

Introduction :

Le 6 janvier, comme tous les premiers mardis du mois, le Club des Argonautes se réunissait. Contrairement aux habitudes, nous n'étions pas dans les locaux du Bureau des Longitudes mais au domicile d'Erik Orsenna. Nous devions en effet discuter de son prochain livre, "Portrait du Gulf Stream", ainsi que d'un autre projet qui verra peut-être le jour et dont nous vous reparlerons, s'il en plait au comité de rédaction d'Arc en Ciel.

En début de séance Raymond Zaharia, tout excité, nous annonçait une surprise. Après avoir installé son PC portable et le projecteur adéquat, il nous projetait les images que vous verrez plus loin et qu'il venait d'obtenir de nos collègues de CLS (Collecte et Localisation par Satellites), une filiale du CNES et de l'IFREMER qui, depuis quelques années, préfigure ce qu'un "Service Public à l'échelle mondiale", dans ce qu'il a de meilleur, pourrait être... Avant d'aller plus loin, nous nous devons de citer les noms de P.Y. Le Traon, M. Ablain, et P. Vincent qui nous ont fait parvenir un document¹ qui est la base du présent article. Qu'ils soient donc remerciés ici !

Leur travail, juste après le désastre, venait de mettre en évidence la trace du tsunami du 26 décembre sur les mesures donnant les variations du niveau de la mer. Dans le droit fil des réflexions du Club, la discussion s'engageait aussitôt, sur l'énorme intérêt, pour la protection des personnes et des biens, de ces mesures. Nous étions envahis par le regret, sinon la révolte, de voir l'effet d'un manque de vision à long terme et le résultat de la pression permanente pour la réduction des dépenses publiques, notamment lorsqu'il s'agit de prévention.

Que des gouvernements, et parfois des responsables de l'Observation de la Terre à partir de l'espace, puissent priver la communauté scientifique et surtout l'ensemble de la population mondiale, de données utiles pour la science comme pour la société, nous est apparu, ce jour là, encore plus absurde que d'habitude ! La continuité de service de satellites, construits initialement pour l'exploration de notre planète, n'est en aucune façon assurée, bien qu'ils aient montré au fil des années leur rôle irremplaçable pour la surveillance de l'environnement et la diminution des risques, naturels ou anthropiques.

Ce coup de colère passé nous revenions à des considérations plus immédiates et c'était l'occasion d'expliquer à notre hôte la signification et l'intérêt de la mesure des variations du niveau de la mer.

Le tsunami vu de l'espace

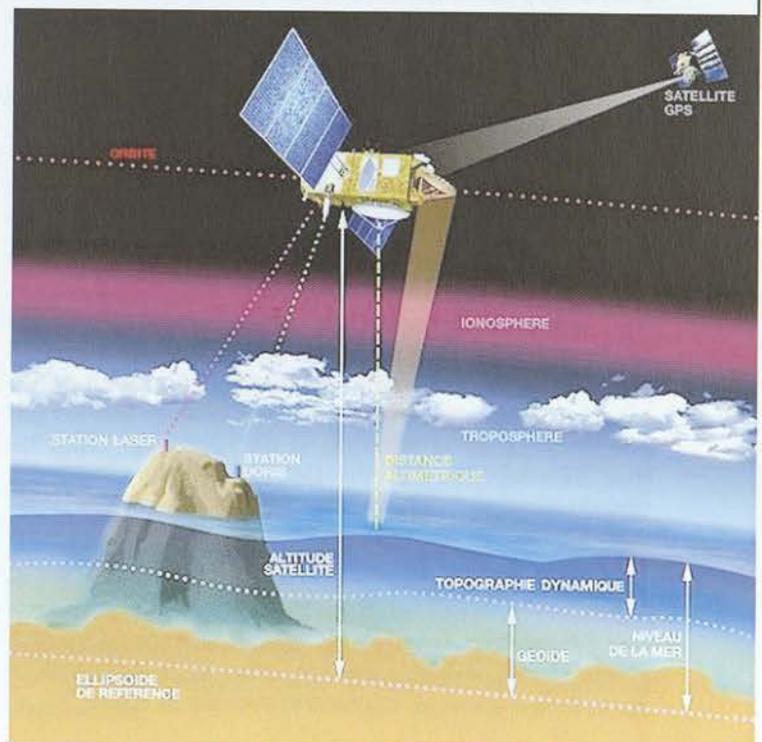
La mesure du niveau de la mer.

La topographie dynamique, ou encore hauteur dynamique, (sous-entendu du niveau de la mer), permet d'accéder à l'information intégrée sur toute la hauteur de la colonne d'eau. C'est une grandeur intégrale qui joue, pour l'océan, le même rôle que la pression atmosphérique en météorologie.

Comment la mesure-t-on ?

Un altimètre radar, embarqué sur le satellite, émet vers le nadir un train d'impulsions. Cette onde radioélectrique se réfléchit à la surface de la mer et revient au satellite. Par mesure du temps aller-retour du signal, on détermine l'altitude de l'antenne du radar au-dessus de la surface de la mer. Si l'on connaît, à l'aide de mesures indépendantes de trajectographie, l'orbite du satellite, notamment son altitude au-dessus d'une référence, (arbitrairement choisie), on peut, par addition de 2 vecteurs, accéder aux ondulations de la surface de la mer par rapport à cette référence. Sachant que le satellite effectue une mesure altimétrique le long de son orbite tous les 5 à 7 km, et que les traces de l'orbite sur la surface terrestre peuvent être espacées de quelques dizaines de km, on voit que l'altimétrie spatiale permet de cartographier directement, avec une très haute résolution, les ondulations de la surface marine. La figure 1 illustre ce principe de mesure.

Figure 1. Principe de la mesure altimétrique:



¹ Le Tsunami de l'Océan Indien observé par altimétrie satellitaire. P.Y. Le Traon, M. Ablain, (CLS, Direction Océanographie Spatiale), et P. Vincent (CNES, puis IFREMER, depuis mars 2005).

On peut ainsi obtenir une mesure du niveau moyen de la mer et de ses variations. La figure 2 donne une telle image. (les zones en rouge ou en blanc correspondent aux "Courants de bords Ouest", bien connus des familiers de l'équilibre géostrophique, tandis que les zones en bleu ou en magenta sont des "provinces océaniques" beaucoup moins énergétiques...)

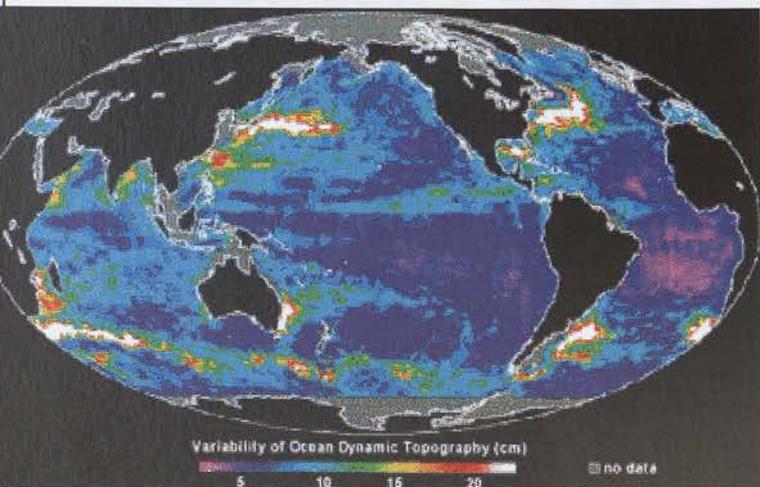


Figure 2. Exemple de cartographie de l'océan

L'altimétrie radar a été développée dans les années 1970 pour étudier les océans. Après "une manip probatoire" sur Skylab (1972), suivie des quelques semaines de l'éphémère Seasat (1980), ou des mesures, encore grossières, de GEOS, ce n'est qu'en 1985 qu'un altimètre a été mis en orbite et a livré une première série de mesures significatives (GEOSAT, lancé par les Etats Unis). En 1991, ERS-1 est mis en service par l'Europe. Quelques mois plus tard (août 1992), le lancement de TOPEX-Poséidon (CNES-NASA), sur une orbite non héliosynchrone, (choisie pour limiter le "bruit" que constituent les marées), marque l'avènement de l'altimétrie de haute précision et une véritable révolution dans l'étude des océans. Le "Tandem" constitué par TOPEX-Poséidon + ERS1&2, (puis leurs successeurs respectifs Jason-1 + Envisat), a en effet permis des avancées considérables dans la connaissance de la dynamique des océans et leur rôle dans l'évolution du climat.

Comme TOPEX-Poséidon, Jason-1, (ou son successeur Jason-2 qui ne sera lancé qu'en 2008, au plus tôt), est conçu exclusivement pour restituer le relief de la surface océanique: Il mesure avec une précision de l'ordre du centimètre le niveau local des mers, paramètre très sensible aux fluctuations de la circulation océanique, et des transports d'énergie et de matière associée.

Pour mieux comprendre les efforts faits pour améliorer la précision des mesures altimétriques, il faut se rappeler qu'un centimètre de dénivellation peut dénoter un courant moyen de 1 à 7 millions de tonnes par seconde (selon la latitude), à comparer au débit du gulf stream, 90 millions de tonnes par seconde, devant le cap Hatteras.

Lorsque 2 satellites placés sur des orbites différentes, travaillent en "tandem", comme par exemple TOPEX-Poséidon (T/P) et ERS (1 ou 2...) d'une part, et Jason-1 et Envisat d'autre part, on obtient une meilleure précision, (conséquence directe, d'un sous échantillonnage moins sévère), comme le montre la figure 3:

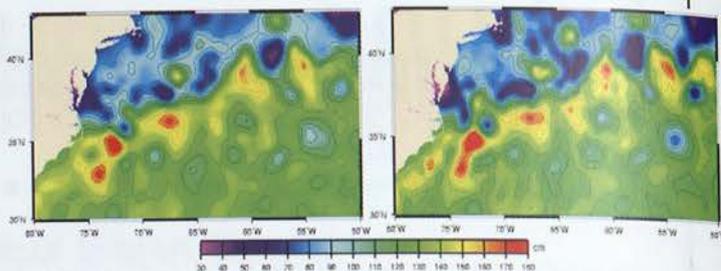


Figure 3. Topographie dynamique dans la région du Gulf Stream, le 5 décembre 1999. À gauche, données T/P seules, à droite T/P + ERS-2. On observe un bien meilleure résolution des tourbillons, nombreux dans ce courant

D'autres associations sont possibles, mais la présence d'un minimum de deux satellites altimétriques, (dont au moins un sur l'orbite non héliosynchrone qui permet la haute précision: T/P hier, Jason-1 aujourd'hui, Jason-2 à partir de 2008...), est nécessaire pour bien cartographier l'océan et suivre ses mouvements, en particulier aux échelles de 100 à 300 km.

Compte tenu de ce qui précède, on peut imaginer que le vol simultané de plusieurs satellites, équipés de radars altimétriques, peut permettre de voir un phénomène tel qu'un tsunami. C'est exactement ce qui s'est passé lors de l'épisode dramatique du 26 décembre 2004.

Le Tsunami du 26 décembre 2004.

Le tsunami.

Le 26 Décembre 2004 vers 1 H TU un séisme crée un mouvement entre la plaque Indo-Australienne et celle de Burma. La plaque Indo-Australienne s'enfonce de plus de 20 m sur une longueur de plus de 500 km sous la plaque de Burma qui se déplace verticalement de plusieurs mètres. Ce mouvement provoque le soulèvement d'une masse d'eau sur plusieurs centaines de km. L'onde ainsi créée se propage ensuite à la vitesse de près de 700 km/h en plein océan. A l'approche des côtes, quand la profondeur de l'océan diminue, l'onde se ralentit à 20 à 30 km/h et son amplitude augmente (pour des raisons de conservation d'énergie). En quelques heures, le tsunami atteint les côtes et provoque la terrible catastrophe que l'on connaît.

La configuration des satellites.

La configuration d'observation par altimétrie était unique. Quatre satellites en vol (Jason-1 et T/P du CNES et de la NASA, ENVISAT de l'Agence Spatiale Européenne et GFO de l'US Navy). Une telle couverture est nécessaire pour le suivi et la prévision de la circulation océanique. Elle est malheureusement loin d'être garantie pour le futur. Cette configuration a permis d'observer ce phénomène difficilement détectable en plein océan. En effet, il est très rapide et le signal attendu, de l'ordre de 5 à 10 cm sur des longueurs d'onde de 100 à 200 km, se superpose à d'autres signaux océaniques (par exemple liés aux courants marins).

Dans le cas présent, Jason-1 et T/P fonctionnaient en formation tandem avec des mesures au sol sur des traces parallèles distantes de 150 km. Ces deux satellites ont survolé le milieu de l'océan Indien deux heures après le séisme. Le signal observé est excep-

tionnel par son amplitude (plus d'un mètre en plein océan) sur plusieurs centaines de km. C'est la première fois que l'on peut ainsi observer le signal d'un tsunami de façon aussi nette. Le signal est aussi visible sur une trace d'ENVISAT, plus au sud, un peu plus de 3 heures après le séisme.

Les observations.

La figure 4 donne les traces au sol des satellites Jason-1 (en haut) et T/P (en bas) et montre le résultat de la simulation du tsunami par le modèle du CEA au moment du passage des satellites (2 heures après le séisme).

On notera que le niveau de la mer observé par Jason et T/P (en rouge) est exceptionnel en comparaison des signaux observés le long de traces voisines n'ayant pas survolé le tsunami (autres couleurs).

La figure 5 montre le même résultat pour ENVISAT qui a survolé la région plus de 3 heures après le séisme

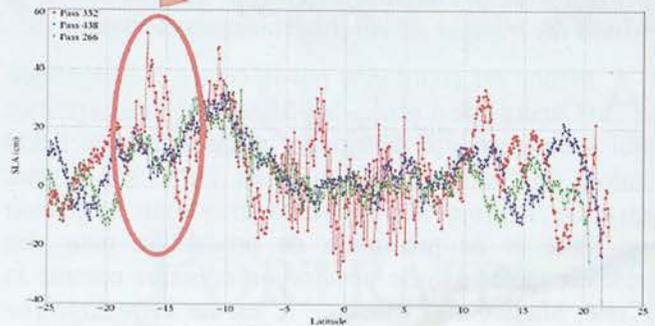
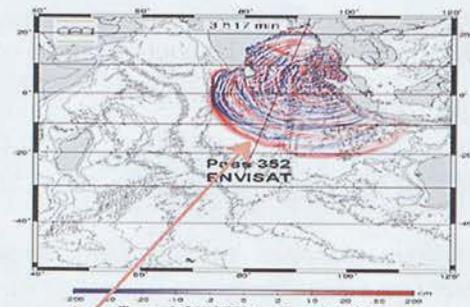


Figure 5.

c'est le cas depuis longtemps en météorologie et plus récemment en océanographie, s'appuyer sur des systèmes d'observation à long terme et des équipes opérationnelles de chercheurs et d'ingénieurs chargés de l'analyse et de la modélisation. C'est la «Géoscopie» que l'un de nos collègues du Club des Argonautes, Michel Lefèbre, préconise. C'est aussi ce à quoi l'Europe doit se préparer via le système GMES. Elle devrait être le moteur pour la mise en place, un peu sur le modèle de ce qui fut fait avec la Veille Météorologique Mondiale, d'une Veille Géoscopique Mondiale, embryon d'un service public international au bénéfice des passagers que nous sommes du vaisseau Terre.

Pour en savoir plus :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Tsunami>

<http://www.clubdesargonautes.org/actualites/news.htm#0105>

<http://www.clubdesargonautes.org>

• Jean Labrousse •

• Raymond Zaharia* •

Figure 4.

Perspectives.

Pour la première fois, on a obtenu des observations «nettes», en plein océan, d'un tsunami. Bien entendu les études se poursuivent pour mieux caractériser les signaux liés au tsunami (amplitude, longueur d'onde, vitesses de propagation, dissipation) et suivre sa propagation dans d'autres bassins (par exemple en Atlantique).

Ces résultats montrent cependant que, dès maintenant, la question de la contribution de l'altimétrie à un système d'alerte est posée. Il est important de rappeler ici que la couverture par altimétrie reste très insuffisante pour y contribuer de façon significative. Les observations altimétriques sont, par contre, essentielles pour améliorer la modélisation de la propagation des ondes et de leurs effets dévastateurs.

Ces travaux illustrent bien l'importance d'un suivi multidisciplinaire de la planète Terre, qui doit, comme

* Raymond Zaharia est diplômé de l'Institut d'Optique de Paris. Après quelques années passées dans un Laboratoire de Physique, il a effectué la majeure partie de sa carrière d'ingénieur au CNES et dans l'industrie. Il s'est, entre autres, occupé d'Océanographie Spatiale, dans l'équipe "Programmes d'Observation de la Terre" d'Alain Ratier, l'actuel Directeur général adjoint de Météo France. Aujourd'hui retraité, il a été un élément moteur dans la création du Club des Argonautes.