

# Observation depuis l'espace de la Terre solide, de l'océan et des eaux continentales

*A. Cazenave*

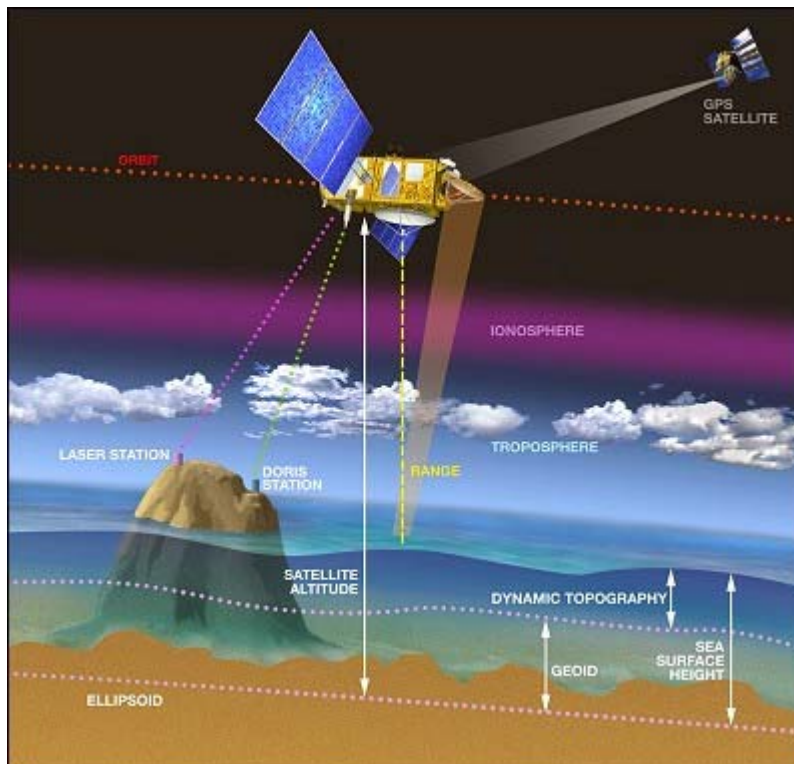
*LEGOS-GRGS/CNES, 18 Av. Edouard Belin 31400 Toulouse, France*

## 1. Introduction

Depuis quelques décennies, diverses observations collectées par les satellites artificiels ont relevé quantité d'informations sur la planète Terre (forme complexe de la Terre et champ de gravité, fluctuations de la rotation de la Terre, déformations globales, régionales et locales de la croûte terrestre en relation avec la tectonique des plaques et l'activité sismique et volcanique), sur l'atmosphère et les terres émergées et, depuis quelques années, sur la dynamique des océans et les variations du niveau de la mer, enfin plus récemment sur eaux continentales et les calottes polaires. Dans cet exposé, nous faisons le point des résultats les plus récents obtenus grâce aux systèmes altimétriques en orbite dans le domaine des géosciences.

## 2. De Seasat à Jason : l'altimétrie spatiale appliquée à l'étude de la planète

L'altimétrie radar a été développée dès le milieu des années 1970 pour étudier les océans. Seasat (USA) lancé en 1978 ne fonctionna que 3 mois mais fit une brillante démonstration des potentialités de l'altimétrie spatiale. Il fallut attendre 1985 pour avoir un nouveau satellite altimétrique en orbite (GEOSAT, USA). Sa durée de vie de 4 ans fournit des informations prometteuses sur l'océan mais c'est dans le domaine de la géophysique marine que les résultats les plus spectaculaires ont été obtenus. En 1991, l'ESA lança ERS-1, plate-forme dédiée à l'étude de l'environnement, emportant entre autres instruments, un radar altimètre. En 1995, son successeur, ERS-2 pris son relais. Mais c'est avec le lancement de Topex/Poseidon (CNES-NASA) en 1992 qu'a été réellement mise à profit l'altimétrie de haute précision à l'étude des océans. Ainsi pendant une quinzaine d'années (1978-1992), l'altimétrie spatiale a surtout été appliquée au domaine de la Terre solide. Depuis 10 ans, avec Topex/Poseidon et son successeur Jason-1 (et depuis peu ENVISAT), des résultats remarquables sur la dynamique des océans et leur rôle dans l'évolution du climat ont été obtenus.



*Fig.1 Principe de la mesure altimétrique: le satellite émet vers le nadir une onde radio-électrique au moyen d'un altimètre radar embarqué. Cette onde se réfléchit à la surface de la mer et revient au satellite, ce qui permet de déterminer l'altitude du satellite au-dessus de la surface de la mer par mesure du temps aller-retour du signal. Si on connaît par une autre méthode (la méthode des perturbations décrite précédemment), l'orbite du satellite, notamment son altitude au-dessus d'une référence (arbitrairement choisie), on peut, par différence, déduire les ondulations de la surface de la mer par rapport à cette référence. Sachant que le satellite effectue une mesure altimétrique tous les 5-7 km le long de son orbite et que les traces de l'orbite sur la surface terrestre peuvent être espacées de quelques km, on voit que l'altimétrie spatiale permet de cartographier directement, avec une très haute résolution, les ondulations de la surface marine.*

### **3. Applications de l'altimétrie spatiale à l'étude de la Terre solide**

Les ondulations de la surface marine cartographiées par altimétrie ont deux composantes : une composante permanente (invariable dans le temps mais qui varie géographiquement) due au champ de gravité terrestre, et une composante qui varie dans le temps, résultant des phénomènes océanographiques (marées, courants, tourbillons, etc.). Pourquoi les ondulations permanentes reflètent-elles les irrégularités du champ de gravité terrestre? Placé dans un champ de gravitation,

un fluide a sa surface partout normale à la pesanteur locale. Si la pesanteur varie d'un point géographique à un autre, le fluide (ici la surface de la mer) qui lui est perpendiculaire, va présenter les ondulations. Ainsi les ondulations permanentes de la surface de la mer, reflètent directement les irrégularités du champ de gravité terrestre. Ces ondulations peuvent atteindre plusieurs dizaines de mètres et sont donc supérieures d'un facteur 10 à 100 à celles résultants des phénomènes océanographiques.

Les variations géographiques du champ de gravité global de la Terre sont visualisées grâce au géoïde, surface équipotentielle (ou surface de niveau) du potentiel de pesanteur, lequel résulte du champ de gravité et de la force centrifuge. En milieu océanique, le géoïde coïncide avec le niveau moyen de la mer. Le géoïde terrestre (qui représente la forme qu'aurait la Terre si elle était partout recouverte d'océans) est aplati. On sait depuis longtemps que la Terre est aplatie aux pôles. Cet aplatissement résulte pour l'essentiel de la rotation de la Terre sur elle-même. A l'échelle des temps géologiques, la Terre se comporte comme un fluide et s'aplatit à cause de la force centrifuge due à sa rotation. La différence entre le rayon polaire et le rayon équatorial est de l'ordre de 21 km.

Le géoïde est aussi constitué de creux et bosses dont la dénivelée atteint ~ 100 à 200 m (sur des distances de quelques milliers de km). On sait maintenant que ces ondulations sont dues au phénomène de convection à grande échelle, qui anime le manteau terrestre.

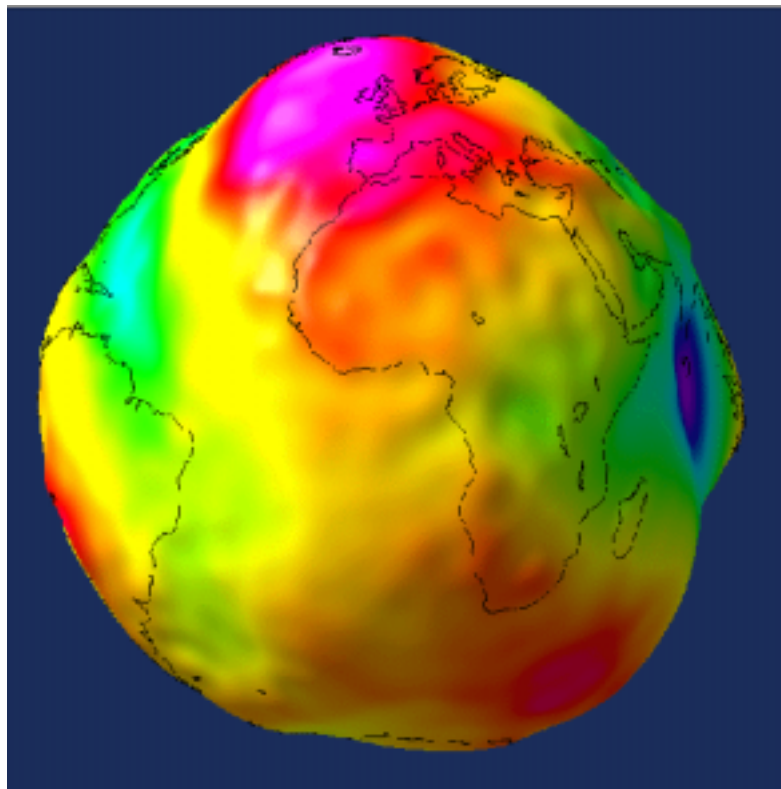


Fig.2 : le géoïde (surface équipotentielle du champ de gravité) à grandes longueurs d'onde

C'est grâce à l'altimétrie satellitaire que l'on a pu cartographier les ondulations à courtes longueurs d'onde du champ de gravité terrestre au-dessus des régions océaniques. La mesure des creux et bosses du géoïde par altimétrie spatiale apporte des informations irremplaçables sur la dynamique interne du manteau terrestre, la structure thermique et mécanique des plaques tectoniques, les points chauds, etc.

En 1994, le satellite européen ERS-1, dédié à l'étude de l'environnement terrestre, a été placé sur une orbite dite "géodésique" afin de réaliser une cartographie à très haute résolution spatiale (quelques km partout) des ondulations de la surface de la mer, donc du géoïde marin. Dix ans auparavant, le satellite américain GEOSAT avait lui aussi effectué, pour les besoins de la Défense américaine, une cartographie altimétrique à très haute résolution du géoïde marin. Ces données étaient cependant restées classifiées pendant une décennie. En combinant les mesures des deux satellites ERS-1 et GEOSAT, plusieurs équipes dans le monde ont établi des cartes à très haute résolution du géoïde marin.

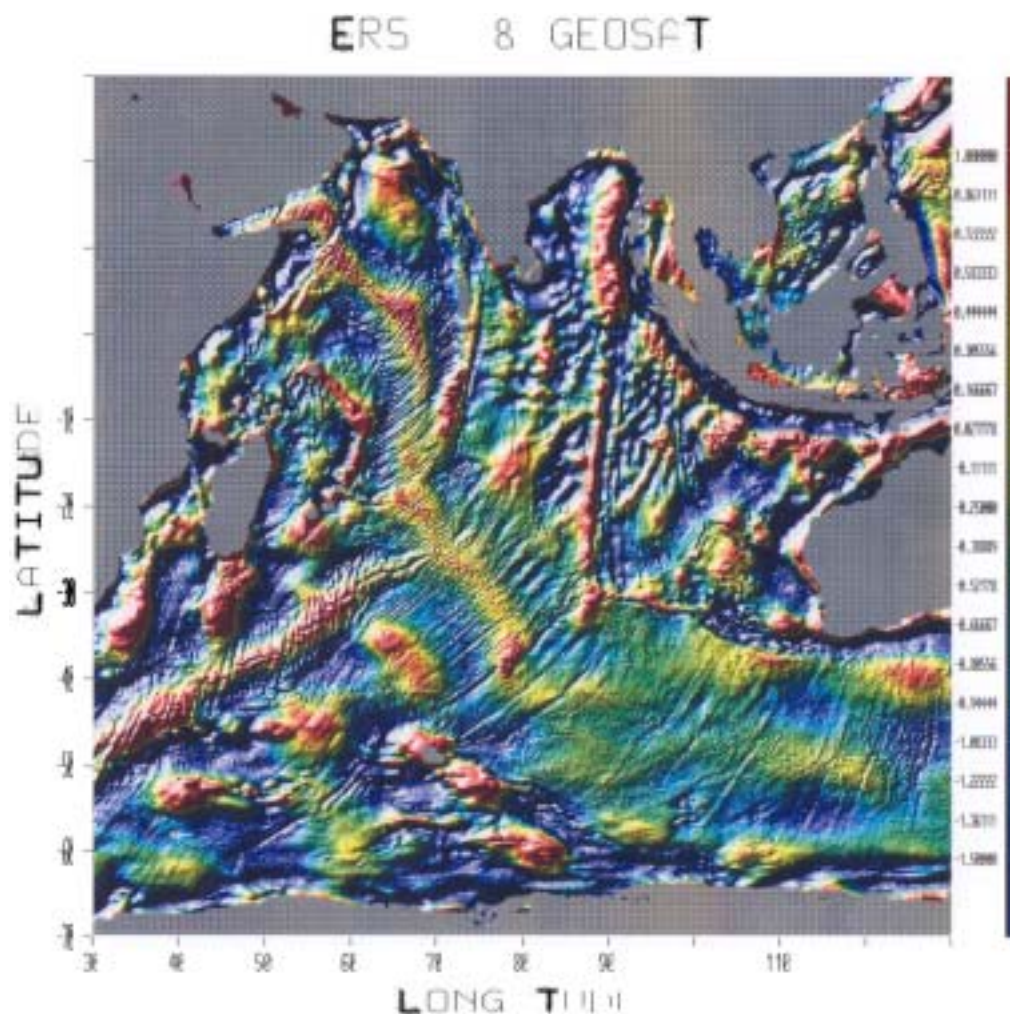
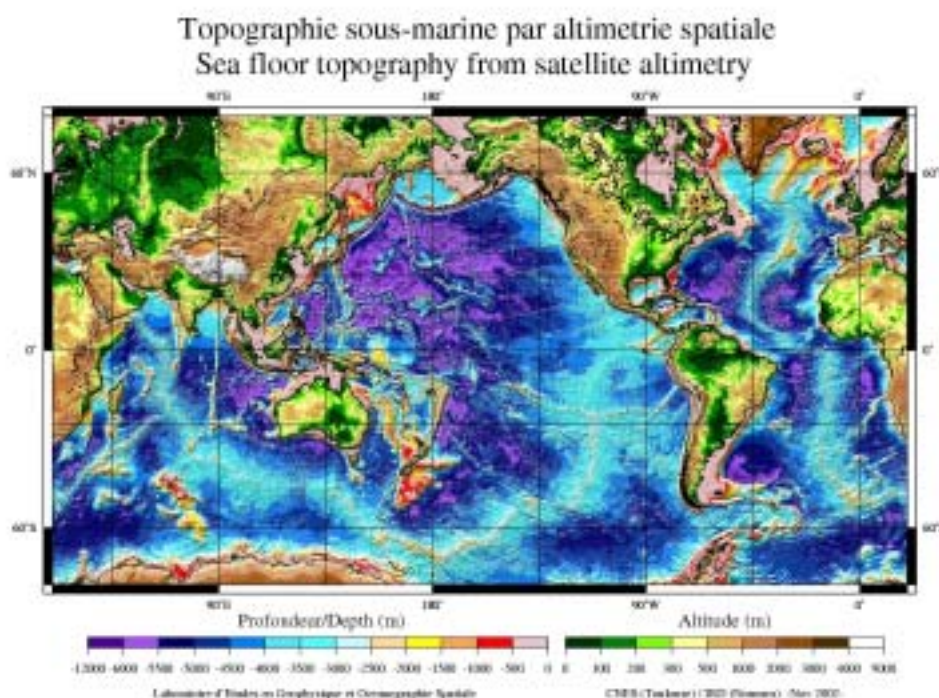


Fig.3 : Carte de la surface 'moyenne' de la mer (ou géoïde marin) sur l'océan Indien, établie par altimétrie spatiale.

Aux échelles spatiales les plus courtes (10-500 km), les ondulations du géoïde marin sont une réplique exacte de la topographie des fonds marins. Pendant des décennies celle-ci a été mesurée par sondage acoustique à partir de navires de commerce, de navires océaniques ou de bâtiments militaires. Mais de vastes régions océaniques sont restées totalement inexplorées, en particulier dans l'hémisphère sud.

Grâce aux mesures à haute résolution du géoïde marin, la topographie sous-marine a pu être calculée sur tout le domaine océanique avec une résolution de quelques km. Cette topographie montre la grande complexité des fonds marins. Outre les grandes structures déjà connues telles les dorsales océaniques, les zones de fractures et les zones de subduction, ou encore les alignements de volcans sous-marins, la topographie globale des fonds marins révèle d'autres structures jusqu'ici insoupçonnées ou incomplètement cartographiées à partir des bateaux. D'innombrables montagnes sous-marines dont la moitié d'entre elles n'avaient jamais été cartographiées, ont ainsi été identifiées. On a aussi découvert quantité de reliefs fossiles, témoins d'une activité tectonique aujourd'hui disparue.

Outre leur intérêt majeur pour la géophysique marine, ces données sont aussi très utiles de nombreux domaines comme la navigation sous-marine, la pêche commerciale, l'exploration pétrolière en mer, etc.

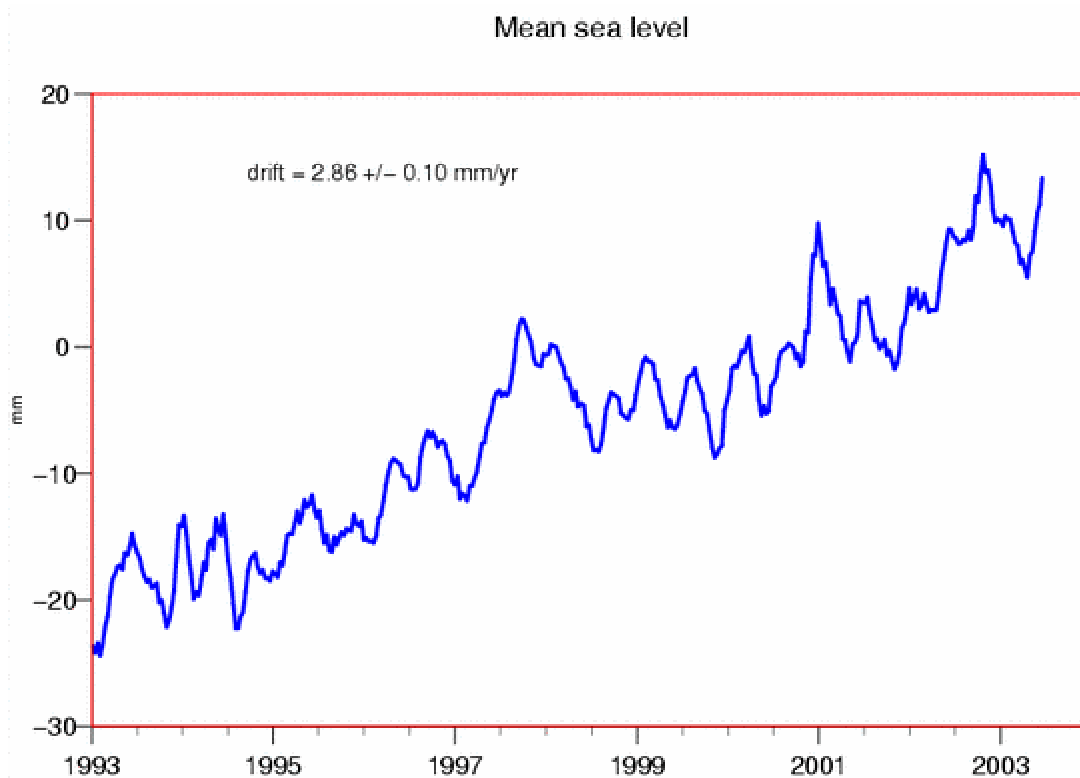


*Fig.4 : Carte des fonds marins établie à partir de l'altimétrie spatiale*

#### **4. L'altimétrie spatiale pour suivre la hausse du niveau des mers**

Au cours de l'histoire de la Terre, le niveau des océans a fluctué sur des échelles de temps variées. Au cours des temps géologiques, la formation des grands bassins océaniques a été la cause majeure des transgressions et régressions marines. Depuis environ un million d'années, la succession de climats glaciaires - interglaciaires a donné lieu à d'importantes variations du niveau des océans. Ainsi lors du dernier maximum glaciaire, il y a environ 20 000 ans, l'hémisphère nord était recouvert par plusieurs kilomètres de glace et le niveau de la mer était 120 m plus bas qu'aujourd'hui. Avec la fonte des calottes glaciaires initiée il y a 18 000 ans, le niveau des océans a progressivement remonté puis s'est stabilisé il y a environ 6000 ans. Depuis cette date, le niveau de la mer a peu varié globalement. Depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle, le niveau de la mer mesuré à l'aide de marégraphes s'est élevé de 10 à 20 cm. Le taux d'élévation correspondant, 1-2 mm/an, est supérieur d'un facteur 10 à celui des derniers millénaires (comme en témoignent des observations géologiques). Cette vitesse importante est généralement attribuée au réchauffement climatique observé depuis plusieurs décennies. Sa valeur reste toutefois incertaine car le nombre de marégraphes offrant des enregistrements de longue durée est très limité (une trentaine seulement) et leur distribution très inhomogène (limitée aux côtes de l'Amérique du nord et de l'Europe). Par ailleurs les marégraphes ne fournissent qu'une mesure relative du niveau de la mer par rapport à la côte et enregistrent donc les mouvements de la croûte terrestre.

Depuis une décennie, on dispose d'un nouvel outil très performant pour suivre l'évolution du niveau moyen des mers sur l'ensemble du domaine océanique: l'altimétrie spatiale. Le satellite Topex/Poseidon survole une même région du globe tous les 10 jours. Au cours de cet intervalle de temps, appelé cycle orbital, le satellite effectue une couverture complète des océans. En moyennant les hauteurs de mer mesurées au cours d'un cycle sur l'ensemble du domaine océanique, on obtient une valeur du niveau moyen des océans. D'un cycle à l'autre ce niveau moyen varie. La figure ci-dessous montre l'évolution du niveau de la mer mesuré par Topex/Poseidon entre janvier 1993 et mars 2003. La dérive du niveau de la mer pour cette période est estimée à  $2.85 \pm 0.1$  mm/an. Contrairement aux mesures effectuées par les marégraphes, il s'agit ici de variations absolues (et non relatives à la croûte terrestre).



*Fig.5 : Courbe d'évolution du niveau moyen global de la mer mesurée par le satellite Topex/Poseidon entre 1993 et 2003.*

Grâce à la couverture complète des océans réalisée par Topex/Poseidon, il devient maintenant possible de cartographier la distribution géographique des variations du niveau de la mer. Celles-ci sont présentées sur la figure ci-dessous pour le période 1993-2003. Ce qui frappe en observant cette carte, c'est la grande variabilité géographique des dérives observées. A cause de leur distribution très limitée, les observations marégraphiques n'avaient pas permis de mettre en évidence une telle variabilité régionale et jusqu'ici, il était admis que la mer s'élevait uniformément. Avec l'altimétrie, on a maintenant la preuve que ce n'est pas le cas. La figure ci-dessous montre ainsi que dans certaines régions le taux d'élévation du niveau de la mer au cours de la dernière décennie a atteint 10 fois le taux moyen global (par exemple dans le Pacifique ouest et l'océan austral). Dans d'autres régions, comme le Pacifique Central-Est, le niveau s'est au contraire abaissé.

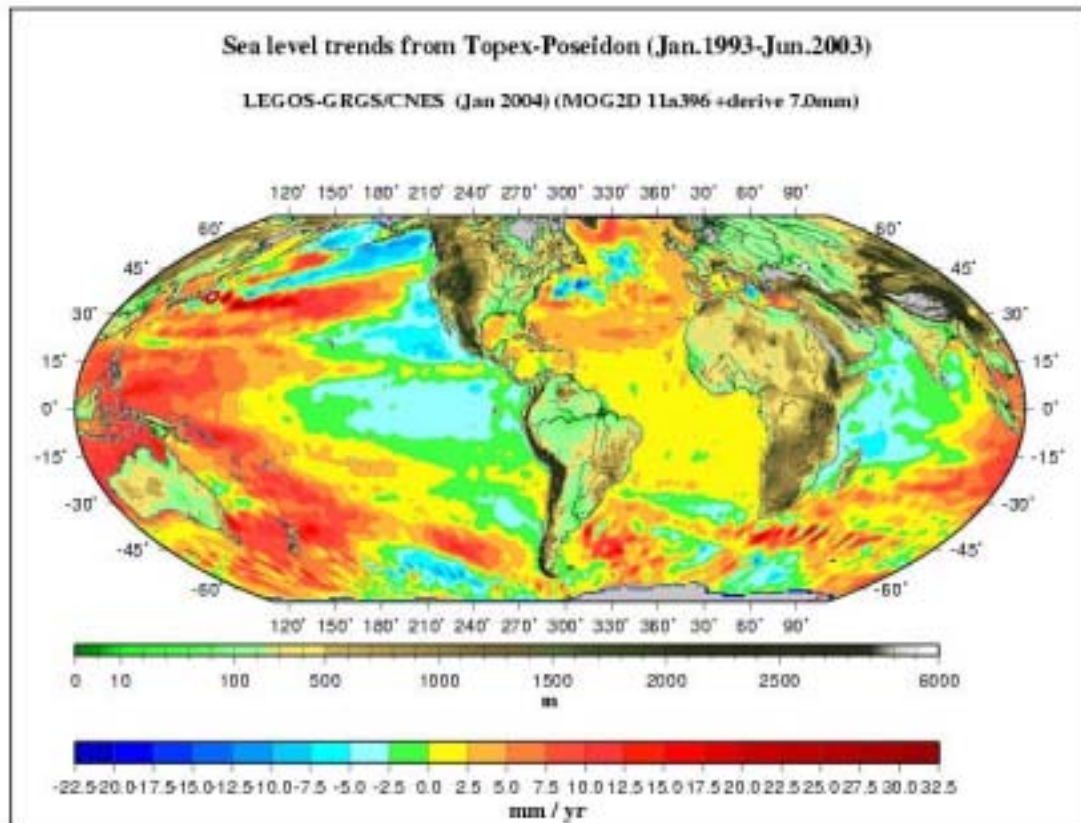


Fig.6 : Distribution géographique des dérives du niveau de la mer mesurées par Topex/Poseidon entre janvier 1993 et juin 2003.

## 5. Quelles sont les causes des variations actuelles du niveau moyen de la mer ?

Sur des échelles de temps allant de l'année à quelques décennies, les causes des variations du niveau de la mer résultent essentiellement de deux facteurs :

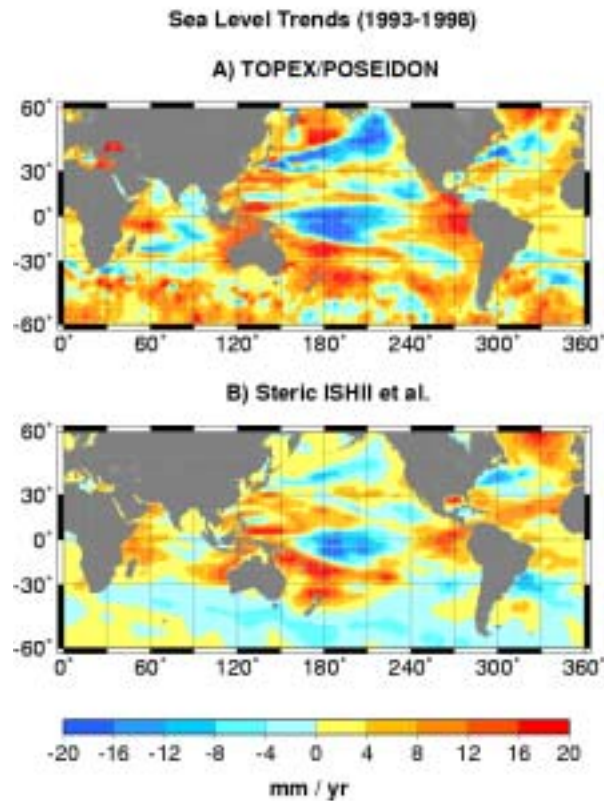
- (1) les variations du volume des océans produites par des variations de température et de salinité de la mer
- (2) les variations de la masse d'eau contenue dans l'océan résultant principalement d'échanges avec les réservoirs continentaux et les glaciers de montagne et les calottes polaires (Groenland et Antarctique).



Le dernier rapport du Groupement Intergouvernemental pour l'Etude du Climat (GIEC) paru en 2001, propose une synthèse très complète des différentes contributions climatiques à l'élévation du niveau de la mer au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. La somme des contributions est estimée à 0.7 mm/an, avec néanmoins une marge d'incertitude importante (1.5 mm/an). Parmi les différents facteurs, l'expansion thermique causée par le réchauffement des océans est la contribution dominante (0.5 +/- 0.2 mm/an). Viennent ensuite la fonte des glaciers de montagne (0.3 +/- 0.1 mm/an) et les modifications du bilan de masse de l'Antarctique et du Groenland (0.1 +/- 0.3 mm/an). La contribution la plus incertaine (- 0.35 +/- 0.75 mm/an) concerne les réservoirs d'eaux continentales résultant des activités anthropiques (construction de barrages, évapotranspiration consécutive à l'intensification de l'irrigation, etc). Selon le GIEC, l'ensemble des contributions climatiques n'expliquent que la moitié de l'élévation du niveau de la mer mesurée par les marégraphes (1.5 mm/an, selon le GIEC). D'où la question : Le GIEC a-t-il sous estimé les facteurs climatiques ou bien les marégraphes ont-ils surestimés l'élévation du niveau de la mer ?

De nouvelles données globales de température de la mer disponibles depuis peu permettent d'estimer avec une meilleure précision la part de l'expansion thermique pour les dernières 50 années, et en particulier pour la dernière décennie. Ces données démontrent que l'expansion thermique est responsable des variations régionales des dérives du niveau de la mer. Elles indiquent aussi que la plupart des marégraphes historiques utilisés pour estimer l'élévation du niveau de la mer au cours du 20<sup>ème</sup> siècle sont situés dans des régions où l'océan a subi un réchauffement plus important que la moyenne. On ne peut donc exclure que ces mesures surestiment l'élévation moyenne réelle de la mer pour le siècle passé. Une telle conclusion qui permet de réconcilier les estimations climatiques du GIEC avec les observations marégraphiques reste toutefois controversée. Bien qu'une l'incertitude subsiste pour les décennies précédentes, il semble clair néanmoins que depuis le début des années 1990, la mer a monté avec une vitesse supérieure.

La figure 7 compare les taux d'élévation du niveau de la mer entre 1993 et 2003 mesurés par Topex/Poseidon avec ceux causés par l'expansion thermique. Les dérives du niveau de la mer observées et calculées se ressemblent de manière frappante. En terme de moyenne globale, la dilatation thermique de l'océan apparaît comme la cause principale de la hausse du niveau de la mer observée au cours de la dernière décennie.



*Fig.7 : Distribution géographique des dérives du niveau moyen global de la mer entre 1993 et 1998 : (a) mesurées par Topex/Poseidon, et (b) calculées à partir de mesures in situ de température de la mer.*

Les échanges d'eau entre les continents et l'océan constituent un autre facteur influant sur le niveau de la mer. Les échanges d'eau au sein de l'hydrosphère terrestre sont des phénomènes complexes qui jouent un rôle majeur sur la variabilité du climat. Ces échanges se réalisent par évaporation, précipitation et apport d'eau par les fleuves. L'eau évaporée sur l'océan peut être stockée dans l'atmosphère ou transportée par la circulation atmosphérique au-dessus des régions continentales où elle précipite sous forme d'eau ou de neige. Sur les continents, l'eau est stockée dans divers réservoirs : lacs et mers intérieures, manteau neigeux, eau des sols, nappes souterraines, fleuves, zones d'inondation. Les contributions de chacun de ces réservoirs aux variations du niveau de la mer ne sont pas identiques et dépendent de l'échelle de temps considérée. Ainsi à l'échelle de temps saisonnière, la contribution principale du cycle annuel moyen de la mer (après correction de l'expansion thermique) provient des fluctuations de la masse neigeuse (qui varie en épaisseur et en étendue) et à un moindre degré, de l'eau des sols. Des séries temporelles globales de masse du manteau neigeux et d'eau contenue dans les couches superficielles du sol (humidité) et dans les réservoirs souterrains ont été produites par quelques équipes de recherche à travers le monde. Ces

données ne sont pas issues directement d'observations. S'il existe quelques rares régions sur la planète disposant de réseaux de mesure in situ, il n'y a pas encore d'observations globales de la distribution et des variations temporelles de la masse d'eau des sols et des nappes souterraines. Il existe des données d'épaisseur du manteau neigeux issues de la télédétection spatiale mais celles-ci sont peu précises. Les seules informations disponibles pour l'instant sur les eaux continentales sont essentiellement basées sur des modèles hydrologiques sophistiqués, décrivant les relations complexes entre précipitations, évaporation, ruissellement, eau stockée dans le sol et dans le manteau neigeux. La plupart des modèles disponibles ne décrivent que le cycle saisonnier. Quelques modèles récents tentent néanmoins de décrire les fluctuations interannuelles. Ces produits de modèles peuvent être utilisés pour estimer la contribution des eaux continentales à la dérive du niveau de la mer. Ainsi, au cours des deux dernières décennies, les changements des stocks d'eau dans les réservoirs continentaux ont eu une contribution positive au niveau de la mer, de l'ordre de 0.15 mm/an.

La fonte des glaces continentales constitue une autre source de hausse du niveau de la mer.

On observe depuis plusieurs décennies un recul général des glaciers de montagne. Une compilation récente des bilans de masse de près de 300 glaciers continentaux montre que la fonte des glaciers a entraîné une hausse du niveau de la mer de 0.3 mm/an depuis 1965. Des résultats récents sur les bilans de masse des glaciers d'Alaska et de Patagonie indiquent des contributions supplémentaires de 0.14 mm/an et 0.10 mm/an respectivement. Au total la fonte des glaciers de montagne a contribué pour environ 0.5 mm/an à l'élévation du niveau de la mer des 3-4 dernières décennies, avec peut-être une accélération au cours depuis le début des années 1990.

D'autres résultats récents sur les bilans de masse des calottes polaires, basés sur la télédétection spatiale au cours des années 1990, montrent une fonte significative de certaines régions du Groenland et de l'Antarctique de l'Ouest, de 0.13 mm/an et 0.16 mm/an respectivement. Ainsi la fonte des glaces continentales, en particulier au cours des dernières années, a entraîné une hausse du niveau de la mer de près de 0.8 mm/an.

Si on ajoute à cette estimation la petite contribution des eaux continentales (environ 0.15 mm/an), on estime à environ 1 mm/an la hausse du niveau de la mer due aux échanges d'eau avec les réservoirs de surface. Cette valeur, surtout représentative de la dernière décennie, pose une nouvelle énigme : puisque la hausse du niveau de la mer mesurée par Topex/Poseidon depuis 10 ans s'explique pour l'essentiel par la dilatation thermique de l'océan, quel phénomène compense la hausse supplémentaire de 1 mm/an due aux glaces et eaux continentales ? La séquestration de l'eau sur les terres émergées, résultant des activités humaines (construction de barrages et irrigation), est peut-être la cause de cette compensation. Une étude récente suggère en effet que les activités anthropiques pourraient conduire à faire baisser le niveau de l'océan, à une vitesse d'environ 0.95

mm/an. Bien que très incertaine, cette estimation apparaît du bon ordre de grandeur pour équilibrer la hausse de 1 mm/an due aux échanges d'eau avec les continents.

## **6. La hausse du niveau de la mer dans le futur**

Une conséquence importante du changement climatique prédit pour les prochaines décennies est l'élévation du niveau des océans. Des estimations théoriques sont régulièrement proposées par les climatologues, sur la base de différents scénarios d'élévation de la température moyenne du globe en réponse à l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre. Les nouvelles projections présentées dans le dernier rapport du GIEC prévoient, vers 2100, une élévation moyenne globale du niveau de la mer comprise entre 10 et 80 cm, avec une valeur médiane de 40 cm. Ces projections indiquent que la dilatation thermique des océans liée au réchauffement de l'eau de mer sera l'effet dominant, suivi par la fonte des glaciers continentaux. Si la contribution du Groenland à l'élévation du niveau de la mer est prévue positive, celle de l'Antarctique reste incertaine, en raison du comportement encore mal compris de la région Est-Antarctique, en réponse au réchauffement climatique. Les modèles climatiques indiquent aussi une variabilité régionale importante du taux d'élévation, toutefois moins importante que celle observée par Topex/Poseidon au cours de la dernière décennie. On peut noter par ailleurs un très grand désaccord entre les variations régionales prédites par ces modèles, signe que la complexité des phénomènes à l'origine des variations du niveau de la mer n'est pas encore totalement maîtrisée.

Avec l'allongement des séries temporelles de mesures altimétriques fournissant les variations absolues du niveau de la mer avec une haute résolution spatio-temporelle, on peut espérer détecter pour la première fois un des effets du changement climatique, non seulement en terme de moyenne globale mais aussi à l'échelle régionale et locale. Le successeur de Topex/Poseidon, Jason-1 a été mis en orbite en décembre 2001. Grâce à ces observations destinées à assurer une surveillance continue de l'océan, la mesure précise et globale de l'évolution du niveau de la mer, important indicateur du changement climatique, sur une échelle de temps de plusieurs décennies, est devenue aujourd'hui un objectif accessible. Ces données constituent des conditions aux limites extrêmement précieuses pour les modèles climatiques ayant pour objectif de prédire l'évolution future du niveau des océans.

## **7. L'altimétrie radar par satellite, un nouvel outil pour la mesure du niveau des eaux continentales**

Les eaux continentales représentent seulement 0,65% du montant total de l'eau sur Terre alors que 97% restent stockées dans les océans et 2,15% dans la cryosphère. Cependant, les eaux continentales ont un impact important sur la vie terrestre et les besoins domestiques. Elles jouent

également un rôle majeur dans la variabilité climatique. L'eau sur Terre est continuellement recyclée par les précipitations, l'évaporation et l'écoulement à la mer. La description de plus en plus précise du cycle de l'eau sur les terres émergées, permet une meilleure prévision du climat et un contrôle affiné des ressources en eau de la planète (consommation et activités humaines tels que l'agriculture, l'urbanisation, l'énergie hydroélectrique...)

Aujourd'hui, les radars altimètres mesurent avec une grande précision (quelques centimètres) la hauteur instantanée de la surface océanique sous la position du satellite. Une telle précision, conjuguée avec une répétitivité régulière et une couverture globale, ont conduit à des résultats révolutionnaires sur la dynamique des océans et l'évolution du niveau moyen des mers.

Bien que non optimisées pour l'étude des surfaces continentales, les missions altimétriques se sont aussi révélées très utiles pour la mesure de la topographie des calottes glaciaires et plus récemment des niveaux des eaux de surface (lacs, mers fermées, fleuves) en milieu continental. Pour les étendues d'eau de grande dimension,  $>1000 \text{ km}^2$ , (mers fermées comme l'Aral, la Caspienne ou les grands lacs) où les conditions de mesure sont très proches de celles du milieu océanique, l'altimétrie spatiale fonctionne bien et fournit des hauteurs d'eau précises, de l'ordre de quelques cm.



*Fig.8 : Image de la mer d'Aral prise par satellite en novembre 2000. Depuis les années 1960, le volume de la mer d'Aral a diminué de 80%, son niveau a baissé de 18 m et ses rivages ont reculé de*

plusieurs dizaines de km. Cette réduction dramatique des eaux de la mer d'Aral résulte du détournement des deux fleuves le Syr et l'Amou qui déversaient la totalité de leur eau dans la mer jusque dans les années 1960. Depuis cette date, l'eau des fleuves est utilisée pour irriguer les terres agricoles, en particulier les champs de coton.

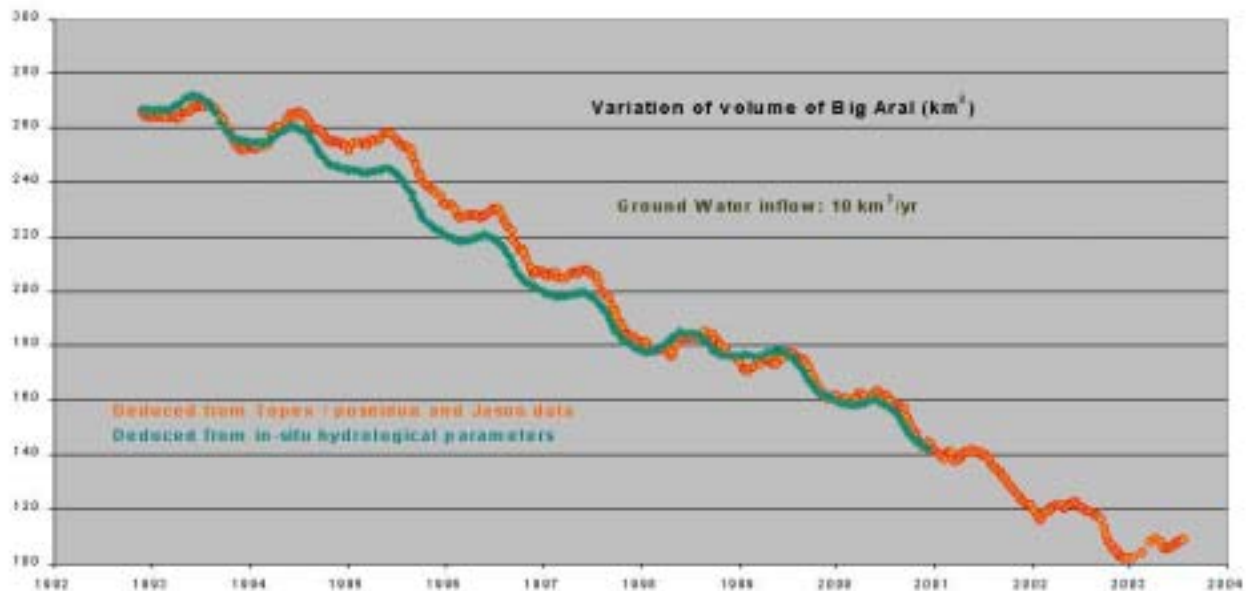
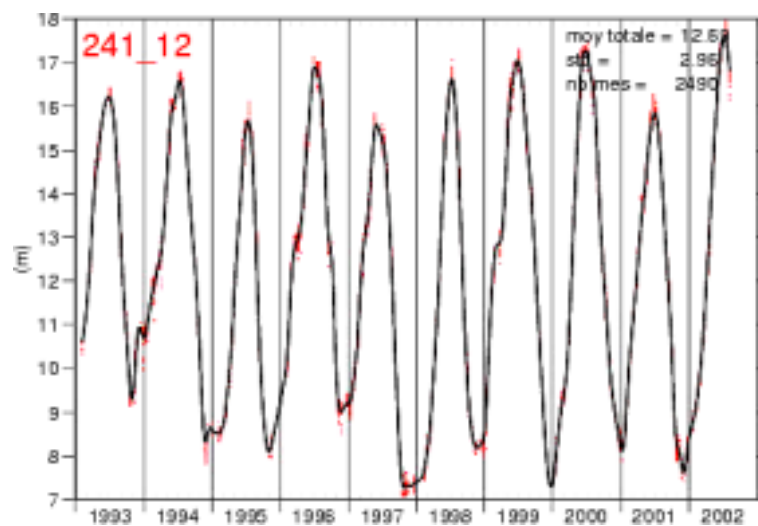
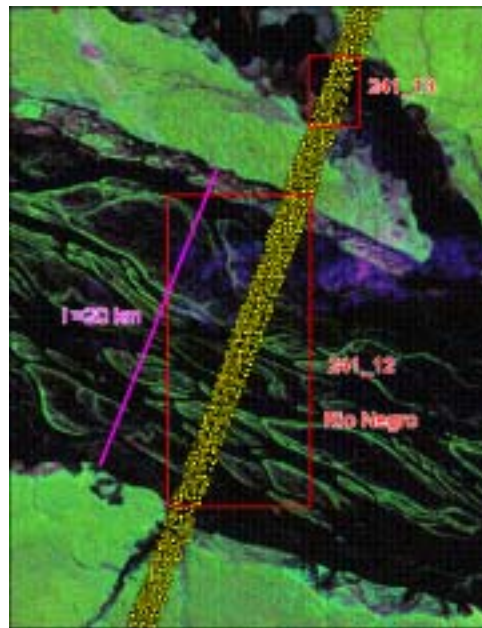


Fig. 9 : Variations temporelles d u volume d'eau de la grande Aral (bassin sud) déduites des mesures de hauteur d'eau de Topex/Poseidon depuis 1993. Entre 1993 et 2003, le niveau de la mer a baissé de 4 mètres.

Sur des plans d'eau de plus petite dimension (lacs, cours d'eau), la mesure altimétrique est moins précise en raison de l'altération de la forme de l'écho radar. Néanmoins les études menées récemment montrent qu'il est possible de construire des séries temporelles (~ 10 ans) de niveaux d'eau sur plusieurs grands fleuves du monde comme l'Amazone, le Parana (Amérique du Sud), l'Ob (Sibérie), le Gange et le Mékong.



*Fig.10 Image satellite du fleuve Rio Negro dans le bassin de l'Amazonie sur laquelle est superposée un trace du satellite Topex/Poseidon. La courbe du bas montre la série temporelle des hauteurs d'eau du fleuve (d'après Topex/Poseidon), construite à partir des mesures correspondant à l'intersection du fleuve et de la trace,.*

Au cours du siècle dernier, les services hydrologiques nationaux ont mis en place des réseaux hydrographiques in situ (stations de mesures de hauteur d'eau et de débit des cours d'eau) dans le but de mesurer des ressources en eau de leur pays. Cependant, depuis environ deux décennies, on observe une diminution préoccupante des réseaux d'observation (voir figure ci-dessous), notamment dans les pays en développement, malgré un accroissement important de la population mondiale, donc d'une augmentation de la demande en eau.

L'altimétrie spatiale apparaît à présent comme un nouvel outil pour surveiller les eaux de surface des terres émergées. Les satellites altimétriques Topex/Poseidon, Jason, ERS et Envisat, assurent un quadrillage relativement serré des grands bassins fluviaux de la planète. A l'intersection des traces du satellite avec le fleuve (ou ses affluents), il est possible d'établir des séries temporelles du niveau d'eau sur plusieurs années (la figure 10 montre les variations, mesurées par Topex/Poseidon, du niveau du fleuve Rio Negro situé dans le bassin amazonien. Le fleuve subit d'importantes fluctuations saisonnières liées au régime des pluies sur la région). Pourvu que le cours d'eau ne soit pas trop encaissé et qu'il soit suffisamment large (~1 km), la précision des hauteurs d'eau déduites des observations altimétriques a pu être estimée à environ 20 km, valeur tout à fait acceptable lorsque les fluctuations de niveau ont une amplitude de plusieurs mètres, comme c'est le cas pour le fleuve Amazone par exemple. Ces nouvelles observations issues de l'espace ont d'importantes perspectives d'application ; par exemple, l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur l'hydrologie de surface, l'estimation de certains paramètres hydrodynamiques tels le débit et la pente du cours d'eau, le suivi des ressources en eau ou encore l'utilisation comme contraintes indépendantes permettant d'améliorer les modèles de prédictions de crues.