

Téledétection
Satellite
État de surface
Remote sensing
Satellite
Sea-state

SPOT et l'état de surface de la mer

L. Wald, J.M. Monget
Centre de Télédétection et d'Analyse des Milieux Naturels,
École Nationale Supérieure des Mines de Paris,
Rue Claude-Daunesse, Sophia-Antipolis, 06565 Valbonne Cedex, France.

Reçu le 25/1/82, révisé le 15/5/82, accepté le 28/5/82

RÉSUMÉ

A l'aide du modèle statistique de distribution de facettes de vagues de Cox et Munk (1954), on analyse les capacités offertes par le satellite SPOT pour l'étude de l'état de surface de la mer, dans le domaine de longueur d'onde 800-900 nanomètres. On montre que son excellente résolution radiométrique ainsi que ses possibilités de visée oblique font de SPOT un bon instrument pour l'océanographe physicien.

Oceanol. Acta, 1982, 5, 4, 399-401.

ABSTRACT

SPOT and sea-state

The statistical model of Cox and Munk (1954), for the prediction of the frequency distribution of wave slopes, is used to improve the performance of the 800-900 nm channel of the satellite SPOT for sea-state studies. Although SPOT is essentially designed for land studies, it could prove useful in such exercises because of its good radiometric resolution and the tilting capability of the optical axis of the sensor.

Oceanol. Acta, 1982, 5, 4, 399-401.

LE SATELLITE SPOT

Le but de cette note est de démontrer que les capacités du satellite SPOT peuvent le rendre utile à l'étude de l'état de surface de la mer. Nous verrons que sa bonne résolution radiométrique, ainsi que ses possibilités de visée oblique, en font un outil convenable pour de telles études, et qu'une comparaison avec le satellite LANDSAT, son prédécesseur, tourne à l'avantage de SPOT.

Le système SPOT, conçu par le Centre National d'Études Spatiales, est réalisé par la France en association avec la Belgique et la Suède. Le premier satellite doit être lancé en 1984, sur une orbite quasi-polaire, d'inclinaison égale à 98,7°. La période de passage au-dessus d'un même point sera de 26 jours. SPOT est essentiellement conçu pour l'étude des terres émergées. Il portera en particulier deux capteurs HRV (Haute Résolution Visible), dont la largeur de balayage totale sera de deux fois 60 km. Hormis le canal panchromatique (510 - 730 nm), ce capteur comporte trois canaux, dont deux dans le visible (500 - 590; 610 - 680 nm) et un dans le proche infrarouge (790 - 890 nm). La résolution radiométrique nominale est de 0,5% pour les angles solaires zénithaux

inférieurs à 70°, et la résolution spatiale est d'environ 20 m au nadir. L'une des particularités de SPOT réside dans la possibilité d'orientation de l'axe de visée du capteur de $\pm 26^\circ$, par pas de 0,6°.

LA RÉFLEXION DE LA LUMIÈRE A LA SURFACE DE LA MER

Il a été souligné par de nombreux auteurs, que l'utilisation du domaine proche infrarouge est particulièrement efficace pour l'estimation de la réflectance propre à la surface de la mer (Plass *et al.*, 1975; Viollier *et al.*, 1980). Dans ce qui suit, seules ces longueurs d'onde sont concernées, et notre discussion n'est valide que pour ce domaine.

De même, nous ne parlerons que du rayonnement solaire direct.

Dans le domaine du proche infrarouge et pour les angles solaires zénithaux envisagés, la réflexion de la lumière diffuse du ciel à la surface de la mer peut en effet être négligée (Plass *et al.*, 1975; Wald, Monget, 1982).

La réflexion de la lumière à la surface de la mer est essentiellement due aux vagues capillaires créées par le vent (Cox, Munk, 1954). Vues d'un satellite, ces vaguelettes ne sont pas différenciées. La radiance mesurée de l'espace dans une direction donnée dépendra donc du nombre de facettes de vague contenues dans la surface de mer observée, dont la pente permet une réflexion directe dans cette direction, suivant la loi de Fresnel. Cette distribution statistique des pentes de vague a été étudiée et modélisée par Cox et Munk (1954). Leur modèle permet le calcul du coefficient de réflexion de la surface observée, en fonction des conditions géométriques d'observation, de la position du soleil et de la vitesse du vent, et détermine ainsi la réflectance réfléchie à la surface de la mer.

Après avoir introduit dans ce modèle la présence de l'écume pour les vitesses de vent supérieures à 7 m/s, Wald et Monget (1982) ont calculé cette réflectance réfléchie pour des vitesses de vent de 5 et 14 m/s et pour une grande variété de géométrie satellite/surface de la mer observée/soleil. D'après leurs résultats, nous allons estimer les capacités de SPOT à observer l'état de surface dans le canal 790 - 890 nm. Rappelons tout d'abord la définition de la réflectance spectrale R :

$$R = \frac{\pi L}{E_0 \cos z_0},$$

où L est la radiance mesurée par le satellite, E_0 est la constante solaire spectrale et z_0 l'angle zénithal du soleil.

La position du soleil variant au cours de l'année, les conditions de réflexion varient elles aussi pour un même état de surface. Autrement dit, pour une même distribution statistique des vagues, la réflectance observée par le satellite variera au cours de l'année.

L'ÉTAT DE SURFACE VU PAR SPOT

Sur la figure 1, nous avons tracé les réflectances observables par SPOT au cours de l'année pour un même état de surface. Les deux courbes correspondent à des vents de 5 m/s et 14 m/s. Elles ont été calculées pour la latitude 45°N et un temps solaire moyen de 11 h 30, qui est l'heure solaire à laquelle SPOT survole cette latitude. L'angle solaire zénithal varie de 22 à 69° et l'azimuth de 106 à 117°. L'atmosphère n'est ici pas prise en compte.

L'obliquité de la visée a été ajustée pour chaque point de la courbe de manière à obtenir la plus grande réflectance pour une mer agitée. Ces valeurs d'obliquité sont indiquées sur la figure. L'axe optique est incliné vers la position du soleil.

Une visée oblique augmente le chemin optique et donc la fraction d'énergie absorbée par l'atmosphère, mais cette augmentation n'est que de l'ordre de 1 % de la réflectance et nous l'avons donc négligée.

La figure 1 montre que, pour le cas de SPOT, la réflectance réfléchie par une mer agitée est plus grande que

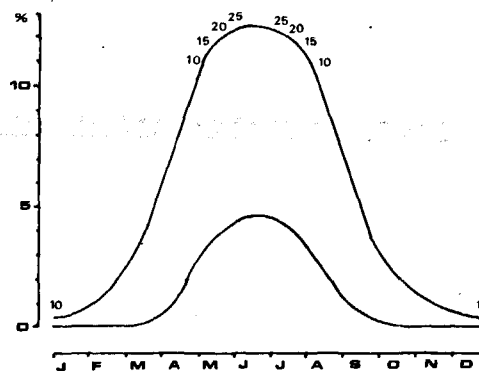


Figure 1

Variation mensuelle de la réflectance observée par SPOT pour divers états de surface. La courbe inférieure correspond à un vent de 5 m/s et la courbe supérieure à un vent de 14 m/s. La latitude utilisée est de 45° N et le temps solaire moyen est 11 h 30. Les nombres portés sur la courbe supérieure indiquent l'angle d'obliquité proposé en degrés.

Glitter reflectance observed by SPOT for a non-absorbing atmosphere throughout the year for various sea-states. The lower curve is for a wind speed of 5 m/sec. and the upper one is for a speed of 14 m/sec. Latitude is 45° N and mean sun time is 11 h 30. Index numbers denote tilting angles in degrees.

celle réfléchie par une mer calme, de même que pour LANDSAT. Quels que soient le satellite et l'état de la mer, le maximum de réflectance a lieu lors du solstice d'été, qui est aussi la période de contraste maximal (fig. 2).

D'après la figure 1, si l'on suppose une transmission atmosphérique de 70 %, le signal réfléchi par une mer calme peut être détecté par SPOT d'avril à septembre (soit environ 150 jours), tandis que le signal réfléchi par une mer agitée peut être détecté de février à fin novembre (soit 290 jours environ).

Ces résultats peuvent être comparés à ceux calculés pour LANDSAT par Wald et Monget (1982) pour la même latitude. Pour ce satellite héliosynchrone, le temps solaire moyen est 10 h 30. L'angle solaire zénithal varie de 28 à 71°, et l'azimuth de 132 à 158°. D'après ces auteurs, en supposant également une transmission atmosphérique de 70%, le signal réfléchi par une mer calme peut être détecté par LANDSAT de mi-

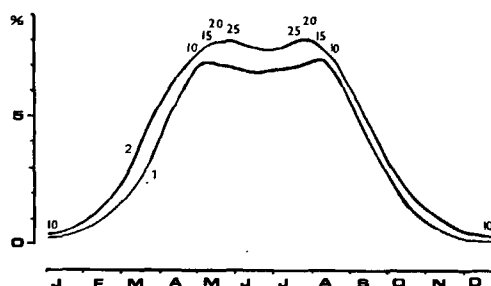


Figure 2

Variation mensuelle de la différence de réflectance entre une mer calme et une mer agitée. La courbe inférieure (1) correspond à une visée verticale de SPOT et la courbe supérieure à une visée oblique (2). Les angles de visée proposés sont indiqués sur la courbe 2. L'atmosphère est totalement transparente, la latitude est 45° N et le temps solaire moyen 11 h 30.

Glitter reflectance contrast between a calm sea (wind speed of 5 m/sec.) and a rough sea (wind speed of 14 m/sec.) throughout the year. Lower curve (1) is for SPOT at vertical sighting and upper curve (2) for SPOT with tilting. Index numbers denote the tilting angles in degrees. Atmospheric transmittance is unity, latitude is 45° N and mean sun time is 11 h 30.

mai à fin juillet (soit environ 80 jours), tandis que le signal réfléchi par une mer agitée peut l'être de mi-mars à mi-octobre (soit 210 jours environ).

Pour une mer calme, le nombre de jours durant lesquels le signal réfléchi par la mer peut être observé est plus grand de 70 jours pour SPOT que pour LANDSAT, et de 80 jours pour une mer agitée. SPOT peut donc être considéré comme un meilleur outil que LANDSAT pour l'étude de l'état de surface de la mer.

Il est enfin possible de tracer la variation mensuelle du contraste de réflectance observée par SPOT entre une mer calme et une mer agitée. Sur la figure 2 sont portées ces variations mensuelles pour une visée verticale (courbe 1) et pour une visée oblique (courbe 2). Les angles d'obliquité sont ceux utilisés pour la figure 1. En supposant une transmission atmosphérique de 70 %, cette différence peut être détectée par SPOT de mi-février à novembre (environ 260 jours) pour une visée verticale et de début février à fin novembre (290 jours environ) pour une visée oblique. Comparé à LANDSAT, le nombre de jours où cette différence est observable par SPOT est supérieur d'environ 40 jours pour une visée verticale et supérieur d'environ 70 jours pour une visée oblique.

La connaissance de la variation mensuelle de cette différence est extrêmement utile dans les études de pollu-

tion par hydrocarbures en mer, puisque le coefficient de réflexion des nappes d'hydrocarbures est approximativement le même que celui d'une mer calme.

Nous venons de montrer que grâce à sa résolution radiométrique ainsi que grâce à sa possibilité de dépointage de l'axe optique du capteur HRV, le satellite SPOT est un bon outil pour l'étude de l'état de surface de la mer. Bien que peu d'études de ce genre aient été faites en regard du très grand nombre de scènes LANDSAT disponibles, il est à penser que les performances de SPOT, nettement supérieures à celles de LANDSAT, vont éveiller un nouvel intérêt dans ce domaine de recherche.

RÉFÉRENCES

- Cox C., Munk W., 1954. Statistics of the sea surface derived from sun glitter, *J. Mar. Res.*, 13, 2, 198-227.
- Plass G. N., Kattawar G. W., Guinn J.A. Jr., 1975. Radiative transfer in the earth's atmosphere and ocean : influence of ocean waves, *Appl. Opt.*, 14, 8, 1924-1936.
- Viollier M., Tanre D., Deschamps P. Y., 1980. An algorithm for remote sensing of water color from space, *Bound. Layer Meteorol.*, 18, 247-267.
- Wald L., Monget J. M., 1982. Remote sensing of the sea state using the 0.8-1.1 microns spectral band, *Int. J. Remote Sensing* (sous presse).