



Jason-2 avec WSOA

Observation de l'océan avec un altimètre à large fauchée

L-L. Fu, E. Rodriguez
NASA/JPL, USA
Lee-Lueng Fu - E-mail : llf@pacific.jpl.nasa.gov

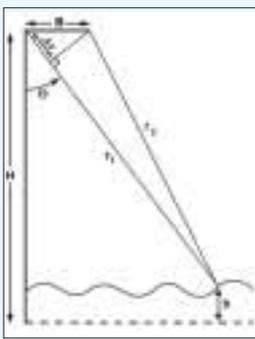


Figure 1. Géométrie de l'interférométrie radar

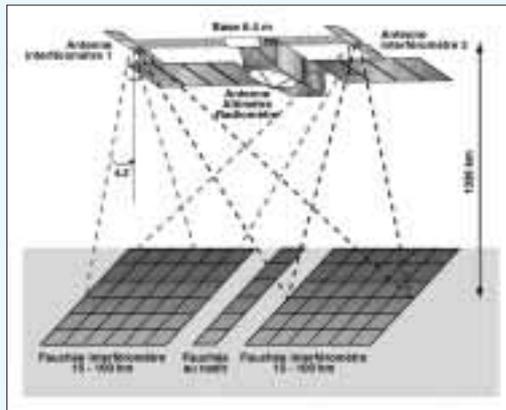


Figure 2. Principe de fonctionnement de l'instrument WSOA pour effectuer des mesures avec une fauchée de 200 km.

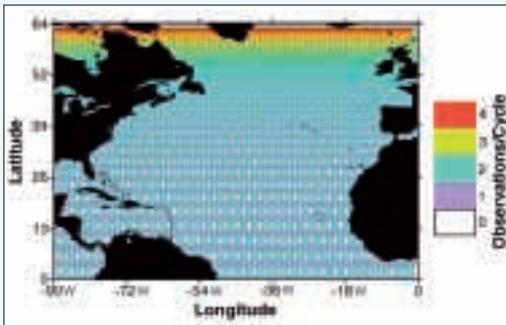


Figure 3. Carte de couverture de WSOA montrant le nombre d'observations par cycle de dix jours avec une fauchée de 200 km.

Un radar altimétrique satellitaire donne des profils de hauteur de mer sous la trace au sol du satellite avec une résolution spatiale de 6 à 7 km. Cette mesure permet d'extraire des informations sur les courants océaniques de surface et le champ de gravité marin. Cependant, cette mesure essentiellement unidimensionnelle ne permet pas d'obtenir une image complète du champ vectoriel des courants océaniques et des anomalies de gravité. Seules la composante de la vitesse de courant de surface perpendiculaire à la trace (cross-track) et la composante de l'anomalie de gravité parallèlement à la trace (along-track) ont été échantillonnées par des observations altimétriques. Afin de cartographier la hauteur de mer en deux dimensions avec des résolutions comparables, un nouveau type d'instrument radar a été mis au point au JPL en utilisant le principe de l'interférométrie radar. Les nouvelles mesures seront effectuées avec une fauchée de 200 km, fournissant une image de la hauteur de mer au lieu d'un profil. Ce nouvel instrument est appelé altimètre à large fauchée (WSOA, Wide Swath Ocean Altimeter). Le lecteur trouvera une information plus détaillée dans Fu [2003]. Cet article propose simplement un bref résumé.

Principe de mesure et conception de la mission

WSOA mesure le retard relatif entre les signaux réfléchis par l'océan et émis vers deux

antennes séparées par une « base d'antenne. » Les distances mesurées à partir des deux antennes forment avec la base d'antenne un triangle qui peut être utilisé pour déterminer la position de la cible dans le plan d'observation (figure 3). Le triangle de mesures est formé par la base d'antenne B et les distances de la cible aux deux antennes, r_1 et r_2 . La base d'antenne est connue par la configuration et la construction de l'instrument et on connaît l'altitude du satellite. La distance r_1 est déterminée par la mesure du temps de trajet de l'onde. La différence de distance entre r_1 et r_2 est déterminée en mesurant la différence de phase relative F entre les deux signaux. La différence de phase est liée à la différence de distance Δr par l'équation $\phi = 2\pi\Delta r/\lambda$, dans laquelle λ est la longueur d'onde du radar. Les autres informations nécessaires pour déterminer la position de la cible – l'angle d'incidence θ , peuvent être obtenues par la différence de distance selon la relation $\phi = 2\pi B \sin(\theta)/\lambda$. Avec ces mesures, la hauteur h au-dessus d'un plan de référence peut être obtenue par l'équation $h = H - r_1 \cos(\theta)$, dans laquelle H est l'altitude du satellite déterminée par les éphémérides d'orbite.

La figure 2 montre la configuration proposée de WSOA dans une mission altimétrique de la classe Jason, OSTM/Jason-2 dans le cas présent. Avec une base d'antenne déployable de 6,4 m (longueur limitée par les dimensions

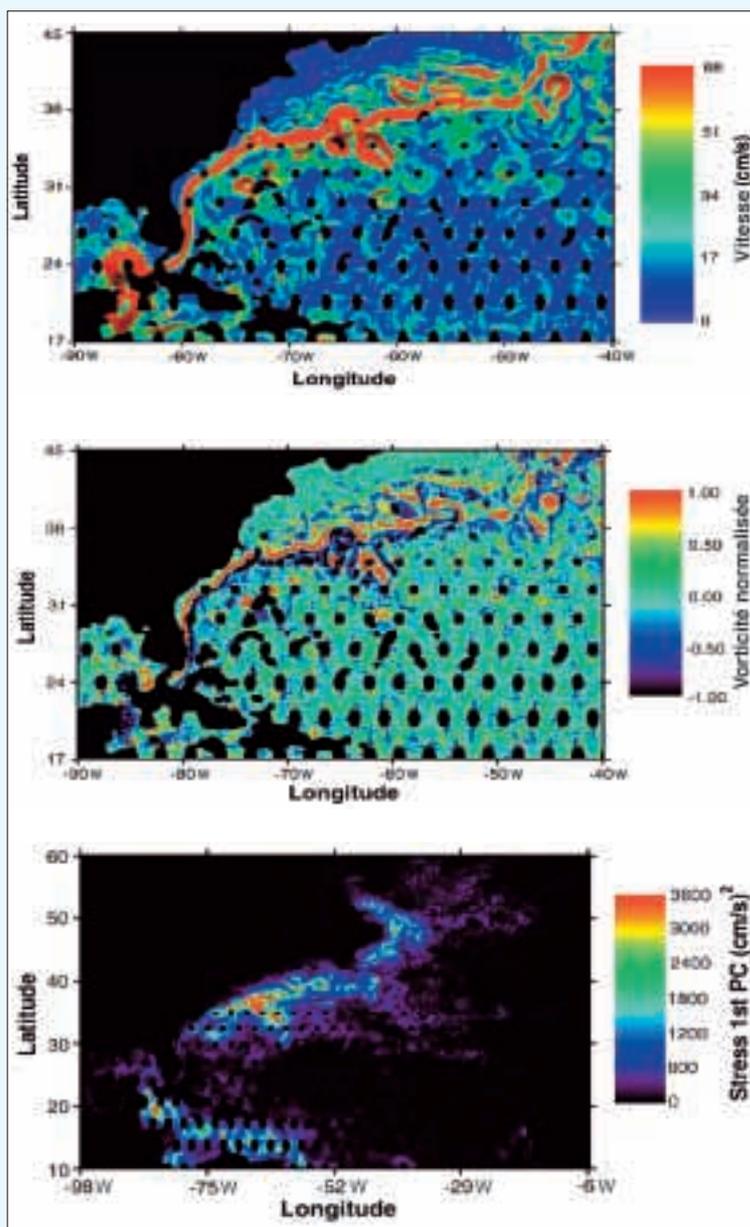


Figure 4. Échantillon de produits de données géophysiques de l'instrument WSOA : (a) vitesse géostrophique ; (b) vitesse géostrophique relative ; (c) tenseur de contrainte de Reynolds.

du satellite Jason), le système d'interférométrie en bande K_a sera intégré dans la charge utile standard de Jason : altimètres en bande K_a et C, un radiomètre trois canaux, un récepteur Doris et un récepteur GPS. Les antennes interférométriques émettent des faisceaux illuminant les deux côtés de la trace au nadir, produisant une fauchée totale de 200 km,

lorsqu'ils sont orientés de façon optimale. Cependant, pour la démonstration en vol de WSOA sur OSTM/Jason-2, il y aura une réduction de la couverture pour prendre en compte des contraintes de pointage de l'antenne.

Performance des mesures

La résolution spatiale de l'instrument est déterminée par la taille des faisceaux d'antenne dans la direction perpendiculaire à la base d'antenne et par la largeur de bande du système (ou résolution intrinsèque en distance) dans la direction parallèle à la direction

de la base d'antenne. Pour le système WSOA, la résolution spatiale est de 11 km, tandis que la résolution intrinsèque en distance va d'environ 500 m pour l'intérieur de la fauchée à environ 100 m pour l'extérieur. Les estimations de la hauteur mesurée pour ces résolutions sont bruitées, et ce bruit est réduit en moyennant toutes les mesures dans une cellule. Les résultats topographiques sont reportés sur une grille à mailles de 15 km. La figure 3 montre la couverture de WSOA dans un cycle de 10 jours. On notera qu'une partie importante de la surface des océans est couverte plus d'une fois sur la période de 10 jours.

La précision des mesures WSOA, avant calibration, est conditionnée par les erreurs systématiques dans la connaissance de la direction de pointage du satellite et la phase du signal. Ces erreurs varient sur l'orbite et ont des signatures géométriques connues. De telles erreurs peuvent être minimisées par calibration en utilisant la mesure altimétrique au nadir qui est insensible aux erreurs de pointage et de phase, ainsi que par calibration en utilisant les différences aux points de croisement entre les mesures ascendantes et descendantes de WSOA. Une expérience de simulation a été effectuée pour estimer la précision de la mesure en se basant sur une hauteur de mer simulée à partir d'un modèle océanique à haute résolution et sur le système de mesure de WSOA incluant l'approche de calibration mentionnée ci-dessus. Les résultats indiquent une erreur RMS de 4-5 cm (augmentant de la limite intérieure vers la limite extérieure de la fauchée) pour les mesures d'une seule passe à 1 Hz.

La figure 4 montre des exemples de grandeur de vitesse et de champs de vitesse relatifs obtenus à partir de données simulées par le modèle océanique. La possibilité de calculer les vecteurs vitesses en chaque point dans la fauchée de WSOA permet de déterminer les



valeurs liées au flux, telles que les contraintes Reynolds. La figure 4 montre un exemple de produit de données potentiel de WSOA.

Les mesures brutes de WSOA ont une résolution de 12 km (limitée par la taille des antennes interférométriques) parallèlement à la trace (cross-radar-look) et de 1 km (limitée par la largeur de bande de transmission et la capacité de la voie descendante) perpendiculairement à la trace (along-radar-look). Dans la majorité des applications océanographiques, les mesures perpendiculairement à la trace sont spatialement moyennées pour réduire les erreurs de mesure et d'obtenir des observations plus précises à des résolutions plus grossières.

Afin de conserver la haute résolution spatiale pour les applications géophysiques, on peut maintenir la résolution de l'instrument de 1 km dans la direction perpendiculaire à la trace pour réduire les erreurs dans l'estimation des pentes de surface constantes dans le temps. Les données résultantes ont une résolution de 1 km dans la direction perpendiculaire à la trace et de 15 km parallèlement à la trace. En raison de l'inclinaison des satellites altimétriques conventionnels, la mesure de la pente de la surface de la mer est beaucoup moins bonne dans la direction perpendiculaire à la trace. Les mesures de WSOA apporteront des améliorations significatives à la connaissance de la composante est-ouest (en gros dans la direction perpendiculaire à la trace pour la plupart des altimètres satellitaires) de la pente de surface de la mer qui est affectée d'une erreur supérieure à 5 microradians à des latitudes inférieures à 50° [Sandwell et al., 2001].

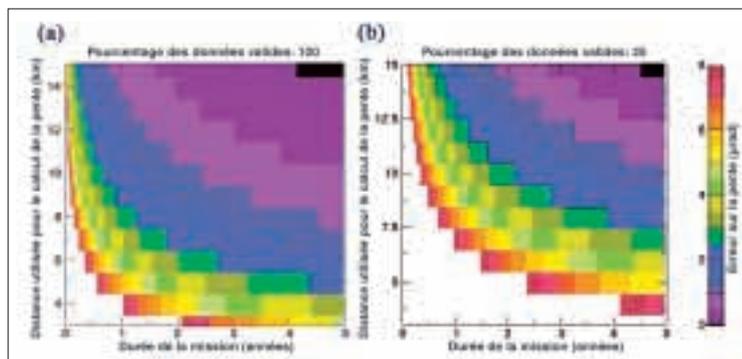


Figure 5. (a) Précision de la pente cross-track en fonction du temps et de la distance moyennés, utilisés pour mesurer la pente. Le paramètre espace qui répond à l'exigence d'un microradian est ombré en mauve. Le paramètre espace qui améliore les mesures de courant est grossièrement donné par la région ombrée en bleu. Cette figure suppose que 100 % des données sont disponibles pour l'estimation des pentes. (b) Comme en (a), mais cette figure suppose que seuls 25 % des données est disponible pour l'estimation de la pente. |

La figure 5a montre la précision de pente attendue en fonction de l'échelle spatiale utilisée pour l'estimation et en fonction du temps d'intégration. Les régions en mauve correspondent aux régions dans lesquelles la précision requise de un microradian est atteinte pour les applications géophysiques [Smith et Sandwell, 2004]. Les régions en bleu correspondent aux régions dans lesquelles les données seraient améliorées par rapport aux données actuellement disponibles. Il est à noter que pour une durée de mission minimale de 2 ans, la longueur d'onde la plus courte pouvant être résolue qui satisfasse aux exigences de précision est ~20 km, mais des améliorations au niveau des données sont observées jusqu'à des longueurs d'onde aussi courtes que ~13 km. Si la durée de mission est de 5 ans, la longueur d'onde la plus courte résoluble répondant aux exigences est ~15 km, mais des améliorations sont observées pour des longueurs d'ondes aussi courtes que ~8 km.

La figure 5a part de l'hypothèse que toutes les données sont disponibles et utilisables pour l'estimation. En réalité, en raison du pilotage en lacet (yaw steering) qui sera appliquée dans la mission OSTM/Jason-2, il est vraisemblable que le nombre de points utiles soit réduit. Selon une estimation pessimiste, nous nous attendons à ce qu'un quart de l'ensemble des points seulement soient utilisables pour l'estimation (cela correspond au pire scénario de yaw steering dans lequel des données sans yaw steering sont nécessaires pour l'estimation de la pente). Dans ce cas, l'erreur de pente estimée est présentée à la figure 5b. La performance après 4 ans pour les cas les moins bons est équivalente à la performance après 2 ans en utilisant toutes les données. Néanmoins, une performance de 2 microradians constituerait encore une amélioration significative dans la connaissance actuelle de la composante est-ouest de la pente de surface de mer.

| Références bibliographiques |

Fu, L.-L. éditeur, 2003 : Wide-Swath Altimetric Measurement of Ocean Surface Topography. JPL Publication 03-002. Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California. 67 pp. (<ftp://ftp-oceans.jpl.nasa.gov/pub/llf/WSOAreportFinal2.pdf>)

Sandwell, D.T., W.H.F. Smith, S. Gille, S. Jayne, K. Soofi, and B. Coakley, 2001 : Bathymetry from space, in Report of the High-resolution Ocean topography Science working Group Meeting, édité par D.B. Chelton, Réf. 2001-4, College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, Orégon, 224 pp., 2001.

Smith, W.H.F. et A.T. Sandwell, 2004 : Conventional bathymetry, bathymetry from space, and geodetic altimetry. Oceanography, Vol. 17, No.3, 8-23.