

Jason-1 le satellite mesureur des océans

La surveillance de notre planète est entrée dans une ère nouvelle avec l'avènement, depuis environ trente ans, de moyens d'observations spatiales. Les satellites scientifiques et la grande précision de leurs instruments de mesures ont permis d'obtenir des progrès considérables en apportant une vision globale, rapide, fréquente et précise. L'altimétrie satellitaire est l'une de ces techniques d'observations. Elle permet de réaliser une cartographie de la topographie des océans. Outre sa composante quasi-statique (le géoïde) cette topographie est liée à un ensemble de phénomènes océanographiques (courants, marées,...) qui évoluent sur des échelles de temps allant de quelques heures à plusieurs décennies. La mesure très précise et sur de grandes périodes de temps de ces phénomènes ainsi que le développement de modèles intégrant les interactions océan-atmosphère devraient permettre d'accéder à des "prévisions climatiques". Pourtant l'observation sur de grandes échelles de temps (une à plusieurs décennies) nécessite de relier les mesures récoltées par les différentes missions spatiales avec une très grande précision. Après le succès de la mission TOPEX/Poséidon (lancé en 1992), le projet Jason (Jason-1 lancé fin 2001) ouvre maintenant la voie de l'océanographie opérationnelle en s'appuyant sur une série de satellites assurant une continuité de mesure sur une à plusieurs décennies.



Les océans jouent un rôle fondamental dans l'équilibre thermique de la Terre et leur interaction avec l'atmosphère est la clef de l'évolution du système climatique. Ce système ressemble à une immense machine thermique dont les mécanismes sont basés sur les échanges entre les circulations atmosphériques (les vents) et océaniques (les courants). Ceux-ci contribuent pour des parts comparables au transport et à la redistribution d'énergie des régions tropicales vers les régions polaires. Les océans sont donc régulateur du climat. De plus, ils possèdent d'immenses capacités d'absorption de composants chimique, comme le dioxyde de carbone à l'origine de l'effet de serre, qui obligent enfin à considérer l'ensemble "océan-atmosphère".

Par nature, l'exploration des océans a été longue et difficile et n'a débuté qu'il y a seulement quelques siècles avec le déve-

loppement de la navigation et des premières grandes explorations lointaines. Jusqu'à une période récente, seuls les



Figure 1 : Lancement de Jason-1 depuis la base de Vandenberg (Californie)

navires apportaient l'essentiel des connaissances de ce milieu, mais les données étaient dispersées dans le temps et l'espace. Depuis une trentaine d'années, les techniques d'observations spatiales ont permis des progrès considérables en apportant une nouvelle capacité de surveiller globalement les océans, de manière permanente et instantanée : par mesure de la topographie des mers et de son évolution temporelle, par celle de la température de surface et des indicateurs biologiques et par collecte de données océanographiques mesurées (in situ) à bord de bouées et de bateaux, etc...

L'altimétrie satellitale, dans l'activité d'océanographie

L'altimétrie satellitale, aujourd'hui au centre de l'activité d'océanographie, est une technique spatiale permettant de mesurer le relief des océans. Sa mise au ■■■

point date des années 1970 et depuis ses capacités ont décuplées en termes de précision et de couverture spatio-temporelle. Ces progrès ont été notamment obtenus grâce aux données du satellite franco-américain TOPEX/Poseidon lancé par la fusée Ariane en août 1992. Aujourd'hui, le successeur de ce dernier, en fin de vie, est Jason-1 (Alcatel-Space, Cannes), premier satellite de ce qui devrait devenir une véritable filière spatiale en matière de suivi océanographique à long terme. Il a été lancé avec succès le 7 décembre 2001 depuis la base de Vandenberg (Californie, *Figure 1*). La rapidité de sa mise en service et celle du traitement des mesures (certains produits seront disponibles en moins de 3 heures) montrent bien que Jason-1 ouvre la voie de l'océanographie opérationnelle.

La technique d'altimétrie est basée sur la mesure de la hauteur instantanée de la mer à l'aide d'un radar (onde à environ 13 GHz) embarqué sur un satellite artificiel. L'onde radar émise par le satellite se réfléchit sur la surface de la mer et est renvoyée à bord. Le satellite mesure alors le temps aller-retour et analyse la forme d'onde reçue, permettant respectivement de déterminer la distance entre le satellite et la surface de la mer ainsi que la hauteur des vagues. La hauteur de mer est ensuite déduite de la différence : altitude du satellite - distance mesurée. L'altitude du satellite est calculée de façon extrê-

mement précise à partir du suivi permanent de la trajectoire réalisée depuis le sol par des stations de poursuite comme celle installée depuis plusieurs années sur le plateau de Calern (OCA) dans l'arrière-pays de Grasse.

Cette équation simple met en évidence l'importance de réaliser un calcul d'orbite très précis afin de déterminer sans ambiguïté la hauteur de la mer. C'est sûrement l'un des domaines qui a connu les progrès les plus importants ces dernières années passant d'une précision d'un demi-mètre dans les années 1980 (avec les satellites Seasat et Geosat) à 2-3 cm dans le cas du satellite océanographique TOPEX/Poseidon. Cette amélioration est due notamment à l'utilisation de mesures de poursuite de satellite comme la télémétrie laser, le système DORIS, techniques développées par le CNES, l'IGN et l'OCA, ou encore le système américain GPS. L'ensemble de ces techniques permettent de situer le satellite très précisément. À titre d'exemple, le satellite Jason-1 embarque à son bord le système d'orbitographie autonome DIODE qui, s'appuyant sur les mesures DORIS, permet en tant réel de diffuser la position du satellite avec une précision décimétrique. Après retraitement de l'ensemble des données par l'équipe d'orbitographie du CNES, la précision sur la composante radiale du satellite (direction de mesure du radar) devrait être meilleure que 1 cm.



Figure 3 : Carte de situation du site de calibration des altimètres en Corse.

Afin de valider les instruments de Jason-1, notamment l'altimètre, un nouveau site de suivi et d'étalonnage des satellites océanographiques a été installé en Corse (*Figure 2*). Opérationnel depuis 1998, ce site permet le suivi de l'étalonnage et de la précision de l'altimètre de TOPEX/Poseidon ainsi que celui de Jason-1 depuis janvier 2002. Pour la période de validation de Jason-1 (jusqu'en juin 2002) la station de télémétrie laser ultra-mobile (FTLRS), développée en collaboration entre le CNES, l'IGN et l'OCA, a été installée en Corse (*Figure 3*) afin d'améliorer la précision d'orbite grâce à l'observation quasi zénithale des passages d'étalonnage.

L'ensemble des hauteurs de mer ainsi déterminées le long de la trajectoire du satellite, tous les 6 à 7 km, permet d'obtenir une carte de la surface des océans. Sur une période de plusieurs années, le satellite altimétrique donne donc accès à une "cartographie évolutive", tous les dix jours, de la surface des océans avec une précision meilleure que 5 cm.

Mais qu'apporte donc la connaissance précise de cette topographie ?

Tout d'abord la forme géométrique permanente des océans épouse de très près le géoïde, surface équipotentielle du



Figure 2 : Station de télémétrie laser ultra-mobile (FTLRS) installée sur la base d'Aspretto (Ajaccio, Corse)

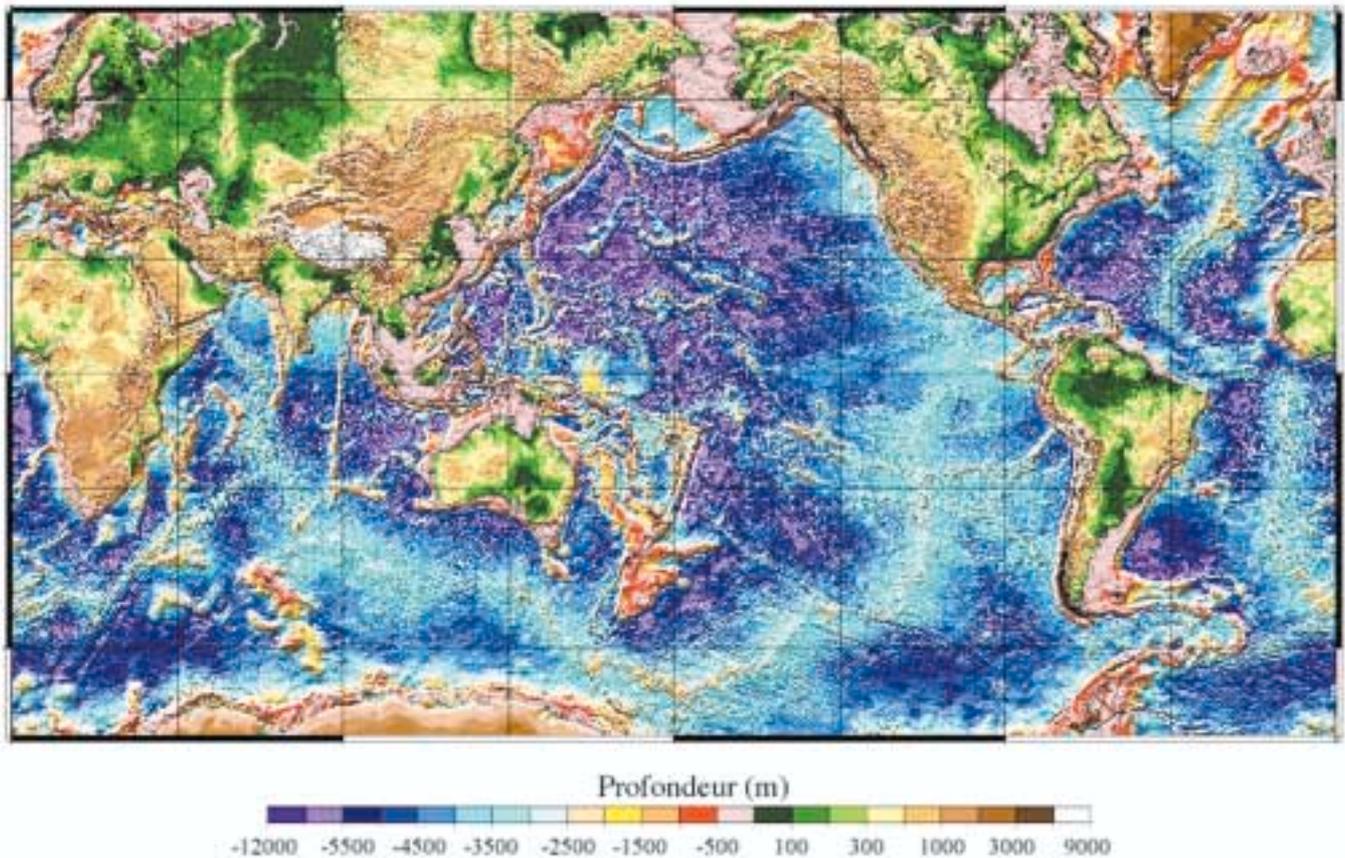


Figure 4 : Carte des reliefs sous-marins obtenus à partir des mesures des satellites ERS-1, TOPEX/Poseidon et Geosat (crédits GRGS/LEGOS/CNES, Toulouse et IRD, Nouméa).

champ de gravité, et reflète donc la distribution inhomogène des densités de la matière depuis le fond des océans jusque dans les grandes profondeurs de la Terre. Ceci permet donc d'une part d'avoir accès en quelque sorte à la composition interne de la Terre mais aussi à la topographie du fond des océans. En effet, une chaîne de montagne sous-marine crée un excédant de matière alors qu'un abysse provoque un déficit de matière engendrant réciproquement une bosse et un creux à la surface de la mer, donc une anomalie du champ de gravité.

La surface des océans est donc également le reflet du relief de ses fonds marins : par exemple une bosse de 1 m dans la surface de la mer correspond approximativement à une montagne sous-marine de l'ordre de 1000 m d'altitude. Les mesures combinées des satellites TOPEX/Poseidon, ERS-1 et Geosat ont conduit notamment à une cartographie de l'ensemble de la topographie sous-marine avec une résolu-

tion spatiale de 7 km (Figure 4) permettant de mettre en évidence les chaînes de volcans sous-marins, les zones d'interface entre les plaques tectoniques, et finalement des détails surprenants comme les traces des anciens cratères d'impact d'astéroïdes.

À cette topographie permanente, au moins à l'échelle de milliers d'années, vient se superposer un relief créé par les courants océaniques. La vitesse de ces courants est proportionnelle à la pente locale de la surface de l'eau. Par ailleurs, dans l'hémisphère Nord les courants tournent dans le sens des aiguilles d'une montre autour des "bosses" et dans le sens inverse autour des "creux" : ce phénomène s'inverse dans l'hémisphère Sud du fait de la rotation de la Terre. L'amplitude typique du relief de la surface des océans lié aux courants (appelée topographie dynamique) est de ± 1 m. Lorsqu'on sait qu'un courant comme le Gulf Stream (au nord de l'atlantique nord), créant un relief de l'ordre du mètre, est capable

de transporter un flux de 100 millions de m^3 d'eau par seconde (environ 100 fois le total des rivières du globe) il n'est pas difficile d'imaginer tout l'intérêt d'être capable de mesurer la surface des océans avec une très grande précision. En effet, ces énormes masses d'eau transportent avec elles la chaleur emmagasinée par l'océan et servent donc de régulateur thermique. Toute variation dans la quantité d'eau transportée ou dans la direction du courant aura donc une influence sur les phénomènes météorologiques (précipitation et évaporation) ou climatiques ce qui engendre des modifications importantes à long terme.

L'exemple récemment médiatisé du phénomène El Niño (1997-98) illustre bien cet aspect. En effet, les quelque deux mille milliards de mètres cubes d'eau chaude transportés en quelques mois des rivages australiens vers les côtes péruviennes sont à l'origine, durant plusieurs mois, de conditions météorologiques inhabituelles et d'une

La surface des océans est donc également le reflet du relief de ses fonds marins : par exemple une bosse de 1 m dans la surface de la mer correspond approximativement à une montagne sous-marine de l'ordre de 1 000 m d'altitude. Les mesures combinées des satellites TOPEX/Poseidon, ERS-1 et Geosat ont conduit notamment à une cartographie de l'ensemble de la topographie sous-marine avec une résolution spatiale de 7 km permettant de mettre en évidence les chaînes de volcans sous-marins, les zones d'interface entre les plaques tectoniques, et finalement des détails surprenants comme les traces des anciens cratères d'impact d'astéroïdes.

succession d'événement désastreux à l'échelle de la planète. La surveillance de ce type de phénomène est donc très importante et les mesures réalisées par altimétrie satellitaire y contribuent pour une part importante. Depuis peu, les indices s'accumulent : une anomalie de hauteur de mer se propage de l'Indonésie vers le Pérou ; les mesures sous la surface de la mer montrent que cette anomalie est créée par une "bulle" où la température est anormalement élevée. Tous ces signes, intégrés dans les modèles de prévision, indiquent qu'El Niño se fera probablement sentir en 2002-2003. Avec quelle intensité ? C'est encore difficile à dire, l'atmosphère pouvant intensifier ou diminuer très sensiblement le phénomène. À l'heure actuelle, il semblerait qu'il sera moins intense que l'épisode de 1997-98.

Une source d'incertitudes concerne également l'évolution future de la quantité de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Là encore, la mesure précise de la surface océanique peut nous apporter un élément de réponse : sous l'effet de la chaleur, l'eau a tendance à se dilater entraînant donc une élévation de son niveau. Parallèlement, un réchauffement provoque la fonte des glaces qui entraîne aussi une élévation du niveau des mers. Cette augmentation du niveau de la mer peut avoir des conséquences économiques importantes puisqu'une grande partie de la population vit dans les régions côtières. Les mesures effectuées par TOPEX/Poseidon depuis bientôt dix ans permettent d'estimer cette augmentation comme étant de l'ordre de 1 mm/an. Ce résultat est par ailleurs en assez bon accord avec les mesures

marégraphiques effectuées depuis le début du siècle. Ce taux d'élévation est donc loin d'être alarmant tout au moins à l'échelle globale. Pourtant il est des régions où cette augmentation est plus marquée et par exemple en Méditerranée l'élévation du niveau de la mer est estimée à près d'1 cm/an, soit 10 fois plus !

La prévision ne peut se faire qu'au moyen de modèles. L'océanographie spatiale doit encore "engranger" des informations sur de grandes échelles de temps pour être à même de construire des modèles climatiques fiables, au moins à l'échelle de quelques années. Les enjeux et les besoins d'observation font en quelque sorte de l'océanographie et de la météorologie des "soeurs jumelles". Ainsi, l'altimétrie opérationnelle en fournissant à la fois des informations sur la vitesse et la direction des courants, la hauteur des vagues et la force du vent... établit un trait d'union entre la météorologie marine et l'océanographie physique. ●

**PASCAL BONNEFOND, PIERRE EXERTIER
ET KARIN FOGSTRAND**

Contacts

Observatoire de la Côte d'Azur
Département CERGA
Avenue Nicolas Copernic 06130 Grasse
Pascal.Bonnefond@obs-azur.fr

Sites web à consulter :

<http://www.jason.oceanobs.com/>
<http://grasse.obs-azur.fr/cerga/gmc/kids/>
<http://sealevel.jpl.nasa.gov/> (en anglais)

ABSTRACT

Earth observation entered a new era about thirty years ago with the advent of satellite-based monitoring. Artificial scientific satellites fitted with accurate measuring instruments have led to rapid progress by providing a global view of situations quickly, frequently and accurately. Satellite altimetry is one of these space techniques and permits to realize a map of the ocean topography. Besides its almost-static component, the geoid, this topography is linked to several oceanographic phenomena (currents, tides) that evolve on time periods from some hours to several decades. The very precise measurement on long periods of time of these phenomena as well as the development of models integrating the ocean-atmosphere interactions should allow to realize "climatic predictions". Nevertheless the observation on long periods of time (one to several decades) necessitates to link up the measurements collected by the different space missions with a very high precision. After the success of the TOPEX/Poseidon mission, the Jason project opens now the way of operational oceanography based on a series of satellites allowing measurement continuity on one to several decades.