satellite. Le Turbo Rogue Space Receiver (TRSR) peut recevoir en continu et simultanément les signaux de navigation bi-fréquence de 12 des satellites de la constellation GPS en orbite à 20 200 km.

À partir de ces signaux, l'instrument effectue et acquiert des mesures de phase avec une précision d'environ 1 mm et de pseudo distance avec une précision d'environ 10 cm.

Les données des GPS, combinées aux mesures du réseau IGS au sol, sont intégrées avec les mesures DORIS dans les modèles de trajectographie de haute précision. C'est en effet, l'utilisation conjointe des systèmes géodésiques complémentaires DORIS et GPS qui devrait permet-

tre de franchir la barrière du centimètre dans la précision de restitution de l'altitude du satellite.

Réflecteur laser

Le Laser Retroreflector Array (LRA) sert de cible pour les tirs laser réalisés depuis des stations au sol. Les données de poursuite laser du satellite fournissent un moyen d'étalement des mesures altimétriques effectuées par le système. Elles permettent également de compléter les autres données DORIS et GPS pour le calcul précis de l'orbite.

Le rétro-réflecteur placé au nadir du satellite est entièrement passif. Il est composé de neuf coins de cube en quartz, disposés en forme de cône tronqué, un cube placé au centre et les huit autres distribués autour du cône. Ce réflecteur couvre un champ de vision d'environ 100 degrés. Les mesures de distance entre la station laser au sol et le satellite ont une précision de l'ordre du centimètre.



Le GPS, qui réceptionnera en permanence les signaux issus de 12 satellites GPS, complètera le système DORIS pour connaître la trajectoire du satellite avec une précision centimétrique.



Le réflecteur laser placé sur le satellite Jason, sera utilisé pour faire des mesures complémentaires d'orbitographie à partir de stations laser sol.

Industriels

L'altimètre "POSEIDON-2" a été développé et mis au point pour le CNES par **Alcatel Space Industries (Toulouse)**. Son antenne a été développée et testée par **Alcatel Space Industries (Cannes)**.

Le récepteur DORIS a été fabriqué par **THALES** (anciennement Dassault Electronique) à St Quentin-en-Yvelines (78). **C-MAC** (Argenteuil 95) a fourni son oscillateur ultra-stable et son antenne est réalisée par **Chelton-Starec**, (Dourdan 91). **DACTEM** (Alès) fournit les bancs d'essais DORIS.

Le "Jason Microwave Radiometer" (JMR) est le radiomètre construit par le **Jet Propulsion Laboratory (JPL)**, Pasadena, Californie.

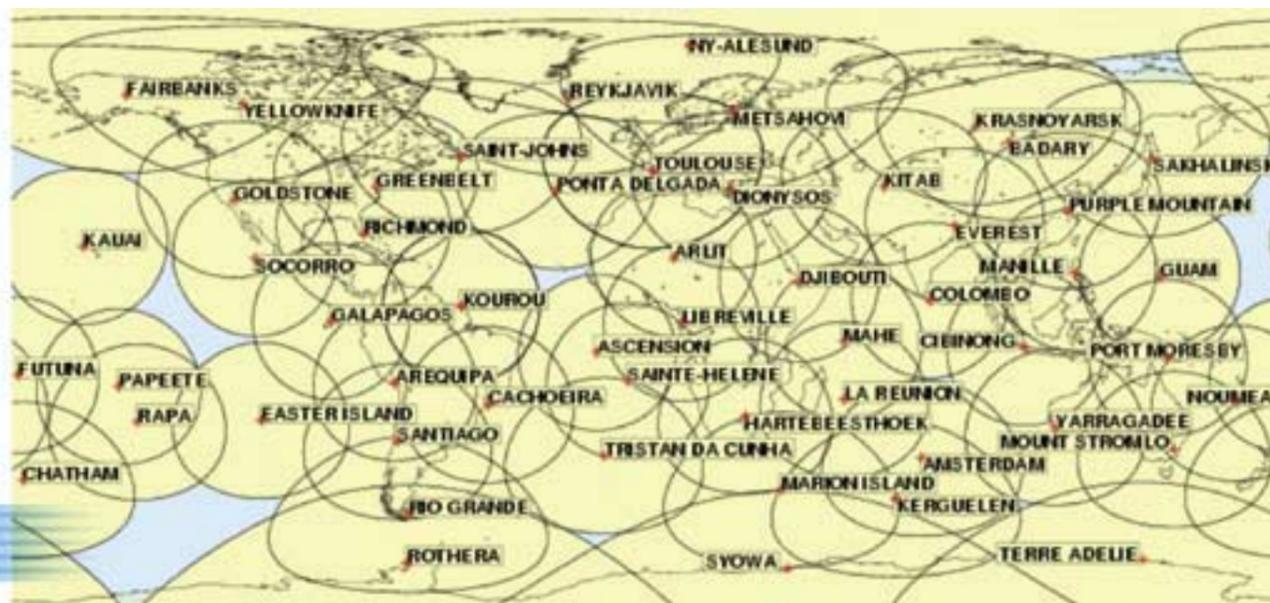
Le "Turbo Rogue Space Receiver" (TRSR) est le récepteur GPS développé par le Jet Propulsion Laboratory (JPL) et construit par **Spectrum Astro Inc.** Gilbert, Arizona.

Le "Réflecteur laser" (LRA) a été fabriqué sous contrat de NASA Goddard Space Flight Centre (GSFC) par **ITE Inc.** Laurel, Maryland USA.

La plate-forme "PROTEUS" (développement conjoint du CNES et de Alcatel Space Industries) et le module charge utile de Jason-1 ont été fabriqués par **Alcatel Space Industries**.

Le système de gestion des données (DHU - Data Handling Unit) a été fabriqué par **SAAB Ericsson Space** (Göteborg-Suède), le senseur stellaire (Star tracker) par **EMS** (Canada), le GPS plate-forme par **LABEN** (Italie). Les gyromètres sont de **SAGEM** (Eragny, 95) et les roues à inertie de **TELDIX** (Heidelberg, Allemagne). L'unité de télémétrie et de télécommande (TM/TC) a été fournie par **Alcatel Espazio** (Espagne) et ses antennes par **SAAB Ericsson Space**. Les panneaux solaires du satellite ont été construits par **Astrium**, Ottobrun Allemagne.

Plus de 50 balises sol DORIS sont réparties sur l'ensemble du globe formant ainsi un réseau très homogène capable de suivre le satellite et de restituer son orbite avec une précision centimétrique.



Le lancement et la mise en orbite

Le 10 août 1992, la France fournissait un lanceur Ariane 4 pour placer en orbite le satellite TOPEX/POSEIDON et démarrer la première mission franco-américaine d'altimétrie spatiale. Aujourd'hui les rôles sont inversés et c'est à la NASA qu'incombe la responsabilité d'assurer le lancement du satellite Jason-1.

Jason-1 sera placé sur une orbite à 1336 km d'altitude, inclinée à 66° par rapport à l'Equateur, et le lancement aura lieu depuis la base de Vandenberg de l'US Air Force (VAB) en Californie. La mise en orbite s'effectuera avec une fusée américaine Delta II de la société Boeing.

Le lanceur Delta II (7920-10) sera équipé d'un système DPAF (Dual payload Attach Fitting) récemment mis au point qui permet d'emporter deux satellites à la fois. Jason-1 sera ainsi lancé avec TIMED, un satellite NASA-Applied Physics Laboratory qui étudiera la mésosphère et basse thermosphère, régions peu connues de l'atmosphère à 60-180 km d'altitude.

Jason-1, physiquement attaché au sommet de la structure porteuse, sera la première charge utile à se séparer du lanceur. Une fois Jason-1 déployé, la fusée Delta effectuera des manœuvres pour changer d'orbite, et après séparation de la structure porteuse, TIMED sera placé sur sa propre orbite.

Avant le lancement, Jason-1, ses équipements associés de maintenance et bancs de contrôle auront été acheminés depuis Alcatel Space Industries à Cannes par avion jusqu'à la base de Vandenberg.

La campagne de préparation au lancement durera 7 semaines et se déroulera dans les locaux de Spaceport Systems International (SSI), puis sur le pas de tir des lanceurs Delta, Space Launch Complex-2W, (SLC-2W).

Le décollage aura lieu au terme d'une chronologie de décompte d'une dizaine d'heures. Afin que Jason-1 soit placé sur la même orbite et très légèrement décalé en temps par rapport à TOPEX/POSEIDON, la fenêtre de lancement sera d'environ 20 minutes avec deux

plages de lancement possible (entre -10' et -1', et entre +1' et +10'). Après un vol de près d'une heure, Jason-1 sera placé sur une orbite située à environ 10 km en dessous de son orbite définitive. Puis une séquence de manœuvres visant à élever l'altitude permettra à Jason-1 de devancer ou de suivre TOPEX/POSEIDON de 1 à 10 minutes.

Chaque satellite effectuera ainsi à moins de 10 minutes d'intervalle des mesures en un même point de la surface. Ce vol en formation, pendant une durée d'environ 6 mois



Le site de lancement de Vandenberg.



Séparation du lanceur et mise à poste du satellite Jason.

permettra d'étalonner deux systèmes altimétriques l'un par rapport à l'autre, d'étalonner également le radiomètre et de valider les mesures prises par Jason-1.

Au terme de cette période d'étalonnage et de vérification et conformément aux recommandations du groupe scientifique Jason-1, TOPEX/POSEIDON devrait être positionné sur une orbite dont la trace au sol sera légèrement décalée de celle de Jason-1 jusqu'à la fin de sa durée de vie. Il complètera alors l'échantillonnage spatio-temporel de Jason-1 pour favoriser l'observation de phénomènes à petite échelle.



Décollage d'un lanceur Delta II de Boeing.

Le lanceur Delta II

Commercialisée par Boeing et lancée depuis Cap Canaveral en Floride ou de Vandenberg en Californie, la fusée Delta II est un lanceur configurable selon les besoins des missions. Delta II est capable, avec deux étages, de satelliser jusqu'à 5,8 tonnes en orbite basse. Avec trois étages, le lanceur peut mettre 2 tonnes en orbite de transfert géostationnaire et envoyer des sondes interplanétaires, par exemple vers Mars.

En version à deux étages, le lanceur d'un diamètre de 2,4 m est constitué d'un premier corps central avec un moteur Rocket Dyne RS-27A à ergols liquides (kérosène et oxygène) auquel peuvent être ajoutés jusqu'à 9 accélérateurs GEM à poudre.

L'étage supérieur utilise un moteur Aerojet AJ10-118K avec les mêmes ergols. S'ajoute éventuellement un moteur Thiokol Star-48A pour la version à trois étages.

La fusée Delta II utilisée pour la mission Jason-1 est la version 7920-10, à deux étages avec neuf propulseurs d'appoint. Avec sa coiffe de 10 pieds elle aura une hauteur de 40 mètres. Sa masse au décollage sera de 230 tonnes.

Le lanceur Delta est dérivé des missiles à moyenne portée (IRBM) Thor des années 1960. Plus de trente versions ont précédé Delta II, dont le premier tir eut lieu en 1990. A ce jour, la fusée Delta, tous types confondus, a été lancée plus de 280 fois. Toutes ses missions depuis 1997 ont été couronnées de succès.

Le segment sol et le traitement des données

A chaque satellite est associé son segment sol, c'est-à-dire les infrastructures terrestres qui permettent aussi bien de le contrôler sur son orbite, que de recueillir et traiter les données de ses instruments, puis de les distribuer aux utilisateurs.

Le Contrôle du satellite

Le segment sol de la mission comprend :

- un Centre de Contrôle et de Commande Jason (JCCC) situé à Toulouse.

Ce centre suit Jason-1 pendant toute sa durée de vie. Il effectuera le contrôle et les opérations du satellite jusqu'à la fin de la recette en orbite. A l'issue de cette période, il assurera toujours la préparation des opérations, les fonctions de navigation, les changements de configuration de la plate-forme et les analyses de performance, tandis que les opérations de routine (telles que la programmation du satellite, les préparations des commandes, la transmission des ordres et l'acquisition de la télémétrie et sa transmission) seront transférées à la NASA.

- Le Centre de Contrôle des Opérations du Projet (Project Operation Control Centre - POCC) situé à Pasadena.

Durant la phase de vérification, le POCC sera chargé de transmettre la télémétrie reçue par les stations terriennes américaines au JCCC. Il assure également une surveillance et un contrôle du satellite en parallèle avec le JCCC et surveille les instruments sous responsabilité américaine. Le centre est responsable des opérations de contrôle du satellite et de ses instruments au-delà de la phase de recette en vol.

- un réseau de stations terriennes

Pour la transmission des ordres et l'acquisition des données, les centres de contrôle et d'opérations bénéficient d'un réseau terrestre de deux ou trois stations, localisées afin d'assurer la couverture du satellite et compatibles avec les délais d'acquisition très peu différés des données. La configuration envisagée s'appuie sur une station située à Poker Flat, en Alaska et une seconde à Aussaguel, près de Toulouse. Une troisième station de secours sera disponible à Wallops (USA).



Des opérateurs du CNES et du JPL portent en permanence un regard attentif sur le fonctionnement du satellite.

Ce réseau assure la réception des mesures de télémétrie du satellite, leur enregistrement et leur distribution aux centres de contrôle et aux centres de mission. Les stations envoient également les télécommandes au satellite.

Le segment sol mission

La perspective de deux grandes missions d'altimétrie Jason-1 (CNES/NASA) et ENVISAT (ESA) a conduit le CNES à mettre en place une nou-

velle génération de segment sol. SSALTO (Segment Sol multi-missions d'Altimétrie, Orbitographie et localisation précise) situé au Centre Spatial de Toulouse prend le relais du segment sol du système DORIS et de celui de l'altimètre POSEIDON.

Jusqu'à la mise en œuvre de SSALTO en novembre 2000, un centre dédié du CNES répondait aux besoins de contrôle des instruments DORIS embarqués sur les satellites SPOT et TOPEX/POSEIDON, et du radar POSEIDON-1 sur TOPEX/POSEIDON, et au traitement de leurs données.

SSALTO offre dorénavant un segment sol commun aux missions d'altimétrie et de localisation précise (DORIS-SPOT, TOPEX/POSEIDON, Jason-1, ENVISAT). SSALTO offre également un service d'expertise altimétrique pour des missions tierces (par exemple ERS-2).

Ce nouveau segment sol permet d'assurer simultanément la surveillance et le contrôle des différents instruments des filières DORIS et POSEIDON, ainsi que du réseau de balises au sol DORIS ; le traitement des données des charges utiles d'altimétrie et d'orbitographie DORIS sur tous les satellites ; et il assure un service utilisateurs pour l'ensemble des produits de ces missions.

Pour les opérations relevant du segment sol SSALTO, le CNES bénéficie du support de sa filiale CLS. De manière symétrique, les instruments JMR et TRSR sous responsabilité de la NASA sont surveillés par le Jason Science Data System (JSDS).

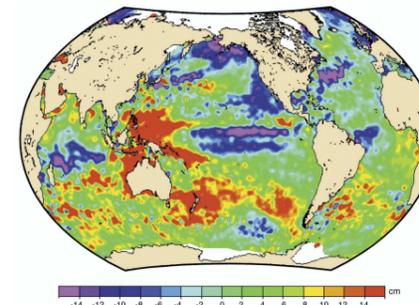
Le centre de traitement scientifique

Les utilisateurs des mesures spatiales d'océanographie attendent du centre de traitement la production de données géophysiques directement utilisables, ou exploitables

conjointement avec des données in situ ou des modèles numériques. Une fois reçues au sol, les données brutes de Jason-1 - comme celles de TOPEX/POSEIDON - doivent être prétraitées avant distribution. Ainsi, à l'issue de l'analyse des échos radar altimétriques sont produits les trois paramètres géophysiques principaux :

- la distance entre le satellite et la surface de la mer,
- la hauteur moyenne des vagues,
- et la vitesse du vent.

Ces paramètres sont ensuite corrigés des biais instrumentaux. Des corrections liées à l'environnement sont également fournies afin que les utilisateurs puissent traiter et corriger les données. Météo-France participe à cet effort en fournissant les données météorologiques et atmosphériques nécessaires à ces corrections. En parallèle de ce traitement des données radar altimètre, le calcul d'orbite précis est effectué en combinant les mesures disponibles (DORIS complété par GPS et Laser) avec une modélisation complexe de la trajectoire du satellite.

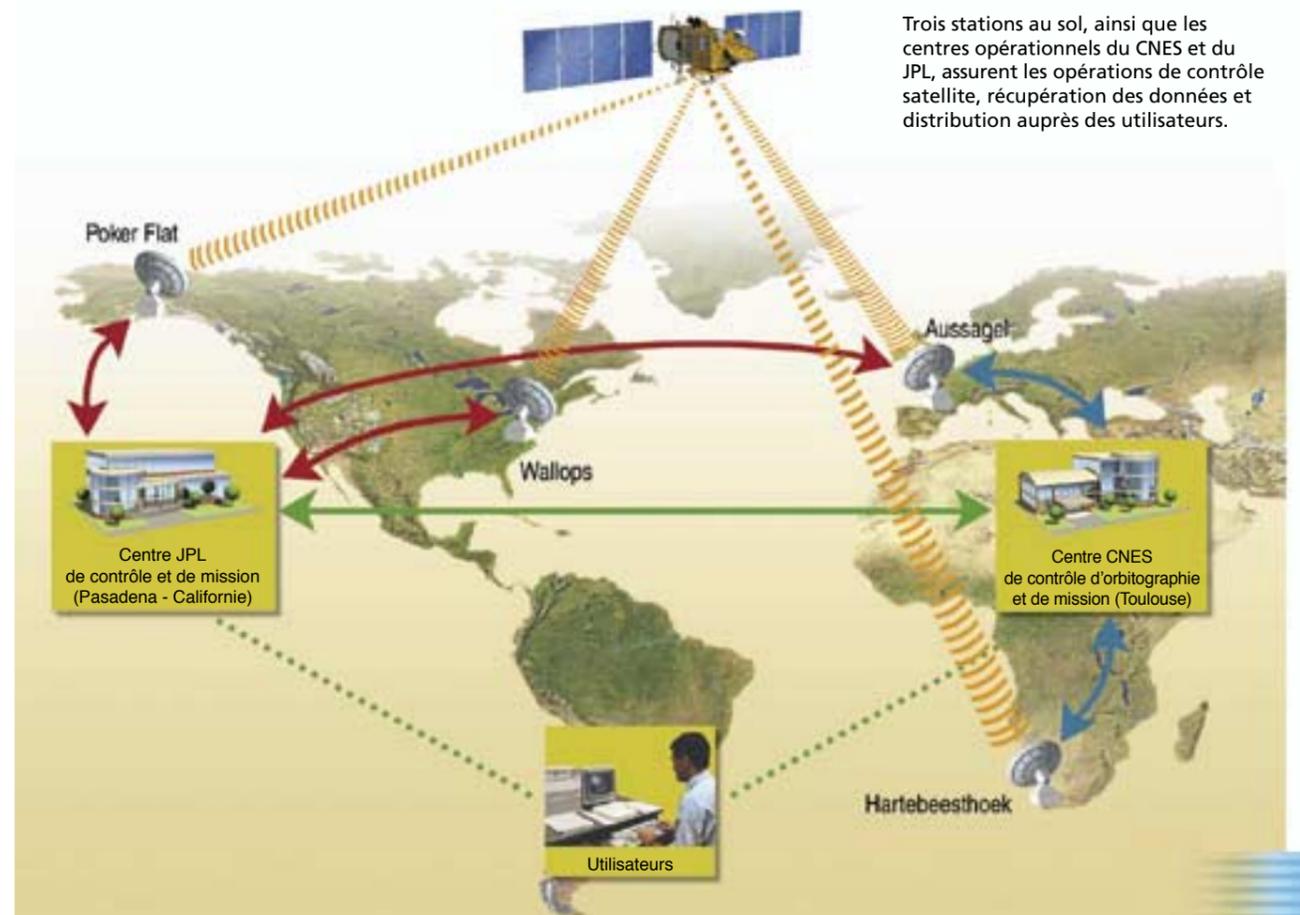


Une carte d'anomalie du niveau de la mer produite dans le cadre du projet DUACS (CNES/CLS) - l'un des nombreux produits altimétriques, disponibles en temps très peu différé, pour des applications scientifiques et opérationnelles.

Du côté CNES, la responsabilité de ce traitement scientifique des données Jason-1 incombe au Centre Multimission Altimétrique (CMA - composante de SSALTO) pour la partie altimétrique et au Service d'Orbitographie Mission (également composante SSALTO) pour la partie orbitographie précise. Le CMA combine ensuite les informations pour élaborer les produits géophysiques de la mission.

Une version de ce CMA développée par le CNES fonctionnera à NASA-JPL pour assurer les traitements de la mission Jason-1 et pour alimenter le service de distribution et d'archivage des données côté américain (PODAAC). Le centre CMA se charge, de plus, de la validation des données sur la base d'une grande expertise acquise dans le cadre de la mission TOPEX/POSEIDON. A Toulouse, le centre CMA assurera les traitements simultanés des mesures Jason-1 et ENVISAT.

En aval du CMA, SSALTO poursuit un travail de valorisation océanographique des données. Il s'agit là de valider plus en détail le contenu physique des données de chaque mission, et de générer des produits multi-satellites cohérents. L'objectif final est d'obtenir ainsi de longues séries temporelles de mesures propices à la détection des signaux pluriannuels et à la surveillance de l'Océan sur le long terme.



Trois stations au sol, ainsi que les centres opérationnels du CNES et du JPL, assurent les opérations de contrôle satellite, récupération des données et distribution auprès des utilisateurs.

Les services utilisateurs AVISO et PODAAC

Depuis le lancement du satellite TOPEX/POSEIDON, l'interface du projet avec les utilisateurs est réalisée côté français par le service AVISO (Archivage, Validation et Interprétation des données des Satellites Océanographiques), et côté américain par le PODAAC. Plus de 500 utilisateurs à ce jour reçoivent chaque mois les CD-Rom contenant les données.

AVISO distribuera de façon opérationnelle les données et produits de la mission Jason-1, soit à travers des réseaux terriens, des liens satellites ou plus classiquement, sur médias physiques.

AVISO est également engagé dans la distribution de produits multi-satellites dont la production est assurée en aval des traitements du Centre Multimission Altimétrie (CMA - composante de SSALTO). De façon plus large, il s'attache à promouvoir les activités d'altimétrie océanique auprès de la communauté scientifique, des services opérationnels, des décideurs, et du grand public.

De même que le CMA a un symétrique américain à NASA-JPL directement dérivé du centre développé par le CNES, AVISO a une entité américaine parallèle, PODAAC (Physical Oceanography Data Active Archive Center) qui assure les mêmes fonctions de diffusion pour Jason-1 depuis le JPL, en Californie. Le centre PODAAC assure par ailleurs la diffusion de données d'autres capteurs d'océanographie spatiale comme les mesures du vecteur vent et de température de surface de la mer.

Depuis le début 1999, AVISO et PODAAC offrent à travers l'Internet un Catalogue de produits grâce auquel tout utilisateur peut accéder à des produits altimétriques de base et de niveau plus élevé, ou établir des demandes spécifiques.

Entretien d'une relation très étroite de conseil et de suivi avec ses utilisateurs, AVISO et PODAAC ont pour objectif d'offrir un service encore plus performant pour la mission Jason-1 et ses produits opérationnels.



Le défi du millimètre par an

Les performances attendues de Jason-1 sont très ambitieuses. Elles ne seront atteintes que grâce à un étalonnage minutieux des instruments et à un contrôle permanent du bon fonctionnement du système. C'est l'objectif du programme CALVAL (Calibration-Validation) de Jason-1.

Les performances de Jason-1 ont été spécifiées dès le départ d'après le bilan d'erreur avéré des données TOPEX/POSEIDON. L'objectif était de disposer d'un système de mesure Jason-1 ayant au moins le même niveau de précision que son prédécesseur.

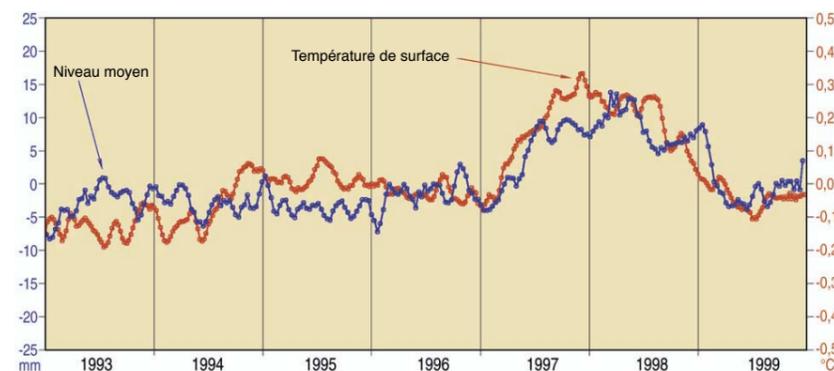
Pour être capable de détecter des variations du niveau de la mer de l'ordre du centimètre, les erreurs sur les mesures de distance (fournies par le radar) et d'altitude du satellite (fournies par le calcul d'orbite) doivent être du même ordre. Un autre objectif, associé à la surveillance long terme du niveau moyen des mers, est de connaître toute dérive du système altimétrique avec une précision de l'ordre de 1 mm par an.



La plateforme pétrolière de Harvest, au large de la Californie, est utilisée par la NASA depuis 1992, pour vérifier et étalonner les mesures altimétriques TOPEX/POSEIDON par rapport aux mesures in situ de niveau de la mer. Ce dispositif est maintenu pour Jason-1.

Afin de vérifier en vol ces performances, un plan de travail CALVAL (Calibration/Validation), s'appuyant sur l'expertise des équipes projet, des centres de traitement et des équipes scientifiques associées, a été élaboré.

L'activité CALVAL suivra la phase de recette en vol et débutera lorsque le satellite aura atteint son orbite



L'observation de phénomènes océaniques de très faible amplitude, par exemple l'évolution du niveau moyen des mers de l'ordre de 2 mm/an, nécessite des moyens de contrôle performants de la stabilité des systèmes altimétriques.

opérationnelle, à peu près un mois après le lancement. Durant environ six mois, Jason-1 et TOPEX/POSEIDON voleront "en formation" sur la même orbite, séparés de quelques minutes. Cela permettra d'effectuer un étalonnage croisé extrêmement précis entre les deux systèmes.

L'évaluation des performances d'un système altimétrique repose sur l'estimation de toutes les erreurs qui interviennent, et qui sont liées aussi bien aux instruments qu'aux conditions environnementales de la mesure.

Le fonctionnement des instruments sera surveillé par l'intermédiaire des données de calibration interne. De plus, l'utilisation de sites de vérification au sol permettra de disposer de mesures in situ directement comparables aux mesures du satellite. Ces opérations visent à valider tous les éléments du système altimétrique et permettront donc d'évaluer la qualité des mesures de l'altimètre, du radiomètre JMR et des systèmes de positionnement Doris et GPS.

La validation du système Jason-1 s'appuiera, entre autres, sur un réseau mondial d'une trentaine de marégraphes colocalisés par des mesures DORIS et GPS, et sur quelques sites situés directement sur la trace au sol du satellite. Ces sites dédiés disposent non seulement de marégraphes pour mesurer localement le niveau de la mer mais également d'instruments complémen-

taires (GPS, laser, radiomètres...) pour valider les autres paramètres géophysiques intervenant dans l'exploitation de la mesure altimétrique.

Le principal site de calibration du CNES, utilisé depuis 1996 pour la mission TOPEX/POSEIDON, est situé en Corse, au Cap de Sénétosa, près d'Ajaccio. Un deuxième site, lui aussi survolé par le satellite, sera également utilisé. Il s'agit de l'île italienne de Capraia, située entre la Corse et la péninsule italienne.

Le principal site de calibration de la NASA utilise une plate-forme pétrolière, "Harvest" située au large des côtes californiennes. Cette expérience, démarrée en 1992 juste avant le lancement de TOPEX/POSEIDON, n'a cessé depuis de fournir des mesures essentielles pour mesurer et contrôler les biais et dérives du système.

Des sites supplémentaires sont envisagés dans le Golfe du Mexique et en Méditerranée (Ibiza, Crète). Ils serviront également à d'autres

missions altimétriques, telles que ENVISAT.

En complément des expériences de calibration sur site, les centres de traitement des données du CNES et de la NASA effectueront des évaluations globales des données Jason-1. Ils vérifieront la cohérence des produits au travers d'analyses statistiques particulièrement efficaces.

Des efforts conséquents, impliquant le Service d'Orbitographie Mission du CNES mais aussi les experts en orbitographie du groupe scientifique Jason, porteront sur la validation précise de l'orbite, un des éléments clés de la mission Jason-1.

De nombreuses expériences de validation seront d'ailleurs menées dans le cadre de ce groupe scientifique Jason-1 et intégrées dans le plan CALVAL. Près de trente équipes scientifiques ont ainsi proposé leurs services pour participer à ces activités de validation. Météo-France participera également à cet effort de validation des données Jason "vent-vague" en les comparant aux estimations fournies par les modèles météorologiques.

L'effort CALVAL permettra ainsi d'assurer un contrôle qualité technologique et scientifique des mesures Jason-1, non seulement durant la période de vérification intense des 6 à 8 premiers mois, mais tout au long de la mission.



Le CNES a mis en œuvre, avec l'appui du CERGA et de l'IGN, le site de Senetosa en Corse pour vérifier et étalonner les mesures altimétriques Jason-1. La station laser ultramobile développée par l'OCA, le CNES, l'IGN et l'INSU appuiera ces opérations.

Jason au service de la prévision du climat

Le maintien de missions altimétriques de haute précision, comme Jason-1, est indispensable pour suivre les évolutions de l'océan sur le long terme et mieux comprendre leur influence sur le climat.

Dans les locaux de Météo-France à Toulouse, ainsi que dans de nombreux centres de météorologie à travers le monde, les supercalculateurs broient des chiffres 24/24h. La plupart du temps, priorité oblige, ils permettent aux météorologues d'élaborer les prévisions pour les jours qui viennent.

Mais "aux heures creuses" ces ordinateurs tournent avec des modèles développés par les scientifiques qui travaillent sur les prévisions à plus long terme et qui cherchent à mieux comprendre les interactions entre les phénomènes atmosphériques et océaniques.

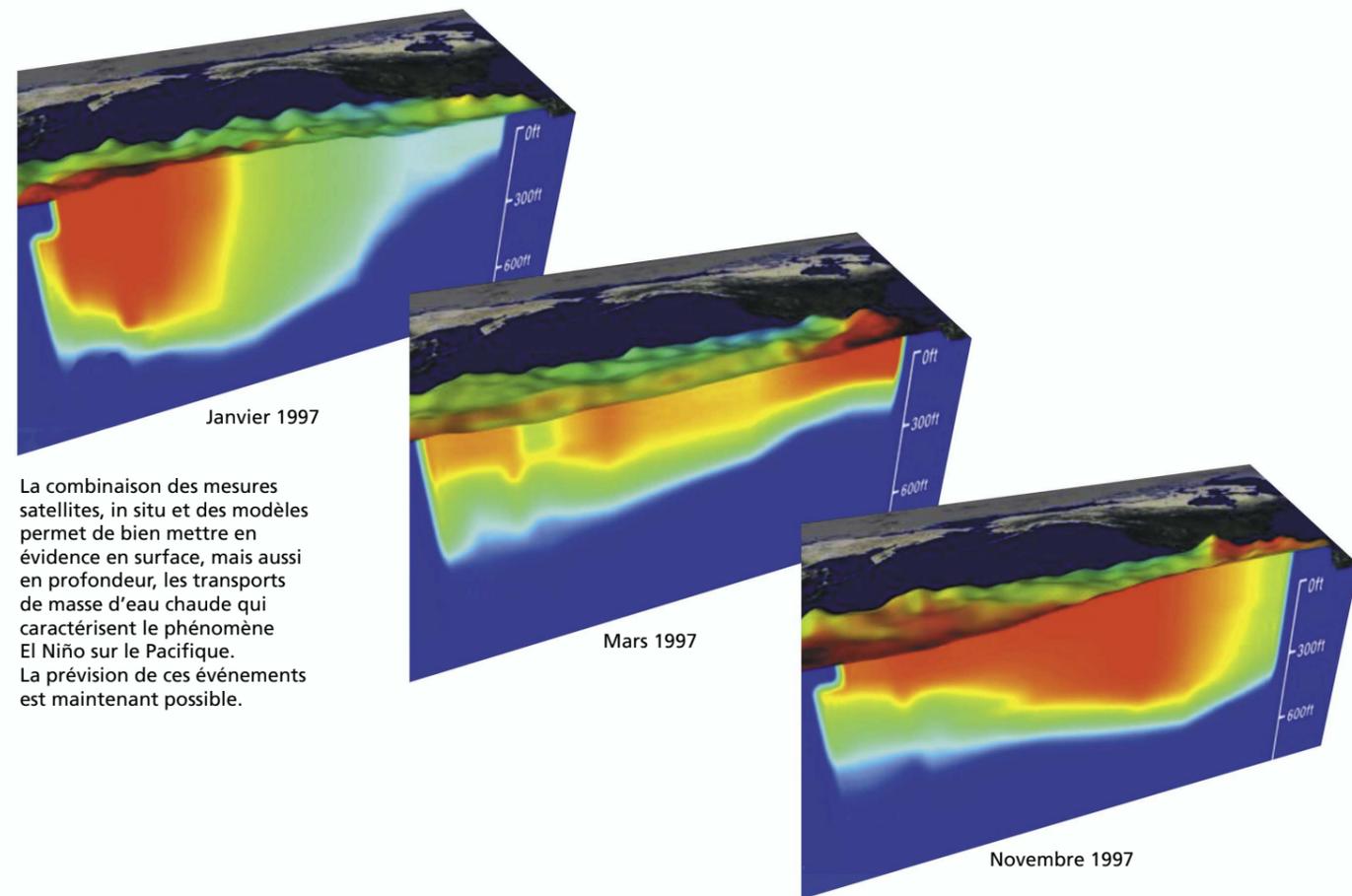
La modélisation est une sorte de laboratoire numérique dans lequel on jongle avec des millions de chiffres et des hypothèses physiques initiales afin de se rapprocher au mieux de la réalité. Ces chiffres représentent des quantités de paramètres différents étalés

dans le temps (pressions, températures, vitesse et direction des vents, courants océaniques...). Les calculs sont lourds mais lorsque les ordinateurs rendent leur verdict, les résultats sont la source de nombreux progrès et investigations.

Au sein du Centre National de Recherches Météorologiques de Météo-France, travaille le Groupe de Météorologie de Grande Echelle et du Climat. On s'y est donné comme objectif de comprendre d'une manière globale les variations du climat sur notre planète. Le CERFACS¹ et l'IPSL² participent à cet effort de modélisation "couplée" de l'atmosphère et de l'Océan (c'est-à-dire faire fonctionner ensemble les deux milieux) afin de produire, en mode expérimental, des prévisions saisonnières fiables. D'autres groupes de recherche à l'étranger (ECMWF, FNOC...) poursuivent le même objectif.

L'apport de l'altimétrie sera à terme essentiel pour déterminer avec le plus de précision possible l'état initial de l'Océan et son évolution. Les données de topographie de l'Océan seront en effet incorporées avec l'ensemble des autres données disponibles (de bouées, de bateaux,...) dans des modèles océaniques pour y être "assimilées". De cette assimilation résultera une description des courants océaniques, des températures et de la salinité pour l'ensemble des océans avec une précision jusque-là inégalée. La mise au point de ce système requiert bien entendu un effort considérable qui est partagé par l'ensemble des organismes nationaux qui s'intéressent à l'océanographie au sein du projet nommé MERCATOR. L'effort se prolonge à un niveau international dans le programme GODAE.

Le maintien et la continuité de missions altimétriques de haute précision sont indispensables à la réali-



La combinaison des mesures satellites, in situ et des modèles permet de bien mettre en évidence en surface, mais aussi en profondeur, les transports de masse d'eau chaude qui caractérisent le phénomène El Niño sur le Pacifique. La prévision de ces événements est maintenant possible.

sation de tels projets et au suivi de l'Océan sur le long terme, comme illustré par les deux exemples suivants :

- Le réchauffement de la planète observé depuis le début du siècle grâce aux mesures de température en surface se traduit aussi par une augmentation moyenne du niveau des mers. Elle est de l'ordre d'une à deux dizaines de centimètres depuis le début xx^e siècle. Les mesures altimétriques confirment ce rythme d'augmentation et seront utilisées pour en surveiller les évolutions futures.

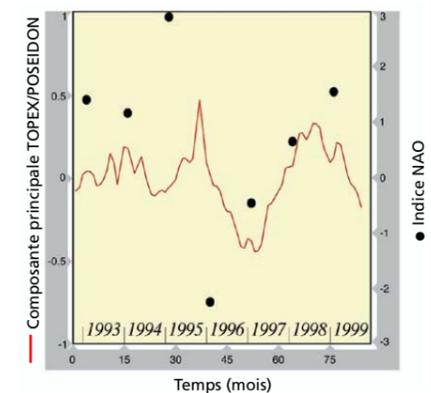
- Le phénomène "El Niño" (ou son pendant "La Niña" qui se déclenche dans le Pacifique, occupe une place à part. Depuis le début des années 1980, grâce à de nouvelles observations et au développement de la modélisation, on perçoit mieux comment ce phénomène régional

peut avoir des influences à très grande distance. On comprend toute l'importance du bassin Pacifique et des océans tropicaux sur le climat du reste de la Planète. Son observation détaillée depuis l'espace à partir de l'altimétrie est nouvelle et permet de mieux cerner les mécanismes qui interviennent.

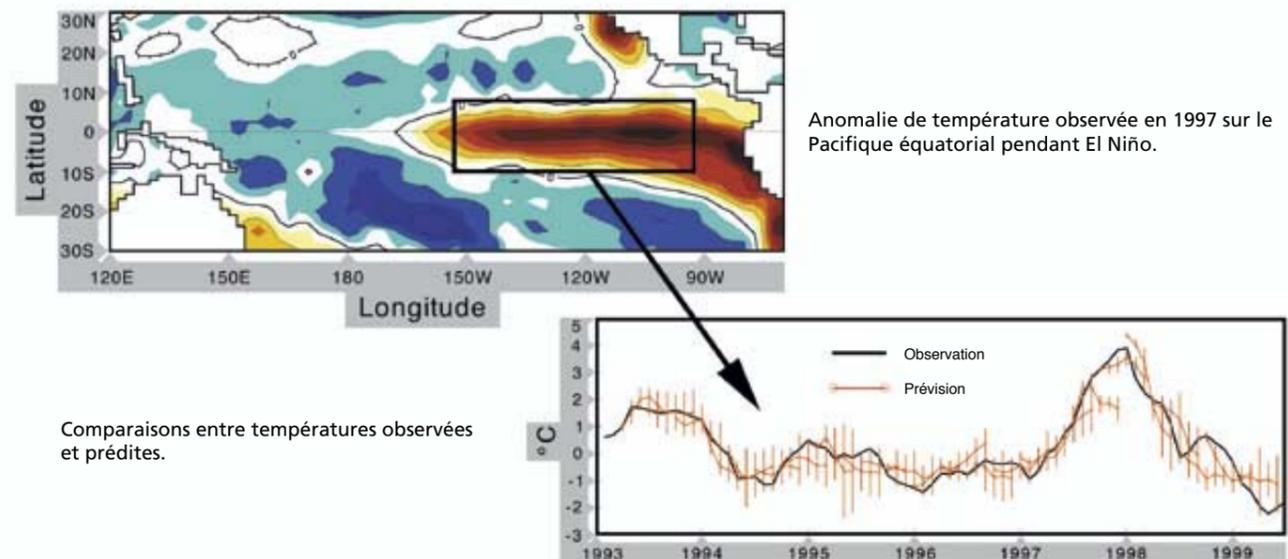
Même si les signaux de variabilité climatique sont plus faibles dans d'autres régions du globe et sont donc plus difficiles à détecter, les scientifiques fondent aujourd'hui beaucoup d'espoir sur l'assimilation des données altimétriques dans les modèles océaniques pour améliorer notre connaissance du climat et en améliorer la prévisibilité.

¹ Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique.

² Institut Pierre Simon Laplace.



L'élévation du niveau de l'Océan Atlantique Tropical entre l'hiver 96 et l'hiver 97, observée par TOPEX/POSEIDON (courbe rouge), est en phase avec l'augmentation de l'indice de l'oscillation Nord Atlantique (NAO) (différence de pression atmosphérique entre les Açores et l'Islande) (points). Ceci met en évidence un couplage dynamique fort entre l'océan et l'atmosphère. La NAO, ou d'autres oscillations pluri-annuelles sur le Pacifique ou l'Antarctique, sont à l'origine de profondes modifications du climat. Les longues séries temporelles altimétriques sont parmi les moyens qui permettent de mieux comprendre les échanges océan-atmosphère qui interviennent.



L'association des modèles océaniques avec les modèles atmosphériques, permettra d'ici quelques années de faire des prévisions climatiques fiables à l'échelle de la saison, comme par exemple prévoir les événements El Niño.

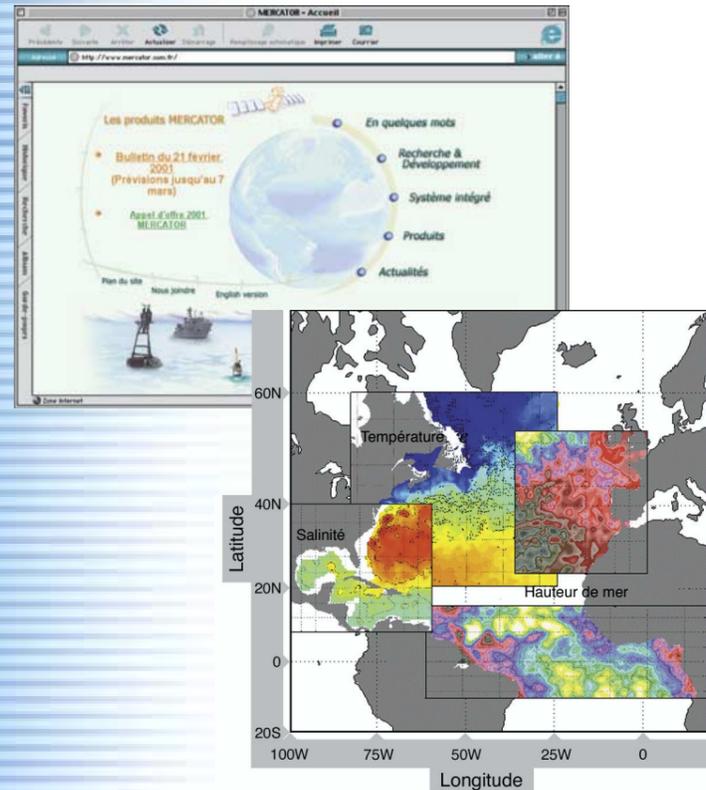
Un des premiers services en ligne : MERCATOR

Percevant le potentiel d'une océanographie opérationnelle pour répondre à leurs besoins respectifs, six organismes français mettaient en place dès 1997 un programme commun : MERCATOR. L'objectif de ce partenariat - CNES, CNRS, IFREMER, IRD (ex ORSTOM), Météo-France et SHOM - est la mise en œuvre opérationnelle de modèles océaniques globaux, à haute résolution, pour des objectifs de recherche, et le développement d'applications de toute nature en milieu marin.

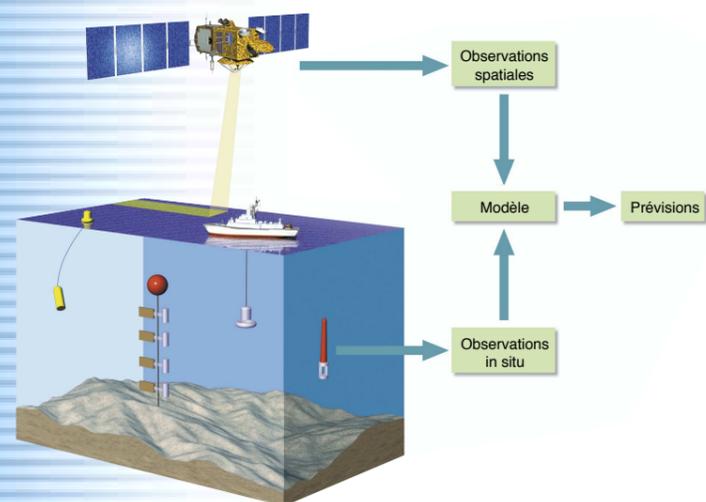
MERCATOR s'est structuré autour de trois composantes : la modélisation numérique, l'acquisition d'observations spatiales et in situ et l'assimilation de ces données dans les modèles. Le système dépend donc étroitement de l'existence et de la pérennité des données altimétriques mais aussi d'autres systèmes d'observation par satellite et des réseaux "in situ", entraînant une étroite coordination avec les différents projets prévus. Des collaborations internationales sont en cours, par exemple avec les équipes du Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen terme (CEPMET) et du UK Met Office.

Un premier prototype MERCATOR, permet, depuis janvier 2001, de générer sur l'Atlantique nord, des produits en temps réel. A une date donnée, sont fournis un diagnostic de la situation océanique et une prévision sur plusieurs jours. Les "clients" utilisateurs, dont la Marine Nationale, exploitent ces produits dans le cadre d'applications pilotes. A terme, ces mêmes produits joueront un rôle essentiel dans les systèmes de prévision climatique saisonnière et les systèmes opérationnels pour l'océanographie côtière.

MERCATOR représente la contribution française à GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment). Cette expérience internationale, lancée en 1997, consiste à démontrer la faisabilité d'une océanographie opérationnelle, grâce à l'exploitation de systèmes d'assimilation de données spatiales et in situ dans des modèles numériques d'océan. MERCATOR et tous les autres centres de prévision à travers le monde (Etats-Unis, Japon, Australie...) feront alors tourner leurs modèles de prévision et mettront les résultats à la disposition de leurs partenaires pendant les trois années de la phase intensive de GODAE entre 2003 et 2005. L'océanographie opérationnelle s'installera alors progressivement dans les mœurs au même titre que la météorologie aujourd'hui.



Le système MERCATOR, en place depuis le 17 janvier 2001, produit chaque semaine une analyse 3D et une prévision à 15 jours de l'état de l'océan sous la forme de cartes de courants, de topographie dynamique, de salinité et de température. MERCATOR est un des premiers maillons de l'expérience internationale d'océanographie opérationnelle GODAE prévue en 2003-2005.



Le système MERCATOR s'appuie sur les mesures satellites (en particulier les données altimétriques), les mesures in situ et un modèle haute résolution performant (quelques kilomètres de résolution) pour décrire l'état physique de l'océan.

Jason au service des gens de la mer

De nombreuses activités liées au milieu marin bénéficient de l'apport des mesures spatiales altimétriques dans la surveillance et la prévision de l'état dynamique de l'océan.

Chaque semaine, plusieurs centres de traitement et d'expertise de par le monde, dont le service océanographique de CLS, filiale du CNES, et le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) produisent des cartes de topographie dynamique de la mer, utiles à de nombreux travailleurs de la mer.

Les ordinateurs auront auparavant traité les données altimétriques (TOPEX/POSEIDON puis Jason-1, ERS puis ENVISAT) pendant de longs moments pour extraire des informations pertinentes sur la position et l'intensité des courants, la présence et l'extension de tourbillons et de fronts thermiques.

Pêche

Parmi les utilisations de ces produits altimétriques, il faut citer l'aide à la gestion de la pêche dont les premières applications ne datent que de 1998. La présence de bancs de poissons est souvent corrélée



La corrélation entre prises de thon germon (points colorés) et anomalies du niveau de la mer déduites des mesures altimétriques montre que les prises se font en bordure des tourbillons chauds (anomalies positives du niveau de la mer). Ce type d'étude est particulièrement utile pour mieux connaître les modes de vie des différentes espèces de poisson et ainsi mieux gérer les ressources halieutiques en fonction des efforts de pêche.

avec l'abondance des micro-organismes nécessaires à leur alimentation dans des zones de fronts thermiques et de fort courants. Les cartes altimétriques peuvent ainsi donner des informations importantes sur les liens entre l'environnement marin, tel que le montrent ces cartes, et le taux de reproduction des poissons, leur cycle de vie. Au-delà de l'aide à la pêche, il est donc possible au travers de ces produits altimétriques de mieux gérer les variations des ressources halieutiques en fonction des efforts de pêche. Quotas et "pêche intelligente" sont aussi l'affaire de Jason-1.

Le secteur de la pêche représente un marché prometteur pour les données altimétriques. Après une première phase de démonstration, des produits plus complets vont bientôt voir le jour intégrant à la fois des mesures altimétriques, température et couleur de l'eau par satellite, avant de passer à des produits modélisés en trois dimensions. CLS est l'une des sociétés à la pointe dans ce domaine.

Offshore

Le secteur de l'offshore s'ouvre également aux produits de l'altimétrie car l'exploration pétrolière s'aventure de plus en plus loin des côtes dans des eaux profondes. La technologie qui est alors employée est celle des têtes de puits installés sur le fond. Le pétrole est remonté par des ombilicaux souples vers des barges mouillées sur site et auxquelles les pétroliers viennent s'approvisionner.

La connaissance des courants à plusieurs centaines, voire plus de 1 000 mètres peut être primor-

diale pour ce type d'exploitation. De telles installations dans le Golfe du Mexique subissent dans le passé de très gros dégâts provoqués par des tourbillons très actifs.

Une surveillance précise des courants et des états de mer, telle qu'elle peut-être offerte par les produits dérivés Jason-1 et ENVISAT, est donc inestimable pour mieux gérer les opérations de pompage et dimensionner en conséquence les plateformes. Toutes les zones de prospection pétrolière en eaux pro-



Les forages pétroliers de plus en plus profonds nécessitent une connaissance accrue et une prévision fiable des courants océaniques.

fondes sont bien sûr concernées, en particulier celles situées au large de l'Europe (Norvège, Mer d'Irlande...) mais aussi dans le Golfe de Guinée et au large de l'Indonésie.

Navigation

Les données altimétriques sont également utilisées de manière opérationnelle et régulière par la Marine Nationale depuis 1998. LUS Navy a mis en œuvre un système opérationnel semblable. Chaque mercredi, les unités navales françaises en mer reçoivent une carte de l'Atlantique Nord-Est, issue de modèles océaniques intégrant notamment les mesures TOPEX/POSEIDON et ERS. Il s'agit du Système Opérationnel d'Analyse et de Prévisions (SOAP). Le système a été développé, puis mis en œuvre par l'antenne toulousaine du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM).

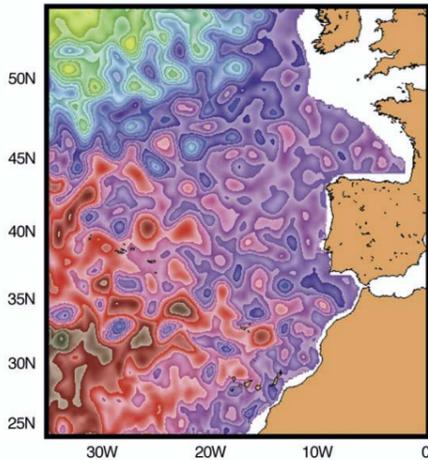
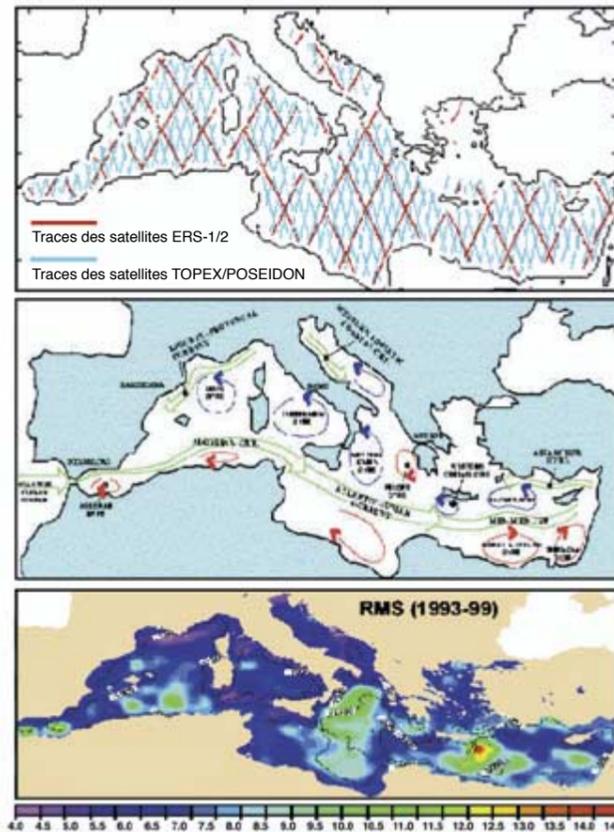
Le SHOM assure une double mission de soutien aux forces navales et de service public. La mission de service public consiste à assurer la sécurité de la navigation, élaborer

les cartes marines et la documentation pour la navigation, tels que les annuaires de marée. Dans le cadre de sa mission de soutien à la Marine dans le domaine de l'environnement, le SHOM fournit à la Marine Nationale des données et informations d'analyse et de prévision de l'océan plus spécifiques concernant le milieu marin. Les masses d'eau, températures, courants, tourbillons et la position des fronts en haute mer constituent en effet des informations essentielles pour aider à la navigation de surface et sous-marine.

Les prévisions océaniques de SOAP, jusqu'à 14 jours, sont le résultat de modèles qui intègrent les données de missions altimétriques spatiales (filiales TOPEX/POSEIDON/Jason, ERS/ENVISAT...), de mesures de température de surface de la mer (provenant des satellites de la NOAA), d'indications sur la force des vents (obtenues par des satellites de météorologie) et de mesures in situ. Dans

Tout comme TOPEX/POSEIDON et ERS, la combinaison des mesures ENVISAT et Jason-1 permettra de détecter et de suivre les phénomènes tourbillonnaires à petite échelle présents en Méditerranée. Le projet pilote européen MFSP (Mediterranean Forecasting System Pilot Project) fournit ainsi des analyses et des prévisions des paramètres physiques et biogéochimiques de la Méditerranée.

Variabilité du niveau de la mer (cm).



L'information de topographie dynamique fournie par les satellites altimétriques, assimilée par exemple dans le modèle de prévision océanique SOAP de la Marine Nationale, est essentielle pour décrire et prédire l'évolution des petites structures tourbillonnaires de l'océan.

un futur proche d'autres sources de données seront exploitées, de même que le domaine d'investigation sera étendu à l'Atlantique Nord et à la Méditerranée. Les performances seront aussi améliorées avec des modèles plus performants, développés dans le cadre du projet pluri-organismes MERCATOR auquel le SHOM participe activement.

Aménagement du littoral

Un autre champ d'activité concerne la bande côtière où de nombreux problèmes de prévention de risques et d'aménagement du littoral se posent. Les produits altimétriques disponibles aujourd'hui doivent être consolidés pour observer la bande côtière avec une meilleure résolution et afin d'étudier les effets à petite échelle et de courte durée des marées et courants. Bientôt les rapides progrès attendus en termes de modélisation haute résolution et la production de jeux de données adéquats devraient permettre d'apporter un soutien significatif à ce domaine d'activité.

Anticiper les surcotes

Le phénomène de surcote consiste en une élévation anormale du niveau de la mer provoquée par de faibles pressions ou des vents forts soufflant de la mer vers la terre. Le phénomène inverse de décote existe également. Lorsqu'un cyclone ou une dépression aborde une côte, ces deux phénomènes se conju-

guent. Dans certaines configurations géographiques, comme par exemple dans le fond de baies ou de golfes, l'accumulation d'eau peut également être amplifiée.

L'effet des surcotes peut être particulièrement dévastateur et les valeurs maximales observées atteignent plusieurs mètres (6 mètres lors de l'arrivée du cyclone Hugo sur la côte des Etats-Unis en 1989, et 1,50 mètre sur la côte Atlantique française lors de la tempête du 27 décembre 1999). Les effets des surcotes sont particulièrement destructeurs sur la frange littorale où sont concentrées l'essentiel des populations et des activités.

Le phénomène de décote qui survient en cas de situation anticyclonique présente moins de risques pour la sécurité, mais demeure une gêne notamment pour l'exploitation des grands ports.

Pour prévoir les phénomènes de surcotes, les centres de météorologie, tels que Météo-France, ont développé des systèmes qui s'appuient sur la modélisation de l'océan. Ces informations sont communiquées

aux autorités afin de prendre les mesures adéquates. Les données altimétriques de Jason-1, tout comme celles d'ENVISAT, permettront de contrôler les prévisions de surcotes, et intégrées en temps réel dans les modèles, de les améliorer.

Prévoir les dérives en mer

Les dérives en mer sont le résultat des actions combinées du vent, des courants de marée et de la circulation océanique, sur un objet ou un produit perdu en mer. La prévision de dérive requiert la mise en œuvre de modèles d'océan spécifiques, associés à des prévisions de marée et de vent, et couplés à des modèles de comportement et d'évolution des objets ou produits dérivants. Ces outils complexes sont exploités en mode opérationnel à Météo-France, en collaboration avec le Cedre (Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentation sur les pollutions accidentelles des eaux) en cas de pollution marine, avec les Préfectures Maritimes ou avec les CROSS (Centres Régionaux Opérationnels de Surveillance et de Sauvetage) lors d'opérations de recherche et de sauvetage.

L'assimilation des données de Jason-1, en améliorant la représentation de l'océan, permettra de progresser dans le suivi des dérives au large. La prévision de dérive à proximité des côtes, capitale lors de pollutions marines, en bénéficiera également.

Météo marine

L'altimétrie spatiale fournit en temps réel aux services météorologiques des observations océaniques utiles à l'élaboration des prévisions. Ces données, ainsi que celles produites par les difusiomètres, sont actuellement délivrées par le satellite ERS-2. Météo-France les utilise chaque jour

dans VAG, son modèle de prévision d'état de la mer. Le centre ECMWF (European Center for Medium Term Weather Forecasting) fait de même avec son modèle de vagues WAM.

VAG et WAM simulent l'évolution des différents trains de vagues et de houles qui se superposent et prévoient l'état de la mer en tous points du globe, avec une plus grande précision sur l'Europe. Météo-France fournit ainsi aux marins des bulletins réguliers et des bulletins météorologiques spéciaux (BMS) en cas d'aggravation des conditions.

La mission d'observation d'ERS-2 (lancé en 1995 pour une durée de vie de 3 à 5 ans) sera poursuivie par ENVISAT et Jason-1 qui fourniront leurs données dans un délai de 3 à 5 heures. Jason-1 sera ainsi à la source de progrès significatifs dans tous les domaines de la prévision marine : prévisions des états de mer, mais aussi des surcotes, et des dérives en mer.



Le satellite ENVISAT emporte avec lui de nombreux instruments, dont un altimètre qui assure une mission complémentaire à celle de Jason-1.

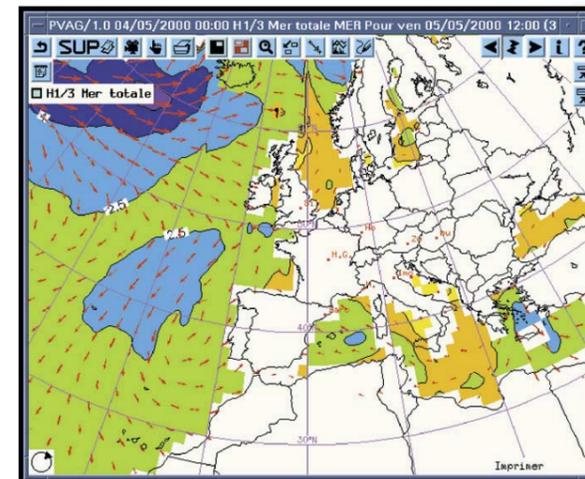
ENVISAT, le compagnon de route

Le satellite ENVISAT de l'Agence spatiale européenne assurera une mission ambitieuse et innovante. Cette plateforme polaire pour l'observation de la Terre doit étudier l'atmosphère, les océans, les surfaces terrestres et les glaces pendant cinq ans.

Le satellite, d'une taille exceptionnelle (plus de 10 m de haut et d'une masse de 8 tonnes), embarque pas moins de dix instruments, dont un altimètre (RA-2 - Radar Altimeter 2) et le système de positionnement DORIS du CNES. Le radar altimètre bi-fréquence, dérivé de celui de ERS-2, est conçu pour effectuer des mesures sur tout type de surface. Il cartographiera les océans, les glaces de mer, les calottes polaires et la plupart des terres émergées.

Les données de la mission ENVISAT viendront soutenir l'effort global de recherche sur le climat. Elles permettront de mieux surveiller l'évolution de l'environnement et contribueront au développement d'applications opérationnelles et commerciales.

Alors que le cycle orbital de Jason-1 est de 10 jours, celui d'ENVISAT est - comme ERS - de 35 jours. Son altimètre "balaye" les océans de manière beaucoup plus dense. Il perçoit ainsi des phénomènes océaniques de plus petite échelle que Jason-1. Les deux missions sont sur ce point parfaitement complémentaires.



Les données à 3 heures de hauteur de vagues et vitesse du vent fournies par Jason-1, seront utilisées dans les modèles opérationnels d'état de mer pour améliorer les prévisions.

L'accompagnement scientifique de la mission

Lors d'un colloque scientifique à Venise, en 1980, furent présentés les résultats de la mission SEASAT, deuxième mission spatiale altimétrique lancée par les Américains. C'est à cette occasion que les participants prirent conscience du potentiel exceptionnel de l'altimétrie pour étudier les océans. Que de chemin parcouru depuis lors !

Lorsque le CNES et la NASA lancèrent en 1987 l'appel d'offre scientifique visant à sélectionner les investigateurs qui accompagneraient la mission TOPEX/POSEIDON durant les phases de développement et d'exploitation, la réponse fut importante. Près de 40 équipes représentant plus d'une centaine de chercheurs de toutes nationalités furent ainsi retenues sur la base de leurs propositions d'études.

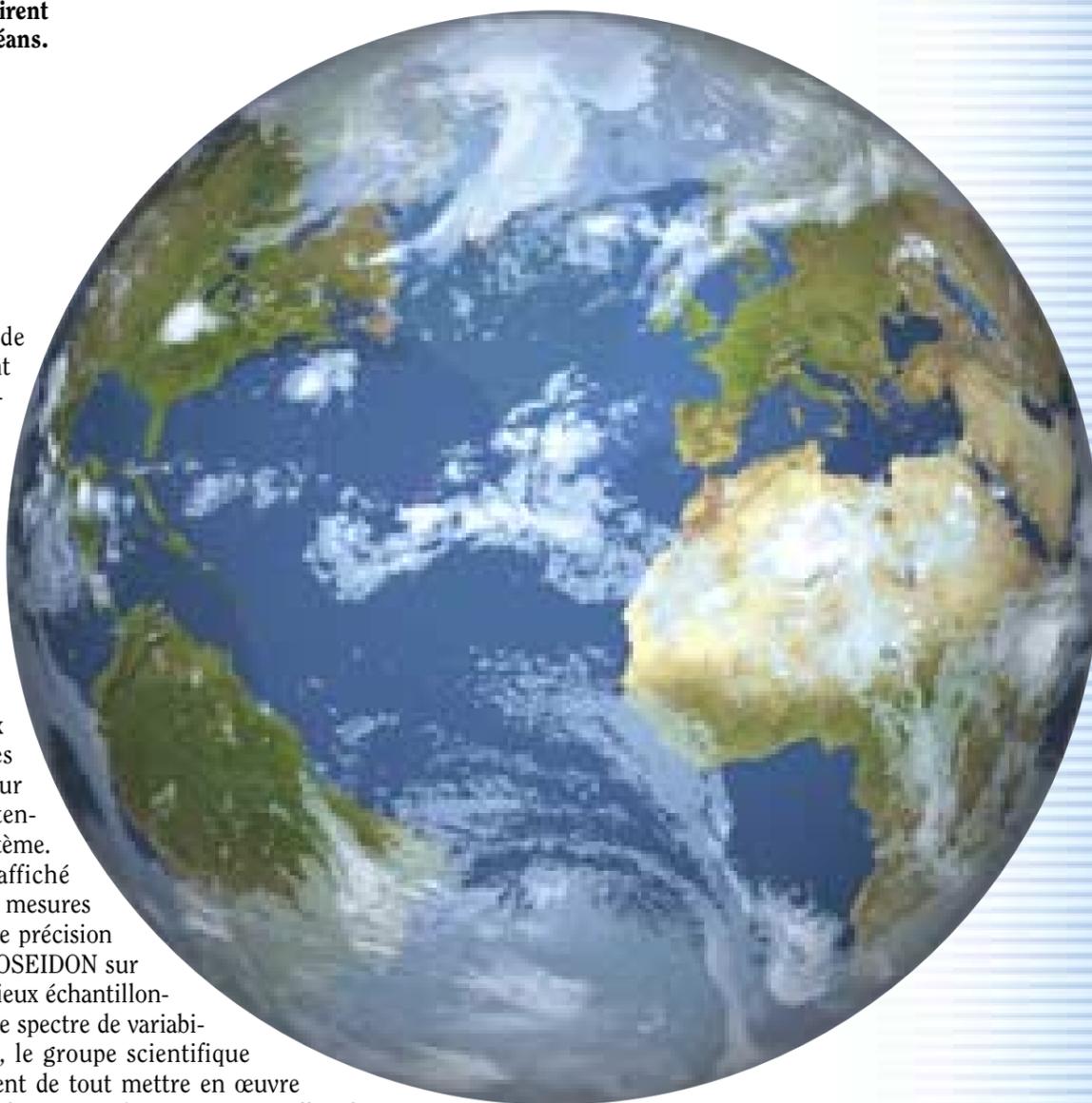
Au travers des échanges avec les équipes techniques, ces scientifiques participèrent à la spécification des performances du système, tant en termes géophysiques qu'en termes instrumentaux. Une fois le satellite lancé, ils participèrent au contrôle de la qualité des mesures, à l'évolution des algorithmes de traitement des données, et à l'exploitation et à la valorisation scientifique des données. Dès 1993, ils recommandèrent à la NASA et au CNES de travailler sur un successeur à TOPEX/POSEIDON de manière à assurer la pérennité des mesures. Au-delà de ce groupe d'investigateurs principaux, des centaines de chercheurs bénéficient des données de la mission, diffusées sans restriction. Aujourd'hui près de 500 équipes internationales travaillent avec les mesures de TOPEX/POSEIDON. Ce partenariat entre les équipes scientifiques et techniques fut tellement fructueux pour la mission TOPEX/POSEIDON que le CNES et la NASA décidèrent de le maintenir pour la mission Jason-1 en lançant un nouvel appel d'offre scientifique en 1997.

C'est ainsi que fut sélectionné en 1998 un nouveau groupe scientifique Jason-1 cons-

titué de 68 équipes de tous pays (représentant près de 200 investigateurs).

L'acquis de la mission TOPEX/POSEIDON permit au fil des réunions du groupe scientifique (une par an en moyenne) des discussions plus ciblées sur les nombreux résultats scientifiques obtenus mais aussi sur les améliorations potentielles du système. L'objectif principal affiché était de poursuivre les mesures altimétriques de haute précision de la classe TOPEX/POSEIDON sur le long terme pour mieux échantillonner et analyser le large spectre de variabilité des océans. Mais, le groupe scientifique recommanda également de tout mettre en œuvre pour améliorer les performances du système. Cet effort fut entrepris, notamment en développant des modèles géophysiques toujours plus performants et des moyens de contrôle plus adéquats de la qualité des mesures.

Une nouvelle fois, la Calibration et Validation des mesures de la nouvelle mission Jason-1 voient une implication très forte des scientifiques. Pendant la phase de vérification, les équipes du Groupe Scientifique recevront d'une manière privilégiée les mesures de Jason-1 pour en faire une analyse exhaustive avant d'en faire profiter leurs collègues à travers le monde entier. A n'en pas douter, les nombreux résultats qui en découleront feront avancer un peu plus encore notre connaissance de l'Océan.



Le groupe scientifique Jason

Allemagne SCHROETER Jens	AWI, Bremerhaven
Australie BURRAGE, Derek M CHURCH, John	Australian Institute of Marine Science, Queensland CSIRO, Hobart, Tasmania
Chili ABARCA Rodrigo	University of Chile, presently at CS Group, Toulouse
Danemark KNUDSEN Per	KMS, Kobenhavn
Etats-Unis ARNOLD, David V BORN, George H BUSALACCHI, Antonio J CHAO, Benjamin Fong CHELTON, Dudley B CHENEY, Robert E EANES, Richard J EMERY, William J FREW, Nelson M FUKUMORI, Ichiro GILLE, Sarah GLAZMAN, Roman E HAINES, Bruce J HANCOCK, David W JACOBS, Gregg A KOBILINSKY, Chester J MAC MILLAN Daniel MERRIFIELD, Mark A MITCHUM, Gary T NEREM, R Steven O'BRIEN, James J PICAUT Joel PONTE, Rui M QIU, Bo RAY, Richard D RIES, John C RODRIGUEZ, Ernesto ROEMMICH, Dean RUF, Christopher S STAMMER, Detlef STEWART, Robert H STRUB, P Ted TOKMAKIAN, Robin T VANDEMARK, Douglas C WATKINS, Michael M WHITE, Warren B	Brigham Young University, Provo, UT University of Colorado, Boulder, CO University of Maryland, College Park, MD Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD Oregon State University, Corvallis, OR NOAA Lab for Satellite Altimetry, Silver Spring, MD University of Texas Austin, Austin, TX University of Colorado, Boulder, CO Woods Hole Oceanographic Institution, MA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA NASA/GSFC, Wallops Island, VA NRL, Stennis Space Center, MS Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD NASA/GSFC, NVI, Greenbelt, MD University of Hawaii, Honolulu, HI University of South Florida, St Petersburg, FL University of Colorado, Boulder, CO Florida State University, Tallahassee, FL ORSTOM, presently at GSFC, Greenbelt, MD AER Inc, Cambridge, MA University of Hawaii Manoa, Honolulu, HI Hughes STX Corporation, Greenbelt, MD University of Texas Austin, Austin, TX Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA University of California San Diego, La Jolla, CA University of Michigan, Ann Arbor, MI Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, CA Texas A&M University, College Station, TX Oregon State University, Corvallis, OR Naval Postgraduate School, Monterey, CA GSFC/Wallops Flight Facility, Wallops Island, VA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA University of California San Diego, La Jolla
France ARNAULT Sabine BAHUREL Pierre BOULANGER Jean-Philippe CAZENAVE Anny DE MEY Pierre EXERTIER Pierre EYMARD Laurence KERLEGUER Laurent LE PROVOST Christian LE TRAON Pierre-Yves LEFEVRE Jean-Michel MORROW Rosemary PARK Young-Hyang PETIT Michel PICAUT Joel PROVOST Christine ROGEL Philippe TOURNADRE Jean VERRON Jacques WILLIS Pascal	LODYC, IRD, Paris SHOM/CMO, Toulouse LODYC, CNRS, Paris LEGOS/GRGS/UMR5566, Toulouse LEGOS/GRGS/UMR5566, Toulouse OCA/CERGA, Grasse CETP/IPSL/CNRS, Vélizy SHOM/CMO, Toulouse LEGOS/GRGS/UMR5566, Toulouse CLS, Toulouse Météo-France, Toulouse LEGOS/GRGS/UMR5566, Toulouse LOP Museum, Paris IRD, Montpellier IRD, LEGOS, Toulouse LODYC, CNRS, Paris CERFACS, Toulouse IFREMER, Brest LEGI, Grenoble IGN, St Mandé
Grande-Bretagne BELL Mik CHALLENGER Peter COTTON David MOORE Philip WOODWORTH Phillip	UK Met Office, Berkshire SOC, Southampton Satellite Observing Systems, Godalming, Surrey University of Newcastle, Newcastle POL, Merseyside
Japon IMAWAKI, Shiro	Kyushu University, Kasuga, Fukuoka
Nouvelle Calédonie CALMANT Stéphane	IRD, Nouméa
Pays-Bas SCHRAMA Ernst	DEOS, Delft

De nombreux équipiers français parmi les Argonautes

Depuis plusieurs années, de nombreux Laboratoires, Organismes et industriels nationaux se sont investis dans l'exploitation et l'analyse des données d'altimétrie par satellite, ainsi que dans la définition et le développement de nouvelles missions altimétriques.

A Toulouse, ce secteur a donné naissance à un Pôle d'Océanographie Spatiale qui fédère les compétences locales en ce domaine, depuis la réalisation d'instruments embarqués et le développement de logiciels associés jusqu'à l'exploitation scientifique des mesures et la distribution de produits spécifiques. Outre le CNES, chargé de la maîtrise d'ouvrage des systèmes et projets spatiaux, les partenaires de ce pôle sont :

- *Collecte Localisation Satellites (CLS)*, Centre de traitement et d'expertise des données d'océanographie spatiale et de valorisation des applications d'altimétrie
- *Météo-France* qui utilise l'altimétrie pour des études diagnostiques sur les états de mer et la prévision en météorologie marine et en dynamique côtière.
- *Le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM)* qui a développé et exploite un système dédié d'analyse et de prévision de l'océan sur l'Atlantique nord.

- *Le Laboratoire d'Etude en Géophysique et Océanographie Spatiale (LEGOS)*, Unité mixte CNRS/CNES/UPS, laboratoire de recherche en océanographie, géophysique et glaciologie, qui intervient dans de nombreux domaines (dynamique océanique, niveau moyen, marées, glaces, NAO, El Niño...). Le LEGOS abrite également le Centre de Topographie des Océans (CTO).

- *Le Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique (CERFACS)* travaille en relation avec le Centre National de Recherches Météorologiques pour élaborer notamment des modèles avancés couplant océan et atmosphère ayant pour objectif de déve-



La communauté française impliquée dans les projets d'altimétrie spatiale est particulièrement active et regroupe de nombreux techniciens, ingénieurs, et scientifiques de tout bord.

opper des systèmes de prévisions saisonnières du climat.

A ces différents organismes de la région Midi Pyrénées, il convient d'ajouter les partenaires industriels dont la Société *Alcatel Space Industries* qui a conçu et réalisé l'altimètre POSEIDON et la plate-

forme PROTEUS, les nombreux prestataires informatiques impliqués dans le développement du segment sol et des logiciels d'exploitation des données. Par ailleurs, *la Cité de l'Espace* contribue à la promotion des activités spatiales auprès du grand public. Au niveau national, *Thomson Detexis*, *CEPE* et *Starec* ont participé à la réalisation du système DORIS, tandis que de nombreux chercheurs du *Centre National de la Recherche Scientifique*, de *l'Université*, des *Observatoires*, de *l'Institut de Recherche pour le Développement*, du *Muséum d'Histoire Naturelle*, de *l'IFREMER* et de *l'Institut Géographique National (IGN)* participent aux travaux du groupe scientifique Jason-1. Citons en particulier :

- *Le Laboratoire d'Océanographie Dynamique et Climatologie (LODYC)*, à l'Université Paris VI, qui utilise les données altimétriques pour mener des études de processus et de modélisation sur les différents océans.

- *Le Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels (LEGI)* à Grenoble dont les chercheurs travaillent entre autres sur l'assimilation des données altimétriques dans les modèles de circulation océanique.

- *Le Laboratoire d'Océanographie Physique*, du Muséum à Paris, dont les activités sont liées en particulier à l'étude de la dynamique du courant circumpolaire antarctique

- *Le Laboratoire de Physique des*



Depuis de nombreuses années, les équipes projet françaises et américaines travaillent main dans la main pour la réussite des missions TOPEX/POSEIDON et Jason-1.

- *Océans (LPO)*, au Centre IFREMER de Brest, qui utilise conjointement les données in situ et altimétriques pour étudier la variabilité océanique.

- Egalement au sein de l'IFREMER, *le Département d'Océanographie Spatiale* mène de nombreuses activités dans le domaine du traitement et de l'exploitation des données spatiales, et étudie en particulier à partir de l'altimétrie, les états de mer et leur impact sur la physique du signal radar.

- A *l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD)*, plusieurs équipes basées à Nouméa, Toulouse, Paris, Montpellier et Brest, s'appuient sur les données altimétri-

ques pour mener à bien des études de géophysique et d'océanographie en milieu tropical.

- *L'Institut Géographique National* apporte son expertise dans le domaine des systèmes de référence terrestre.

- Une équipe du *Centre d'Etudes des Environnements Terrestres et Planétaires*, de Velizy, travaille sur la connaissance des hautes couches de l'atmosphère traversées par les impulsions radar.

- Une équipe du *CERGA* de l'Observatoire de la Côte d'Azur participe aux opérations de vérification et de validation des mesures altimétriques ainsi qu'au suivi des satellites altimétriques par station laser, ceci dans le cadre des activités géodé-

siques menées par le *Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale (GRGS)*. Le GRGS participe lui-même au développement et l'amélioration des champs de gravité utilisés dans les modèles d'orbitographie.

En complément de ces équipes scientifiques françaises, plusieurs chercheurs du Royaume-Uni, d'Allemagne, des Pays Bas, du Danemark, d'Espagne et d'Italie apportent leur expertise au groupe scientifique Jason, complétant ainsi les nombreuses contributions américaines, mais aussi australiennes, japonaises et chiliennes.

La coopération France - Etats-Unis

Depuis sa création en 1962, le CNES entretient un important programme de coopération avec les principales organisations américaines intervenant dans le secteur spatial.

Principalement menée avec la NASA, cette coopération s'étend essentiellement dans les domaines suivants : l'observation de la Terre et de son environnement (missions TOPEX/POSEIDON, Jason et CALIPSO), les sciences spatiales, l'exploration du système solaire (Mars en particulier), astronomie, astrophysique, la science en micropesanteur et le vol habité, la collecte de données.

Observation de la Terre

En plus des réalisations majeures que constituent les missions TOPEX/POSEIDON et Jason-1, la NASA et le CNES ont décidé de continuer à coopérer dans ce domaine avec le programme CALIPSO (anciennement ESSP3-CENA). Cette mission, qui doit être lancée en 2004, est destinée à étudier les nuages et les aérosols et

leur impact sur le bilan radiatif de la Terre. Le CNES fournira une plateforme PROTEUS et des instruments d'imagerie infrarouge. Quant à la mission Jason-2, qui prendra la suite de Jason-1 en 2005, elle devrait faire l'objet d'un partenariat entre le CNES, la NASA, EUMETSAT et la NOAA.

Sciences spatiales

Dans ce domaine, la coopération franco-américaine se fait au travers de programmes de l'Agence spatiale européenne ou dans le cadre de relations bilatérales entre le CNES et la NASA.

Dans le cadre bilatéral, la coopération dans le programme d'exploration de Mars constitue le programme majeur pour les années à venir. Le CNES étudie, avec son

partenaire américain, les modalités d'une coopération qui permettra de ramener des échantillons du sol martien à la première opportunité. Un M.o.U. définissant les grandes lignes de cette coopération est en cours de négociation entre les deux Agences. Un "orbiter" et des "netlanders" fournis par le CNES seront au cœur de la mission prévue en 2007, et la fourniture d'une ARIANE 5 est à l'étude pour leur emport. Au-delà de cette coopération, le CNES et la NASA envisagent la possibilité de mener ensemble une série de petites missions vers Mars.

Cette coopération n'est que le dernier développement d'une collaboration qui a vu de nombreux instruments scientifiques français voler sur des missions réalisées en coopération avec la NASA : un réseau holographique de grandes dimensions pour le satellite FUSE (Far Ultra Violet Spectroscopic Explorer), un relais pour les données recueillies par la sonde Mars Global Surveyor, une expérience

de gravimétrie dans le cadre de la mission NEAR (Near Earth Asteroid Rendez-vous), des expériences de collecte et de pyrolyse d'aérosols de Titan, satellite de Saturne, dans le cadre de la mission Cassini Huyghens.

Les sciences en micropesanteur et le vol habité

En octobre 1995, les ministres des pays membres de l'ESA ont décidé l'engagement d'un programme européen de participation à la Station Spatiale Internationale. La France est le deuxième contributeur européen à ce programme qui consiste essentiellement pour l'Europe en la fourniture, d'une part, d'un laboratoire européen et, d'autre part, de véhicules de transfert lancés par ARIANE 5 (ATV, Automated Transfer Vehicle) qui permettront de réaliser des vols logistiques vers la Station Spatiale Internationale.

Les sciences en micropesanteur, sciences de la vie et physique en micropesanteur ont vu le développement de nombreux projets menés en coopération entre scientifiques français et américains. Les expériences Ramses, Kinelit, Biorack, Echographe, développées en France, ont été embarquées à bord de la navette pour étudier la biologie végétale, la régulation cardio-vasculaire et l'électrophorèse. En avril 2000, les expériences "Kinelit and Development" ont volé pendant deux semaines à bord de la mission NEUROLAB. La mission STS-93, à laquelle a participé l'astronaute français Michel Tognini en juillet 1999, a emporté l'expérience française ICMS (Integrated Cardiovascular Monitoring System).

L'astronaute français Philippe Perrin réalisera quant à lui son premier vol dans l'espace à bord de la navette spatiale américaine en juin 2002 (STS-111).

La collecte de données

Le CNES et la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) coopèrent depuis longtemps dans l'exploitation des systèmes opérationnels de collecte de données Argos et Cospas-Sarsat.

Argos est un système de collecte de données environnementales, opérationnel depuis 1978, les charges utiles développées par le CNES étant embarquées à bord de satellites polaires de météorologie de la NOAA.

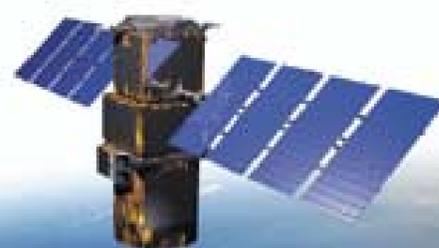
La France et les Etats-Unis sont associés depuis 1982 dans un programme d'alerte et de sauvetage Cospas-Sarsat ; la NOAA embarque à bord de 4 satellites des charges utiles de recherche et sauvetage fournies par la France ; depuis l'origine, des milliers de vies ont été sauvées grâce à ce système.



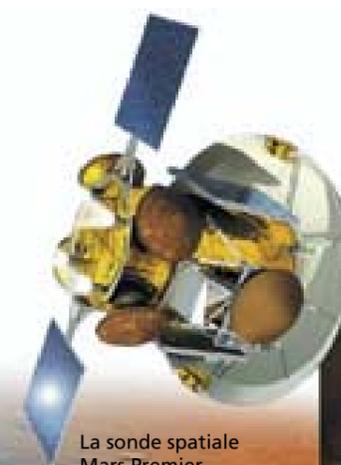
L'ATV en route vers l'ISS



L'astronaute français Philippe Perrin



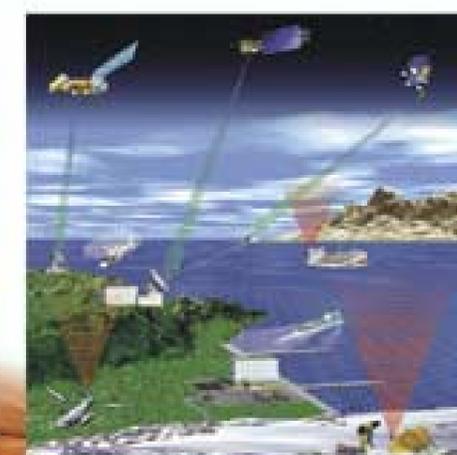
Le satellite CALIPSO



La sonde spatiale Mars Premier



Calotte glacière sur le pôle-nord de Mars



Le système cospas-sarsat

Édité en novembre 2001 par le Département Publications, Délégation à la Communication et à l'Éducation.
Comité de Rédaction : Martin Ransom, Yves Ménard, Patrick Vincent, Eliane Moreaux, Nicolas Picot

Traduction : Martin Ransom

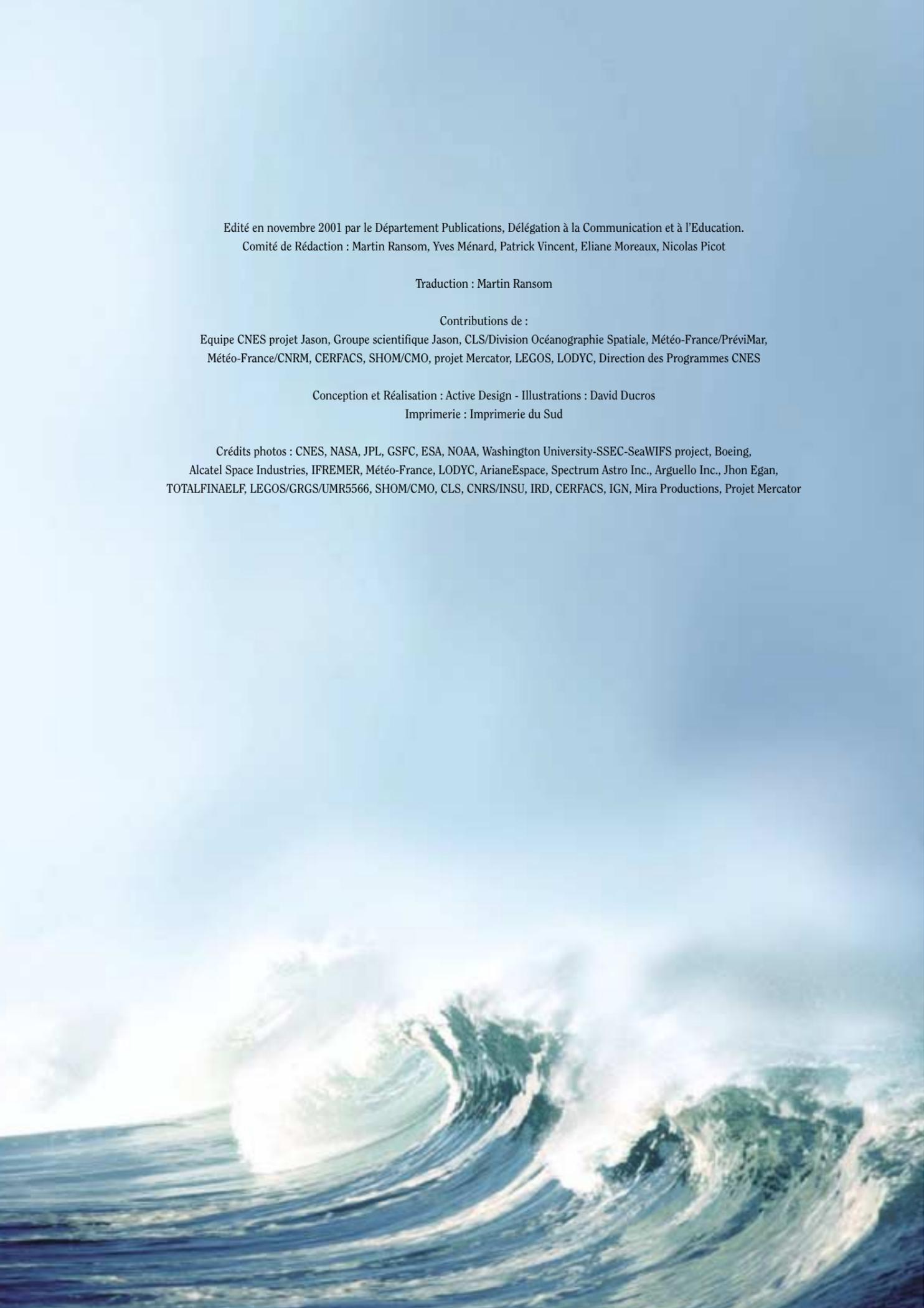
Contributions de :

Équipe CNES projet Jason, Groupe scientifique Jason, CLS/Division Océanographie Spatiale, Météo-France/PréviMar,
Météo-France/CNRM, CERFACS, SHOM/CMO, projet Mercator, LEGOS, LODYC, Direction des Programmes CNES

Conception et Réalisation : Active Design - Illustrations : David Ducros

Imprimerie : Imprimerie du Sud

Crédits photos : CNES, NASA, JPL, GSFC, ESA, NOAA, Washington University-SSEC-SeaWiFS project, Boeing,
Alcatel Space Industries, IFREMER, Météo-France, LODYC, ArianeEspace, Spectrum Astro Inc., Arguello Inc., Jhon Egan,
TOTALFINAELF, LEGOS/GRGS/UMR5566, SHOM/CMO, CLS, CNRS/INSU, IRD, CERFACS, IGN, Mira Productions, Projet Mercator



Le Centre National d'Etudes Spatiales

Chargé du développement des activités spatiales françaises depuis 1961, le CNES (Centre National d'Etudes Spatiales) a pour mission de proposer au gouvernement les orientations de la politique spatiale de la France et de mettre en œuvre les programmes décidés avec le concours de ses partenaires (industriels, entités de recherche, organismes de défense).

Le CNES intervient dans des domaines aussi variés que l'observation de la Terre, les télécommunications, les sciences de l'Univers, la présence de l'homme dans l'espace, et assure depuis 1973, par délégation de l'Agence Spatiale Européenne (ESA), la responsabilité de maîtrise d'œuvre du programme Ariane.

Pour plus d'informations, serveur CNES :
<http://www.cnes.fr> - www.cnes-tv.net
ou : <http://www-aviso.cnes.fr>

La NASA (National Aeronautics and Space Administration)

Depuis plus de 40 ans, la NASA est à l'origine d'un nombre impressionnant d'avancées majeures dans le domaine scientifique, aéronautique et spatial.

Dès sa création la NASA a été en première ligne pour étendre toujours plus loin les limites géographiques et intellectuelles de la conquête humaine.

La mission de la NASA est de faire progresser et de transmettre la connaissance scientifique et la compréhension de la planète Terre, du système solaire et de l'Univers, de faire progresser l'exploration humaine, l'utilisation et l'exploitation de l'Espace, et d'étudier, développer, valider et transférer les nouvelles technologies dans le domaine aéronautique et spatial.

Les principales missions de la NASA couvrent cinq domaines stratégiques : les sciences de l'Espace, de la Terre, la recherche physique et biologique, l'exploration humaine et l'exploitation de l'espace, la technologie aérospatiale.

Serveur NASA : <http://www.nasa.gov>

