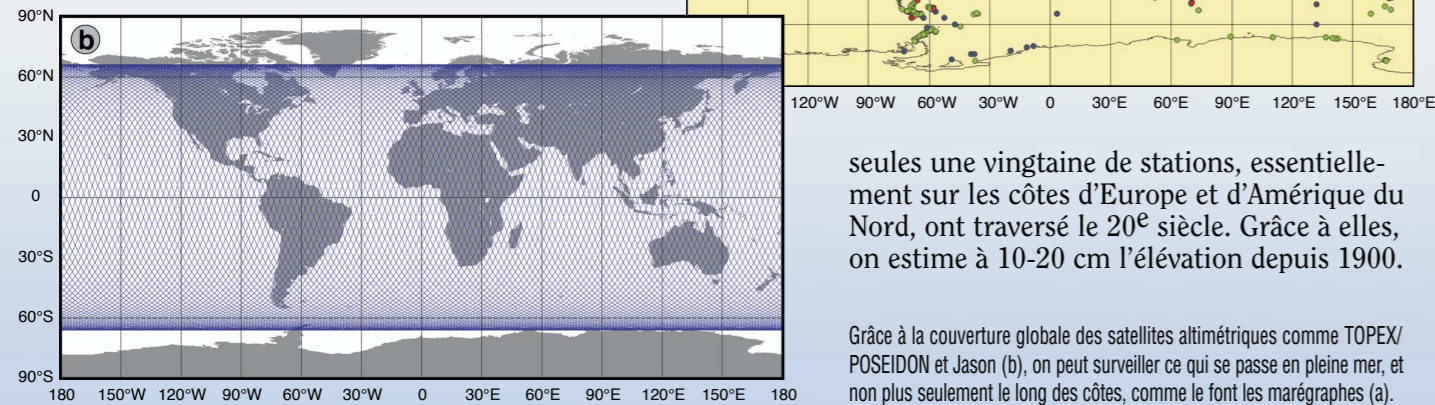


Un niveau globalement en hausse

Tous les indices le prouvent, depuis au moins un siècle le niveau moyen global des océans est en hausse. De quelques mesures isolées vers 1900, on est passé à la couverture globale des satellites altimétriques, permettant une estimation précise de cette élévation, actuellement de 2,5 millimètres par an.

Des mesures anciennes, mais peu nombreuses

Les premières mesures de niveau de la mer datent du 18^e siècle, et sont issues de la surveillance des marées. Mais, si le réseau des marégraphes est aujourd'hui relativement dense,

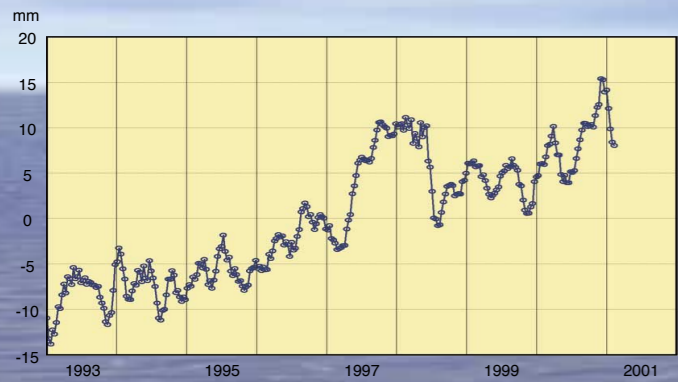


seules une vingtaine de stations, essentiellement sur les côtes d'Europe et d'Amérique du Nord, ont traversé le 20^e siècle. Grâce à elles, on estime à 10-20 cm l'élévation depuis 1900.

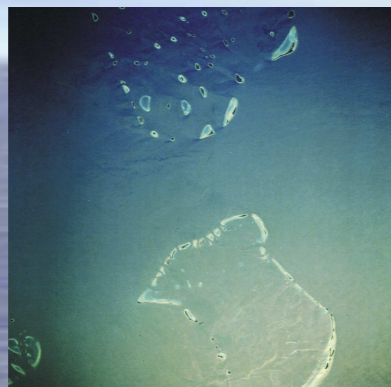
Grâce à la couverture globale des satellites altimétriques comme TOPEX/POSEIDON et Jason (b), on peut surveiller ce qui se passe en pleine mer, et non plus seulement le long des côtes, comme le font les marégraphes (a).

L'océan au millimètre près

Les satellites altimétriques ont permis, depuis le début des années 1990, de couvrir tous les océans en continu. TOPEX/POSEIDON surveille ainsi en permanence les variations du niveau de la mer avec une précision de l'ordre de 0,5 millimètres par an. Ces mesures montrent une élévation du niveau moyen global des océans de 2,5 millimètres par an depuis 1993.



Variations du niveau moyen de la mer mesurées par TOPEX/POSEIDON.



Les Maldives. Ce type d'île, culminant souvent à moins d'une dizaine de mètres au-dessus du niveau de la mer, est parmi les plus menacées par l'élévation du niveau de la mer.

Des régions menacées

Les zones littorales, où vit une part importante de la population mondiale, sont vulnérables à une montée du niveau des océans. Les conséquences d'une élévation importante de la mer dans ces zones de faible altitude sont diverses : submersion permanente, inondations à répétition, accélération de l'érosion des falaises et des plages, accroissement de la salinité des estuaires et contamination des nappes phréatiques d'eau douce par le sel...

Le niveau monte... mais pas partout

L'élévation du niveau des océans est loin d'être uniforme. En fait, si, dans certaines régions océaniques, la mer a effectivement monté (jusqu'à 20 millimètres par an par endroits), dans d'autres elle a baissé d'une quantité équivalente. Ces "dérives" régionales, observées par TOPEX/POSEIDON depuis 1993, reflètent principalement des fluctuations du niveau de la mer sur plusieurs années.

L'Amazone, un fleuve sous surveillance

L'Amazone, plus grand système fluvial du monde, est assez mal connu, car largement inaccessible à des mesures in situ. Les satellites altimétriques sont maintenant utilisés pour surveiller les variations de son niveau, les zones d'inondation permanentes ou temporaires, etc. Des lacs artificiels, comme celui de Balbina, sont également observés.

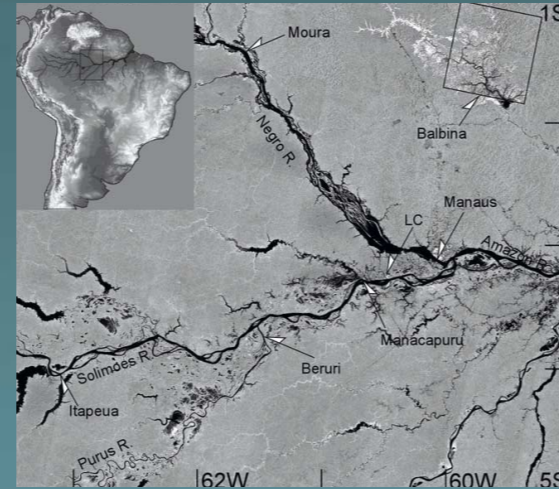
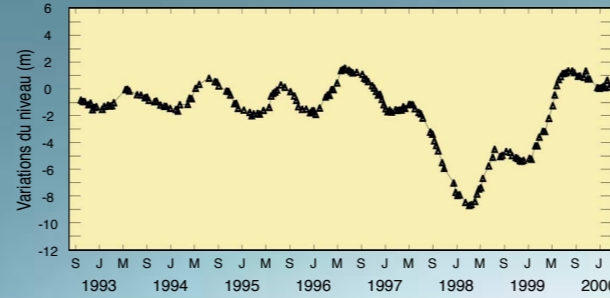
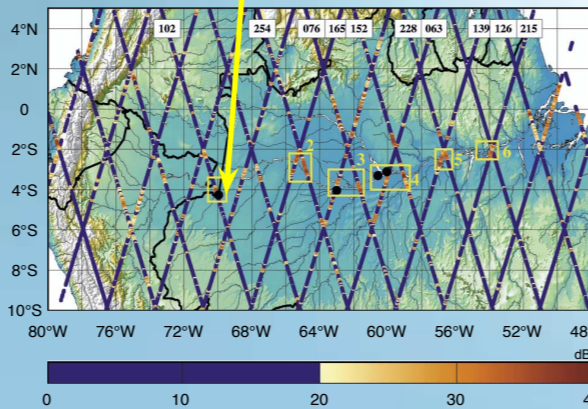
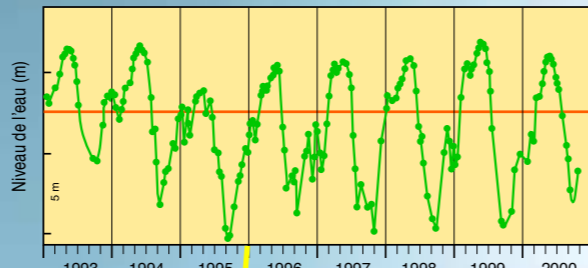


Image radar du bassin de l'Amazone

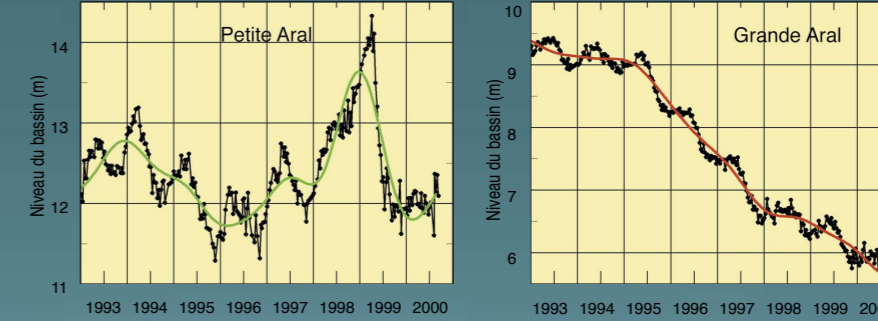
Variations du niveau du lac de barrage de Balbina. En particulier, durant le très important épisode El Niño de 1997-98, une sécheresse sur le Nord-est du continent fait chuter ce niveau de façon notable, provoquant également des feux de forêt (programme international LBA).



Variations du niveau d'eau depuis 1993 en amont du fleuve Amazone (rivière Solimoes), sur la trace TOPEX/POSEIDON n°102



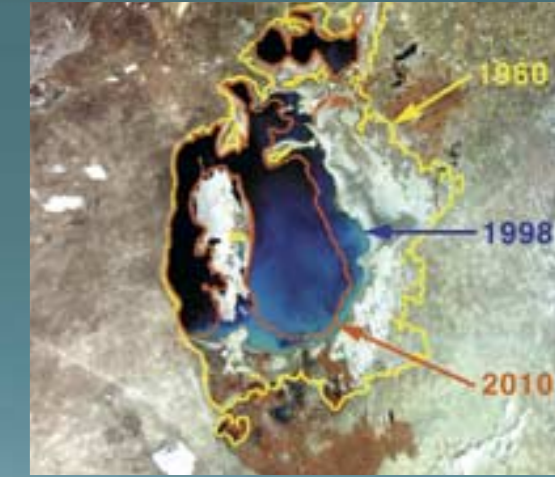
Traces au sol TOPEX/POSEIDON au-dessus du bassin de l'Amazone. Les points en jaune et rouge indiquent les zones inondées, sur lesquelles l'onde radar de l'altimètre se réfléchit bien.



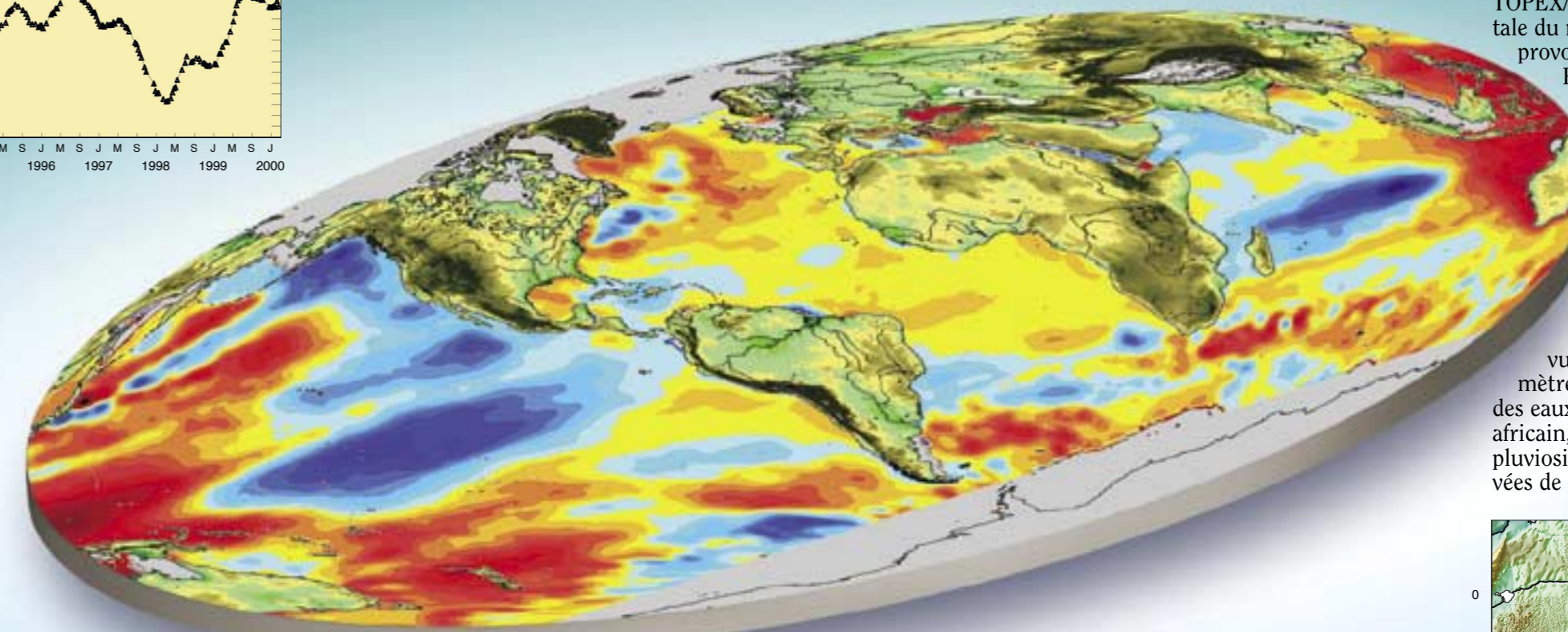
La Mer d'Aral, ses deux bassins actuels (la Petite Aral, au nord, et la Grande Aral, au sud), et les variations de leur niveau.

La Mer d'Aral, une baisse dramatique

Le niveau de la Mer d'Aral a diminué de 17 mètres depuis le début des années 60. Cet assèchement résulte du détournement des deux fleuves qui l'alimentent pour l'irrigation des champs de coton. La Mer d'Aral est à présent séparée en deux bassins, la Grande Aral,



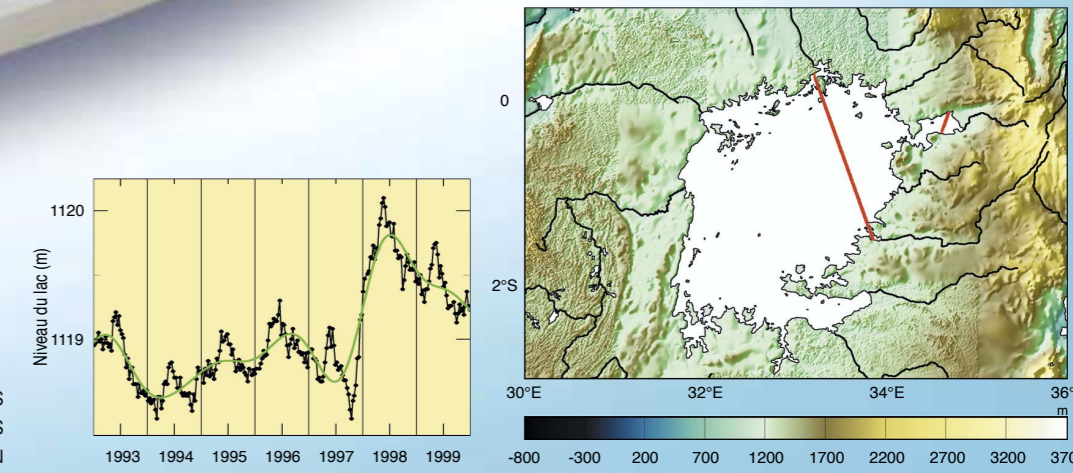
au sud, et la Petite Aral, au nord. Entre 1996 et 1999, on a assisté à une remontée de la Petite Aral, après la construction d'une digue entre les deux bassins. En 1999, TOPEX/POSEIDON observe une baisse brutale du niveau de ce bassin : la digue a cédé, provoquant le déversement des eaux de la Petite Aral dans la Grande.



Carte des dérives du niveau de la mer entre 1993 et 2000, d'après TOPEX/POSEIDON

Des lacs remplis par les pluies

Le lac Victoria (Afrique de l'Est) a vu son niveau augmenter de près d'un mètre entre 1997 et 1998. Cette montée des eaux, qui a touché tous les lacs de l'Est africain, est liée à une augmentation de la pluviosité, due à des températures plus élevées de l'Océan Indien durant cette période.



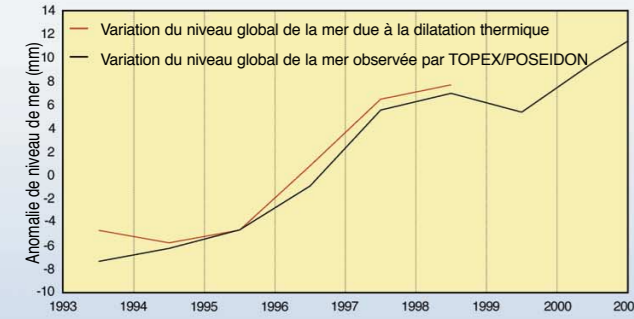
Le lac Victoria (en rouge, traces au sol TOPEX/POSEIDON) et les variations de son niveau

Les sources de l'élévation

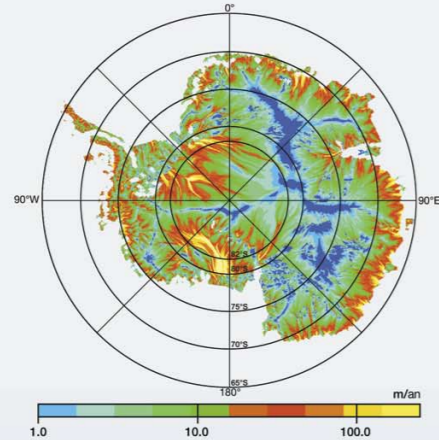
Les variations du niveau moyen global, comme celles, plus locales, des lacs et mers fermées sont, pour la plupart, liées aux fluctuations du climat. Une tendance générale à l'élévation du niveau se dégage ainsi, en liaison avec le réchauffement climatique de la Terre.

Variations de température

Les variations du niveau des mers suivent de près les changements de température de l'eau. L'eau se dilate en chauffant, ce qui provoque une augmentation de son volume, et donc une élévation du niveau. Les océans réagissent ainsi en quelques années à un réchauffement climatique.



Les variations de température de l'océan expliquent presque totalement les variations du niveau moyen global mesurées par TOPEX/POSEIDON depuis 1993.



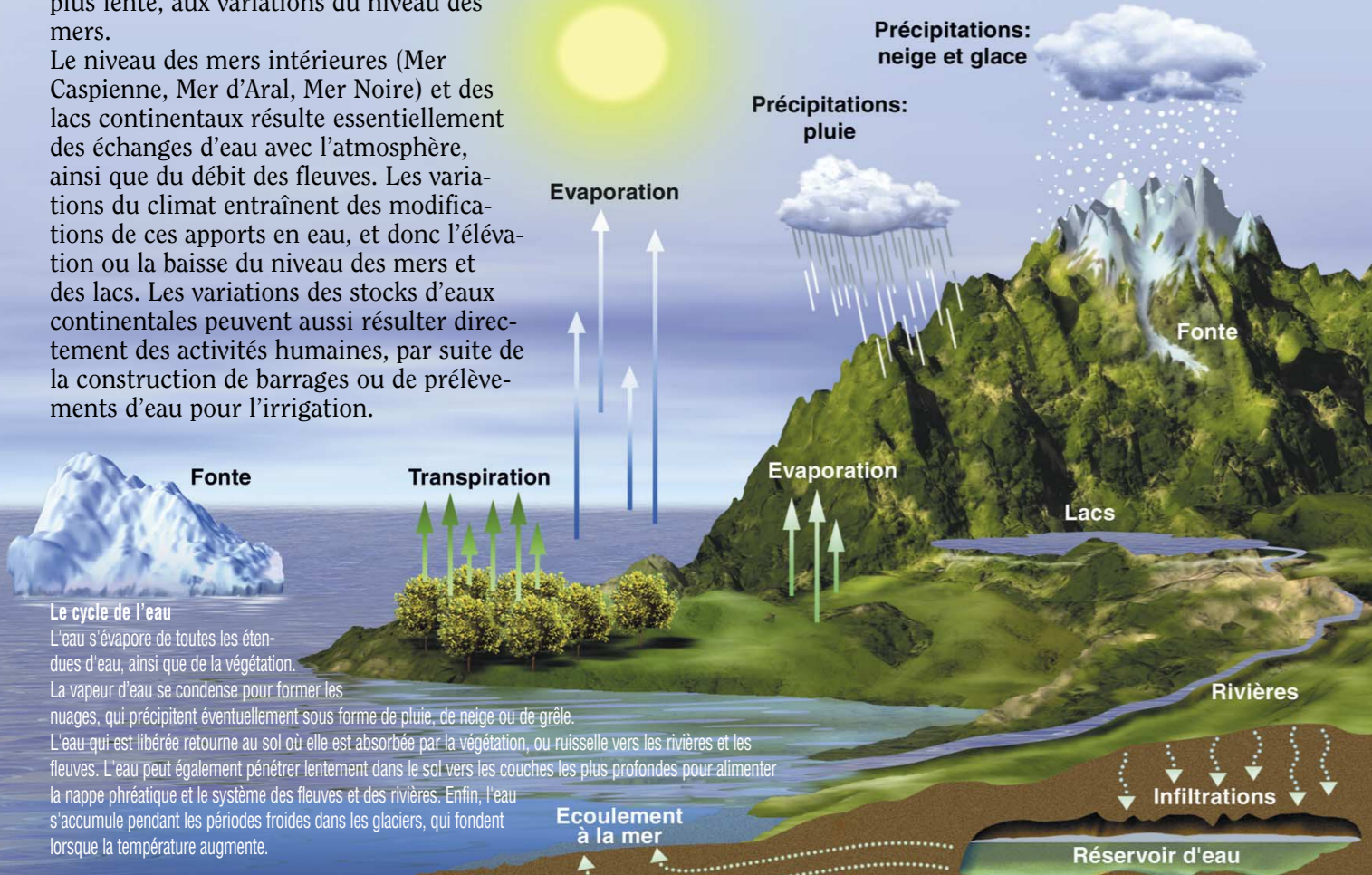
Vitesses d'écoulement des glaces en Antarctique, déduites des mesures de topographie d'ERS-1. On observe des "fleuves" de glace extrêmement rapides (jusqu'à 1 km/an, vitesse comparable à celle des glaciers alpins ou andins) qui remontent très en amont vers l'intérieur du continent.

Des variations de masses des calottes polaires (Groenland et Antarctique) ont aussi une influence sur le niveau de la mer. Pour l'instant, l'augmentation des chutes de neige liée à l'élévation de la température semble, au moins temporairement, compenser une fonte accrue sur les côtes. Par contre, la plupart des glaciers de montagne régressent actuellement. Leur fonte a contribué de façon significative à l'élévation du niveau de la mer observée au cours du 20^e siècle.

Echanges d'eau

D'autres facteurs contribuent, de façon plus lente, aux variations du niveau des mers.

Le niveau des mers intérieures (Mer Caspienne, Mer d'Aral, Mer Noire) et des lacs continentaux résulte essentiellement des échanges d'eau avec l'atmosphère, ainsi que du débit des fleuves. Les variations du climat entraînent des modifications de ces apports en eau, et donc l'élévation ou la baisse du niveau des mers et des lacs. Les variations des stocks d'eaux continentales peuvent aussi résulter directement des activités humaines, par suite de la construction de barrages ou de prélèvements d'eau pour l'irrigation.

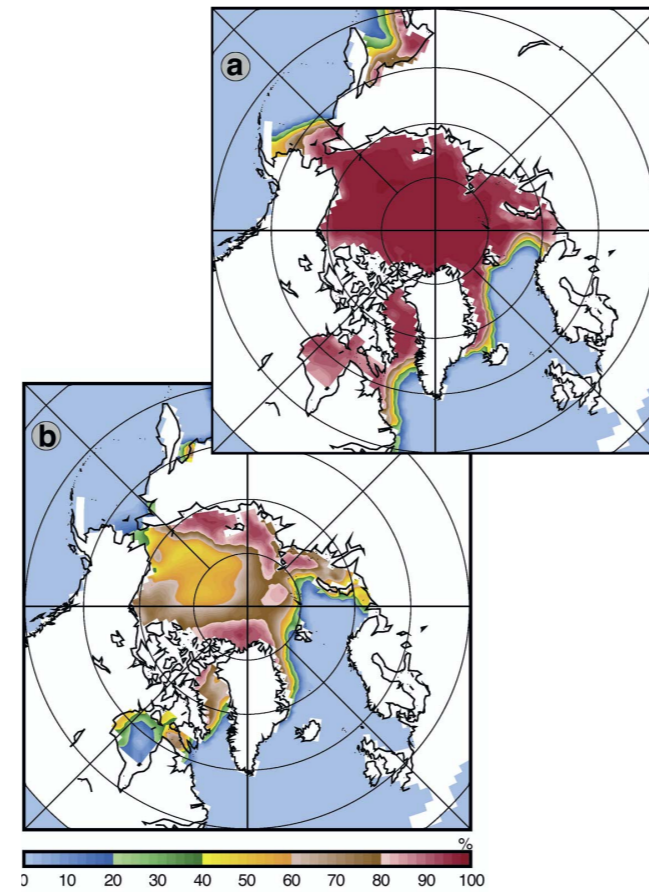


Le cycle de l'eau
L'eau s'évapore de toutes les étendues d'eau, ainsi que de la végétation. La vapeur d'eau se condense pour former les nuages, qui précipitent éventuellement sous forme de pluie, de neige ou de grêle. L'eau qui est libérée retourne au sol où elle est absorbée par la végétation, ou ruisselle vers les rivières et les fleuves. L'eau peut également pénétrer lentement dans le sol vers les couches les plus profondes pour alimenter la nappe phréatique et le système des fleuves et des rivières. Enfin, l'eau s'accumule pendant les périodes froides dans les glaciers, qui fondent lorsque la température augmente.

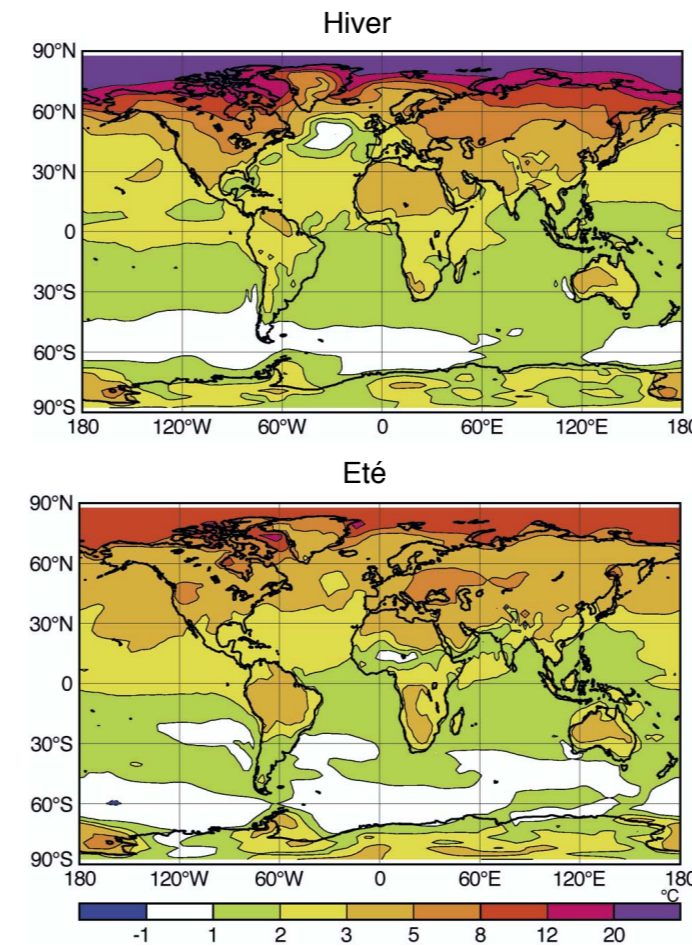
Les prévisions climatiques à long terme

La question de l'évolution future du niveau des mers, étroitement liée à celle du climat, est essentielle aujourd'hui. Des modèles de prévision climatiques à long terme sont mis au point pour y répondre.

L'élévation du niveau de la mer est une importante conséquence du réchauffement climatique observé depuis quelques décennies. Les modèles d'évolution du climat prédisent que la température moyenne de la planète continuera à croître au cours du prochain siècle, en réponse à l'augmentation probable de la concentration des gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, vapeur d'eau) dans l'atmosphère terrestre. Ces modèles prédisent qu'à l'horizon 2100, le niveau moyen global de la mer sera plus haut qu'aujourd'hui d'environ 40 cm, avec toutefois une marge d'erreur importante de 20 cm. Mais tous prédi-



Pourcentage moyen de la surface de l'Arctique couverte par la glace de mer en mars pour les périodes 1950-1979 (a) et 2070-2099 (b) calculée par modèle climatique. Le réchauffement est ici amplifié par les modifications de la réflexion de la lumière solaire : la décroissance de la couverture de glace diminue le pouvoir réfléchissant de la surface en été. Ceci a pour effet d'augmenter la quantité d'énergie solaire absorbée par l'océan superficiel et par conséquent de retarder la formation de glace hivernale.



Carte du changement de température en surface pour la période 2070-2099 par rapport à 1961-1990, en hiver et en été, calculée par le modèle climatique de Météo-France. Sur certaines zones, la température pourrait augmenter de 10°C, alors qu'ailleurs elle reste stable. Ceci s'explique en partie par une modification de la circulation océanique (diminution du transport d'eau chaude en provenance de l'équateur).

sent que cette élévation ne sera pas uniforme : la mer montera plus vite dans certaines régions que dans d'autres. Cependant, il subsiste encore d'importants désaccords entre les modèles sur ces variations régionales du niveau de la mer au cours des prochaines décennies. En même temps que les efforts pour modéliser les conséquences du réchauffement climatique sur le niveau de la mer, la surveillance permanente et globale des océans par les satellites altimétriques se poursuit.

Pour plus d'information :

AVISO/Altimétrie : <http://www-aviso.cnes.fr>
Changement climatique (IPCC) : <http://www.ipcc.ch/>

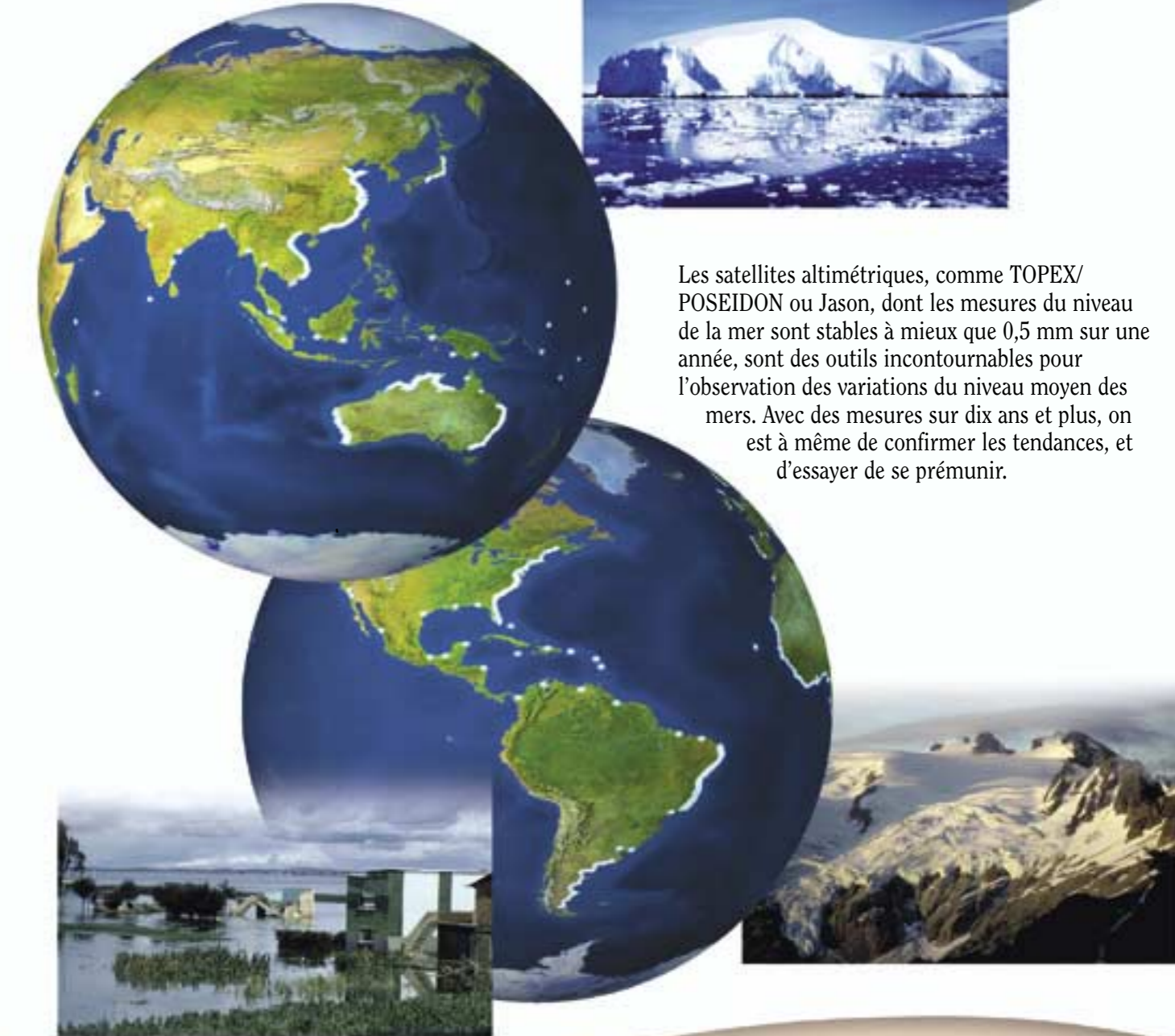
Sources :

CLS, CNES, CNRM/Météo-France, CNRS/LEGOS, IPCC, NASA/GSFC, UCLA/D. Alsdorf

L'observation des océans par satellite

Les altimètres relèvent le niveau

Aurons-nous bientôt les pieds dans l'eau ? Le niveau moyen global des mers est en train de monter, en liaison avec le réchauffement climatique, et menace les régions les plus basses du globe. Plus localement, sur certaines mers ou certains lacs, comme la Mer d'Aral, c'est l'assèchement qui inquiète les riverains. Quelles que soient les tendances, ces variations de niveau ont des conséquences non négligeables, humaines, écologiques, et économiques qu'il faut anticiper.



Les satellites altimétriques, comme TOPEX/POSEIDON ou Jason, dont les mesures du niveau de la mer sont stables à mieux que 0,5 mm sur une année, sont des outils incontournables pour l'observation des variations du niveau moyen des mers. Avec des mesures sur dix ans et plus, on est à même de confirmer les tendances, et d'essayer de se prémunir.