

Surveiller la mer depuis l'espace

Partie 1 : bases physiques

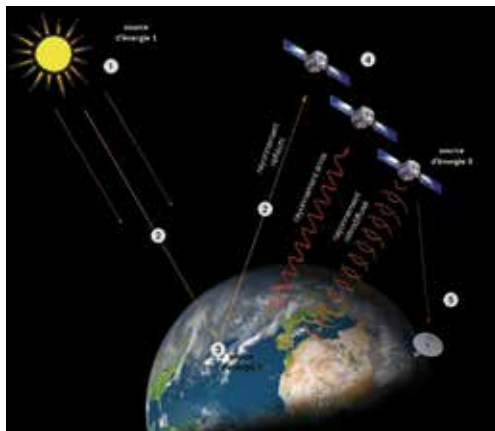
Le sujet de la surveillance maritime à l'aide de l'une des technologies y autorisant : la télédétection par voie spatiale et pseudo-spatiale, c'est-à-dire l'observation à distance de la terre et de la mer en haute altitude fait l'objet de deux articles produits à la suite dans le présent Tai Kona numéro 21 puis dans le 22.

Le présent article offre les bases fondamentales sur ce qu'est la télédétection et les différents comportements spectraux des cibles marines et maritimes observées.

Le second article, en rappelant les enjeux divers de la surveillance maritime, notamment en Nouvelle-Calédonie : contrôle des activités en mer, des routes et des risques, des pêches illégales, des trafics divers..., mais aussi surveillance environnementale des milieux naturels de leurs évolutions à long terme, d'impacts de catastrophes natu-

relles, d'aménagements divers... évoquera le cas particulier calédonien et les perspectives possibles d'actions et de projets.

Ces deux articles complètent, en ces divers sens, celui sorti dans le numéro 19 de Tai Kona, intitulé « Geospatial Cloud Computing et technologie QëhnelöTM ».



Rappels sur l'observation à distance de la terre (télédétection) et sur les comportements spectraux de la surface de la mer.

1. La télédétection

On appelle télédétection (remote sensing en anglais) dans son acception la plus large, l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour l'acquisition d'informations et la détermination des caractéristiques d'un objet ou d'un phénomène par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié.

La télédétection se caractérise donc par une plateforme qui porte un ou plusieurs capteurs, les capteurs en tant que tels, le format des données acquises (mesure ponctuelle, transect, image), la transmission des données et la restitution de celles-ci.

Dans ce qui suit nous considérerons uniquement les plateformes de type spatiales (satellites) ou pseudo-spatiales (drones stratosphériques).

Nous distinguerons également :

- la télédétection passive, celle où le capteur récupère un signal émis par l'objet ou le phénomène observé, qui est soit issu de la réflexion de la lumière solaire sur celui-ci soit par l'émission propre de cet objet ;
- la télédétection active où le capteur émet lui-même un signal en direction de l'objet et en reçoit alors un signal en retour.



2. Portions du spectre électromagnétique utilisables

Les capteurs passifs ou actifs sont eux-mêmes spécifiques à une portion du spectre électromagnétique qui va de l'ultra-violet aux hyperfréquences, dans lequel ils travaillent (figure 1 et figure 2).

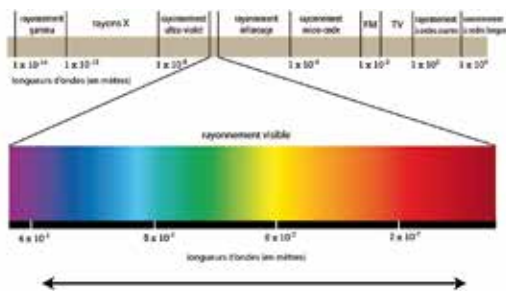


Figure 1 : spectre électromagnétique des très courtes longueurs d'onde (rayons Gamma) aux très longues (ondes radio) et portion de ce spectre accessible aux capteurs de télédétection spatiale et pseudo spatiale qui va des UV (ultra-violet en dessous de 400 nm) aux micro-ondes ou hyperfréquences, jusqu'à 1 mètre de longueur d'onde en passant par le visible entre 400 nm (indigo-violet) et le rouge (jusqu'à 800 nm), puis l'IR (Infra-rouge, proche moyen et thermique) entre 800 nm et 1 mm.

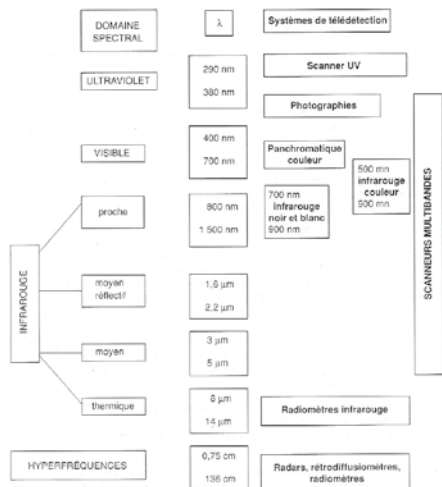


Figure 2 : spectre électromagnétique et systèmes de télédétection

Puisque notre sujet est la surveillance maritime l'objet principal d'étude sera de caractériser la surface de la mer et/ou d'une certaine tranche d'eau.

Précisons donc dans ce qui suit le comportement spectral de cet objet privilégié d'étude : la surface de la mer et sa proche sub-surface.

On distinguera dans ce qui suit trois grandes portions du spectre électromagnétique : a) le visible et l'infrarouge proche, b) l'infrarouge thermique, c) le domaine des micro-ondes et les deux modes d'observation à distance : passive et active pour discuter des propriétés, soit de la masse d'eau elle-même, soit de sa surface, accessibles et mesurables par télédétection.

Plus spécifiquement, et dans l'ordre de leurs présentations, ces propriétés fondamentales de la masse d'eau et de sa surface, accessibles par observation à distance, concernent :

- la profondeur de la masse d'eau (bathymétrie),
- la couleur de l'eau,
- la température de surface,
- la salinité de surface,
- l'état de surface,
- la qualité de la surface

Considérant que sur la terre les surfaces en eau marine représentent 73% de la surface globale et que pour la partie émergée les surfaces en eau douce libre (fleuves et lacs hors glace) ne représentent pas même 1% de la surface globale, les propriétés fondamentales des masses d'eau que nous considérons dans ce qui suit sont propres aux eaux marines salées ou saumâtres.

2.1 Domaine du visible et de l'infra-rouge proche

Dans cette portion du spectre le phénomène dominant est celui de la réflexion de la lumière solaire sur notre objet d'étude. Ceci explique que pour ces longueurs d'onde, s'il n'y a pas d'incidence solaire, par exemple la nuit, on n'a aucun signal en retour et donc on ne voit rien.

Le comportement spectral de l'eau est fonction des molécules d'eau mais aussi des constituants dissous ou en suspension

(particules, algues, matière organique...), ainsi que de l'état de rugosité de sa surface.

La figure suivante exprime le fait que le comportement spectral de l'eau n'est pas le même quand on part des courtes longueurs d'ondes du visible : le violet bleu et que l'on va vers le rouge et l'infra-rouge. En effet intervient ce qui se nomme coefficient d'atténuation.

Cette figure explique que le coefficient d'atténuation est faible dans les courtes longueurs d'onde pour des eaux de mer pures ou très peu chargées et donc que dans ces longueurs d'ondes le signal incident pénètre dans la masse d'eau alors que ce coefficient augmente avec la longueur d'onde et que donc la pénétration du signal dans l'eau est atténuée et va devenir de plus en plus faible jusqu'à devenir quasi nulle au-delà du rouge, dans le proche infra-rouge.

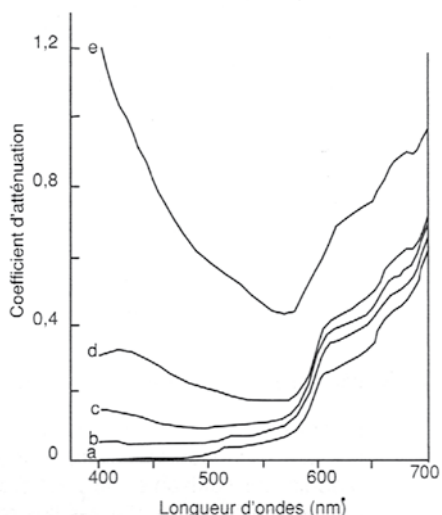
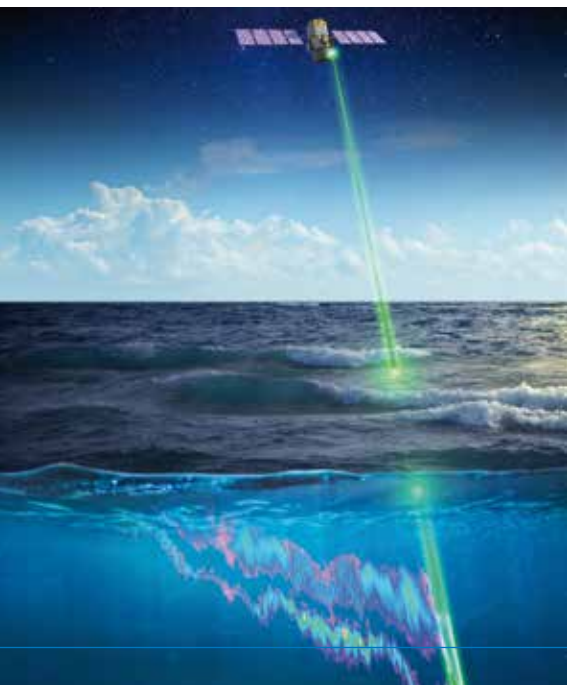


Figure 3 : coefficient d'atténuation en fonction de la longueur d'onde pour différents types d'eaux qui vont ; de a : eau pure à e : eau côtière très chargée en particules (d'après Maritorena 1993).



Donc l'eau pure réfléchit très peu dans le rouge et l'infrarouge.

Elle apparaît en noir sur les photographies infrarouge noir et blanc ainsi que sur les photographies infrarouge couleurs. Sur les données satellitales, les valeurs de comptes numériques sont très faibles pour les bandes correspondantes et tout spécialement dans l'infrarouge moyen réflectif.

On voit également que la réponse spectrale de la mer est aussi directement liée à l'interaction de plusieurs phénomènes agissant à sa surface et dans la masse d'eau. Citons ainsi :

- La charge en sédiments en suspension, turbidité
- La présence de phytoplancton et pigments chlorophylliens dans les eaux,
- La présence de substances dissoutes,
- L'agitation de surface sous l'effet du vent et des houles,
- La présence d'un polluant flottant (hydrocarbures, macrodéchets divers...), ou d'un navire,

et dans une moindre mesure :

- Le mélange d'eaux de densité, flottabilité et températures différentes (eaux douces et eaux salées, remontées d'eaux froides),
- Les courants...

La réponse de la tranche d'eau dans le domaine optique, phénomène intéressant l'interface terre/mer et la masse d'eau de mer proprement dite, est présentée dans ce qui suit en relation avec deux types d'applications : la mesure de la bathymétrie et celle de la couleur de l'eau.



Nous ne traiterons pas ici d'un système de télédétection active qui ne peut à ce jour qu'être opérationnel avec une plateforme avion et qui est l'utilisation du LIDAR (light detection and ranging) avec des applications en topographie et bathymétrie équivalentes à celles explicitées ci-dessous.

2.1.1 Mesure approchée de la bathymétrie en eau claire

Pour des conditions d'observation de milieux côtiers en eaux claires dans le domaine du visible le signal lumineux pénètre la tranche d'eau où il est absorbé. Si la bathymétrie est faible, c'est ce que l'on peut voir en avion ou depuis une côte escarpée, il peut atteindre le fond et traverser la masse d'eau en retour pour fournir une information vers le capteur sur la profondeur du fond et sa nature : le signal mesuré au-dessus des petits fonds dépend à la fois des propriétés de réflexion du fond et de l'influence de la colonne d'eau qui le surmonte.

Ces comportements sont bien décrits par un modèle de décroissance exponentielle du signal avec la profondeur à laquelle se trouve le fond. On peut trouver différentes formulations de ce modèle dans la littérature :

Ces formulations se basent sur 3 inconnues : la profondeur, qui est ce que l'on cherche à connaître, l'albédo (ou la couleur) du fond puisqu'un fond de sable (fond blanc) a un comportement spectral différent d'un fond d'herbiers ou de coraux par exemple qui seront plus « foncés » et ce qui s'appelle coefficient d'absorption qui spécifie la « transparence » de l'eau.

Nous avons vu en figure 3 que ce dernier coefficient varie avec la longueur d'onde et, notamment dans les eaux claires, l'atténuation diffuse est faible aux courtes longueurs d'onde et présente des valeurs plus élevées au-delà de 570nm. Ainsi, pour des eaux claires, les canaux de capteurs situés dans la gamme 400-500 nm (bleu-vert) pénétreront le plus profondément dans la colonne d'eau alors que pour des eaux davantage chargées en particules et subs-

tances dissoutes, les plus grandes profondeurs seront atteintes dans la gamme 500-600 nm. Si l'on veut extraire les profondeurs à partir de données de télédétection dans le visible, il faut estimer, le mieux possible, l'atténuation diffuse pour la zone d'étude et les bandes spectrales concernées.

Puisque nous avons un modèle avec trois inconnues, plusieurs méthodes ont été mises au point, notamment celles utilisant plusieurs canaux spectraux de courte longueur d'onde sur une même cible (un même fond et une même qualité de tranche d'eau).

L'usage en outre de points de calage de profondeur connue est une solution qui permet de résoudre le problème par inversion du modèle de décroissance exponentielle du signal avec la profondeur.

Il s'agit bien sûr d'une mesure approchée de la bathymétrie et l'erreur relative du modèle bathymétrique ainsi construit est inférieure à 10% sur la tranche d'eau 0-10 mètres à partir de canaux dans le bleu et le vert. Au-delà de 20 mètres de fond les résultats du modèle n'ont plus de véritable signification en raison de la perte du signal et du bruit dû au capteur pour ces longueurs d'onde.

La figure ci-dessous illustre l'une des applications de cette méthode.

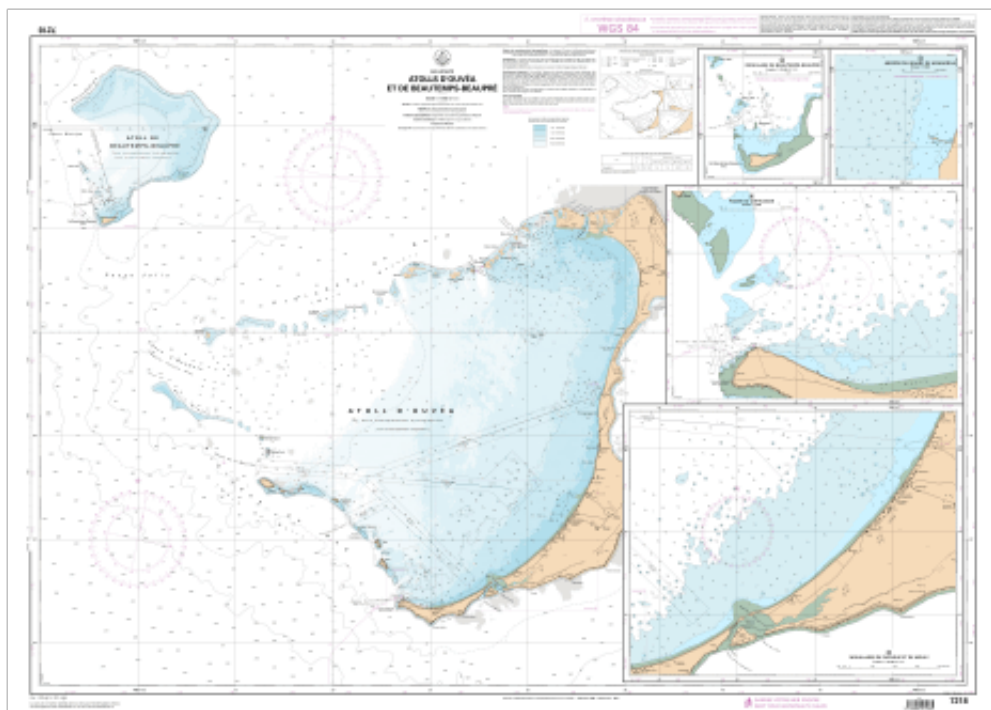
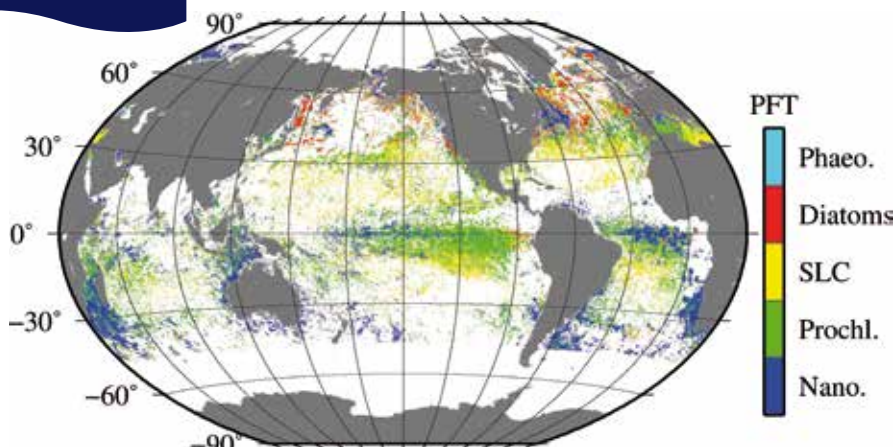


Figure 4 : carte SHOM de l'île d'Ouvéa illustrant (dégradés de bleu dans le lagon) l'utilisation d'un modèle bathymétrique dérivé de données spatiales et calé par des points de contrôle.



2.1.2 Mesure de la couleur de l'eau

Lorsque la composante due au fond n'intervient pas dans le signal reçu par le capteur, soit parce que les eaux sont chargées en particules, soit parce que la tranche d'eau est d'épaisseur suffisante et que le signal n'atteint pas le fond, on peut tirer, dans le domaine du visible, une information sur la couleur de l'eau. En effet les flux rétrodiffusés, mesurés au-dessus de la surface sont directement reliés à la concentration des constituants présents dans la masse d'eau : pigments liés au plancton, matière organique dégradée, matière en suspension et matière dissoute. Toutefois la contribution de l'atmosphère au signal mesuré étant très importante, jusqu'à 90%, dans les bandes spectrales étroites utilisées (voir plus loin), le développement d'algorithmes de correction atmosphérique est nécessaire.

En matière de télédétection de la couleur de l'eau des avancées considérables ont été atteintes grâce aux données du capteur CZCS (Coastal Zone Color Scanner) de Nimbus 7, opérationnel entre 1978 et 1986,

et de ses successeurs SeaWiFS, MODIS lancés par la NASA et MERIS lancé par l'ESA sur Envisat. Ces satellites possèdent au moins 6 bandes spectrales : 4 dans le visible, une dans le proche infra-rouge et une dans le thermique (voir 1.2). Les 4 bandes du visible positionnées respectivement entre 433-453 nm, 510-530 nm, 540-560 nm, 660-680 nm autorisent la mesure de la couleur de l'eau, et permettent l'estimation avec une précision de 30% de la concentration en chlorophylle.

En règle générale les algorithmes développés pour estimer les paramètres optiques de l'eau de mer comportent trois étapes :

- transformation des comptes digitaux fournis par le capteur en valeur de luminance et calibration en tenant compte de la dérive progressive de sensibilité du capteur,
- correction atmosphérique de la luminance totale obtenue pour en tirer la part uniquement due à la tranche d'eau observée,
- calcul de la concentration en pigments, en matière en suspension, atténuation

diffuse par algorithmes spécifiques qui sont basés sur l'analyse de rapports entre canaux calibrés par des mesures in situ ou calcul par inversion d'un modèle de transfert radiatif.

Les résultats de ces traitements sont utilisés dans des applications de biologie et d'écologie marine comme le suivi de la qualité des eaux, le transport sédimentaire et les processus dynamiques.

Les bandes spectrales du capteur MODIS ou MERIS ayant été placées de façon optimale vis à vis des causes de variation de la qualité optique des eaux marines, on peut en tirer des paramètres suffisamment fiables au plan qualitatif et quantitatif qui soient utilisables vis à vis de problèmes d'aménagement littoral tels que de contamination des eaux par exemple. L'attente forte de la communauté scienti-

fique se porte à présent sur la disponibilité de données issues de nouveaux capteurs dont la résolution spectrale est optimisée par rapport à MERIS : Hyperion, Ikonos ou encore d'un futur géostationnaire imageur couleur de l'eau.

1.2 : Domaine de l'infra-rouge thermique

Sans vouloir être complexe, on rappelle ici quelques principes physiques de ce qui se passe, au-delà du visible et du proche infra-rouge étudiés plus haut lorsque l'on rentre dans cette portion de l'infra-rouge, dit thermique.

La figure 6 page suivante exprime ces différents principes et explique qu'entre 0,2 μm et 5 μm (μm =micromètre), donc dans le visible et l'infra-rouge proche et moyen, le phénomène dominant est la réflexion du flux solaire.

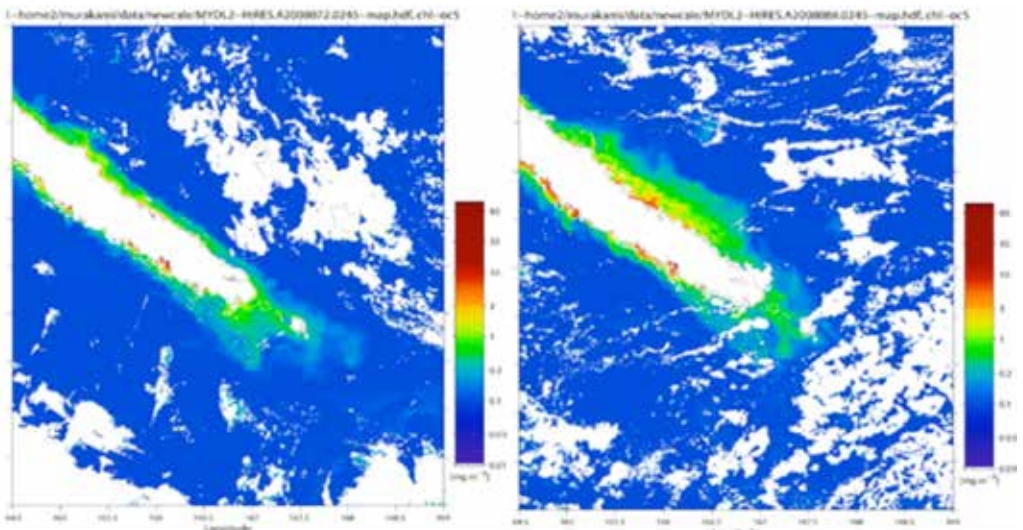


Figure 5 : image représentative de la couleur de l'eau à deux dates (concentration en pigments) autour de la Grande terre (concentrations décroissantes du rouge au bleu). Satellite MODIS, IRD Nouvelle-Calédonie.

Au-delà de $5 \mu\text{m}$ c'est l'émission directe qui l'emporte. En effet la terre se comporte comme un corps noir de rayonnement émis maximum dans les longueurs d'onde de $10\text{-}12\mu$ (portion du spectre dit de l'infrarouge thermique) pour une température moyenne de 280 à 300°K . Pour ces longueurs d'onde le rayonnement émis est donc directement proportionnel à la température de la surface observée.

En d'autres termes, en dessous de $5 \mu\text{m}$, si pas de soleil, pas de données, au-delà ce n'est plus en télédétection un problème d'acquisition de données issues de la réflexion solaire mais celui de la mesure de l'émission naturelle de la surface de la terre et donc d'observations qui seront aussi bien accessibles de jour que de nuit.

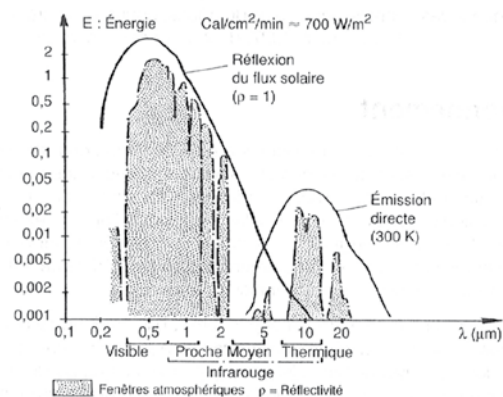
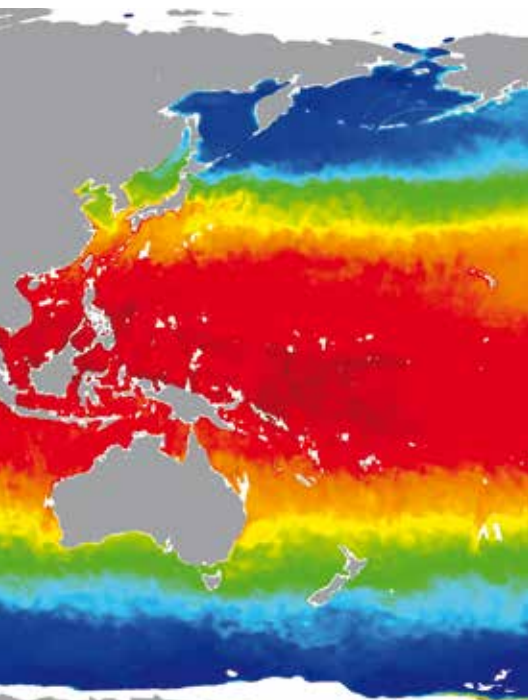


Figure 6 : Comparaison, sur les portions du spectre allant du visible à l'infrarouge thermique entre flux réfléchi par la terre et flux directement émis. (d'après Becker 1978)

Ceci est à tempérer par des fenêtres atmosphériques (transparence ou au contraire absorption par l'atmosphère que nous ne décrirons pas ici).

De ces propriétés on peut tirer, par observation spatiale ou pseudo spatiale des paramètres de température de surface de l'objet d'étude.

2.2.1 Mesure et suivi de l'évolution de la température de surface de la mer

La mesure du rayonnement thermique du sol ou de la surface de la mer, à partir de capteurs embarqués dans des avions ou des satellites est couramment utilisée depuis la fin des années 1970 : lancement du premier satellite environnemental de la série TIROS (TIROS-N) en octobre 1978 pour observer les phénomènes naturels à une échelle relativement grande : suivi de la végétation, météorologie et océanographie.



Depuis, la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) gère la mise en place de missions successives de la série des satellites dits NOAA qui possèdent des caractéristiques qui sont très utiles pour l'analyse de la structure thermique superficielle des océans et celle des échanges océan/atmosphère.

Ce sont des satellites à orbite quasi-polaire, inclinée de $98,2^\circ$ par rapport au plan équatorial et sont héliosynchrones. Ils survolent la Terre à environ 850 km d'altitude et se déplacent à une vitesse de 7,45 m/s.

Leur période est de 102 minutes, ils survolent l'équateur 14 fois par jour en passage ascendant et descendant. De ce fait, avec deux satellites déphasés, une même région est survolée 4 fois par jour à des intervalles de 6 heures : en matinée et en

soirée, de nuit et en début d'après-midi. Ces satellites embarquent des capteurs dont le principe est de travailler dans cinq bandes spectrales : une dans le visible, une dans l'IR proche, une dans l'IR moyen et deux dans l'IR thermique.

CANAL	SPECTRE	DOMAINE
1	0,58 μm - 0,68 μm	visible
2	0,70 μm - 1,00 μm	infrarouge proche
3	3,60 μm - 3,90 μm	infrarouge moyen
4	10,30 μm - 11,30 μm	infrarouge thermique
5	11,40 μm - 12,40 μm	infrarouge thermique

À partir des comptes numériques fournis par le capteur la luminance L est calculée par une fonction linéaire ($L = a.C + b$; les coefficients a et b étant des coefficients d'étalonnage fournis par le gestionnaire du satellite).

La méthode de traitement employée pour calculer la température de surface se caractérise par :

- Un décodage permettant de restituer des pixels de l'ordre du km. de côté,
- L'élimination des zones qui ne sont pas significatives, correspondant au sol et aux nuages ; l'opération de masquage des nuages nécessite plusieurs opérations successives relativement complexes (calcul de combinaisons de canaux, filtrage, puis seuillage) ; des difficultés se posent avec les nuages semi-transparents et avec les contours des nuages (qui ne sont pas toujours bien déterminés) ;
- Une correction géométrique permettant de restituer dans un système de projection donné,
- L'application d'une combinaison linéaire restituant la température en fonction des valeurs numériques dans les deux canaux thermiques (T_4) et (T_5) ; cette formule a été élaborée par les chercheurs pour tenir compte de l'absorption atmosphérique à partir de modèles simplifiés de l'atmosphère et de méthodes statistiques d'ajustement aux mesures effectuées simultanément par des bateaux.

Les applications océanographiques de la télédétection de la température de surface de la mer sont nombreuses : pêcheries pélagiques, suivi dynamique issu du mixage et du traitement géostatistique des données, détection de structures frontales, analyse synthétique de l'évolution de la température de surface en relation avec les perturbations écologiques dans la masse d'eau.

On ajoutera que les bandes spectrales de l'Infrarouge thermique ont été et sont largement utilisées, par exemple en France par les Douanes et la Marine Marchande, pour détecter les rejets frauduleux d'hydrocarbures (dégazages) et dissuader les pollueurs.

Actuellement, en raison de la multiplicité des besoins et des applications en matière de température de surface de la mer (variabilité climatique, prévision météorologique, applications militaires, aide à la pêche, perturbations écologiques, données d'entrée des modèles numériques de prévision etc...), une initiative globale : GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment) a été lancée au niveau international. Elle vise à fournir sur des bases opérationnelles et globales ou régionales



le champ de température de surface à des résolutions inférieures à $0,4^{\circ}\text{K}$, toutes les 6 heures et pour des résolutions spatiales en couverture mondiale globale inférieure à 10 km.

Cette initiative s'appuie sur le développement de méthodologies scientifiquement validées et techniquement réalisables en routine assurant le mixage de différentes sources (satellites géostationnaires, défilants, radiomètres infra rouge, radiomètres micro-ondes, mesures in situ par bouées, navires ou autres systèmes).

Et puis ces données-là sont opérationnellement mises à la disposition mondiale de divers utilisateurs et les lecteurs calédoniens, le plus souvent ne sachant pas exactement d'où et comment elles proviennent, savent pourtant les utiliser.

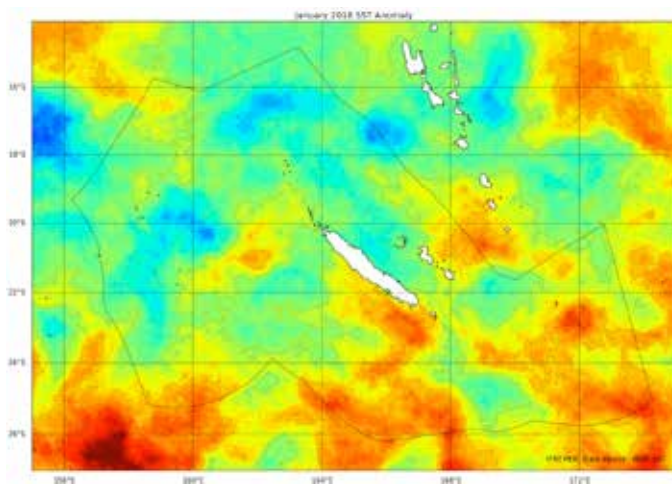


Figure 7 : carte des anomalies de température de surface en janvier 2018 autour de la Nouvelle-Calédonie. En bleu anomalies négatives et en rouge anomalies positives. Ifremer/JPL

2.3 Domaine des micro-ondes par télédétection passive

Nous sommes, comme pour l'infra-rouge thermique mais dans des longueurs d'onde au-delà, dans un système d'émission directe par le corps observé. Pour l'eau cette émission dans ces longueurs d'onde est en particulier directement liée à la température et la salinité.

2.3.1 Mesure de la salinité de surface

Le paramètre salinité est un paramètre fondamental en océanographie. En effet la distribution du sel dans l'océan global et sa variabilité annuelle et interannuelle sont cruciales pour comprendre le rôle de l'océan dans le système climatique. Le sel influe sur la circulation thermohaline et donc sur la distribution de masse et de chaleur. En océanographie plus côtière l'accès au paramètre salinité des eaux est

également fondamental pour caractériser et classifier les grandes masses d'eaux et d'en établir une typologie (Cf. Principes de la Directive européenne Cadre sur l'Eau pour les eaux côtières et de transition).

Ce paramètre n'avait pas été accessible par télédétection satellitale avant 2009 et avait commencé de

l'être par télédétection aéroportée.

La seule possibilité d'accès au paramètre salinité de surface par des techniques



Figure 8 : satellite SMOS : ESA/CNES/CDTI

d'observation à distance est d'utiliser les micro-ondes passives. En effet la constante diélectrique de l'eau de mer est une fonction de la température et de la salinité et conditionne l'émissivité de surface de la mer. La sensibilité de la température de brillance à la salinité de surface dans la bande L (1,4 GHz ou environ 50 cm) est bien établie.

Une mission spatiale : SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) promue par l'Agence Spatiale Européenne (ESA) le CNES (France) et le CDTI (Espagne) a été lancée 2009. Cette mission est équipée d'un interféromètre 2D travaillant dans la bande 1400 - 1427 MHz avec une résolution spatiale de l'ordre de 50 km et une résolution temporelle de l'ordre de 3 jours.

2.4 Domaine des micro-ondes par télédétection active

Les principes de base sont ici ceux d'une télédétection active avec un émetteur et un récepteur qui sont situés généralement au même endroit ou très proches avec envoi d'une onde électromagnétique de moins d'un cm à quelques centimètres de longueur d'onde (système RADAR ou Radio Detection And Ranging) d'une puissance émise P_e vers la cible.

Celle-ci diffusera le rayonnement induit, en fonction des caractéristiques de sa surface et de la rugosité ce celle-ci dans toutes les directions dont une partie de puissance P_r est donc renvoyée vers le récepteur (signal rétrodiffusé). Voir figure 9 page suivante.



2.4.1 Détection et mesure des états de surface de la mer par radar imageur.

Une bonne connaissance des régimes de houles dues aux vents (amplitude et direction) est nécessaire pour des prévisions (aide à la navigation et routage des navires) comme pour l'étude des transports sédimentaires à la côte. L'analyse des spectres de houles dérivés du traitement d'images SAR (Radar à Synthèse d'Ouverture) permet de caractériser les modifications de longueur d'onde et de direction de la houle lorsqu'on s'approche de la côte.

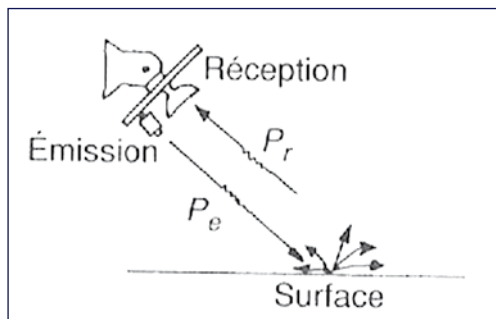


Figure 9 : principes émission - réception avec un système de type RADAR.

Il s'agira alors pour le thématicien de comprendre comment la surface étudiée est intervenue dans cette rétrodiffusion : présence de navires en surface de la mer, état de surface et d'agitation de la mer elle-même, présence en surface d'un polluant modifiant cette rugosité...

Explicitons cela ci-contre pour deux exemples.



Figure 10 : image du radar SAR du satellite ENVISAT montrant un train de houle entrant en Baie de Douarnenez (Bretagne, France).

2.4.2 Détection et mesure de la qualité de la surface de la mer, exemple de l'application aux pollutions par hydrocarbures en mer

Les techniques et méthodes de détection à distance des hydrocarbures rejetés frauduleusement ou accidentellement en mer se sont principalement développées dès les années 1970, aux USA, au Canada, en Suède et en France. Elles utilisent diverses bandes spectrales.

Un satellite équipé d'un radar permet la détection par tout temps de nappes d'hydrocarbure. En effet celles-ci à la surface de la mer amortissent considérablement les vaguelettes (mer d'huile) et donc la rugosité de surface de la mer détectée par le radar. ERS1 a offert des images saisissantes de pollutions accidentelles massives telle par exemple que celle résultant de l'accident de l'« Aegean Sea » dans la baie de La Corogne (Espagne) en 1992.

A titre d'exemple la figure 11 présente un cas de détection par radar d'une pollution par hydrocarbures lors de l'accident du pétrolier Prestige.

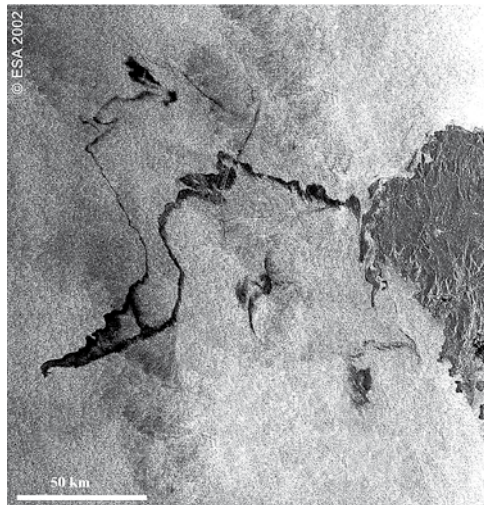


Figure 11 : Image radar SAR du satellite ENVISAT montrant en noir les nappes d'hydrocarbures issues du pétrolier Prestige échoué dans le Golfe de Gascogne, côtes Nord de l'Espagne en novembre 2002.

Conclusions

En résumé de ce paragraphe avec des observations à l'aide de systèmes d'observation de haute altitude on peut répondre à plusieurs des contraintes spatiales (résolution, caractéristiques synoptiques, couvertures...) et temporelles (répétitivité) posées par la surveillance maritime :

celle des milieux naturels et de leur évolution (bathymétrie, hydrographie, extension, état de santé, turbidité, température de surface, grands champs de salinité, états de surface, modification de la productivité naturelle, perturbations écologiques, variabilités climatiques...) comme celles de la surveillance des activités en mer et des impacts humains (détection de navires et de types de navires en surface, pollutions de surface ou de la masse d'eau depuis des sources terrestres ou des sources en mer...).



L'article prochain mettra en applications les principes physiques de base exposés ci-dessus vis-à-vis des questions de surveillance maritime : besoins, types d'outils spatiaux et pseudo-spatiaux et perspectives pour la Nouvelle-Calédonie.



Pour en savoir plus :

Andrefouet Serge, Maritorea Stephane, Loubersac Lionel (2000). Un bilan de la télédétection appliquée aux milieux coralliens. *Océanis*, 26(3), 311-349. Open Access version : <http://archimer.ifremer.fr/doc/00089/20044/>

Andrefouet Serge, Chenon Felix, Loubersac Lionel, Varet Herve, Wibaux Benoit (1992). Modélisation bathymétrique d'un lagon d'atoll, application à la modélisation tridimensionnelle d'une île et de son lagon. Bour William (ed.), Loubersac L. (ed.) « PIX'ILES 90 » : télédétection et milieux insulaires du Pacifique : approches intégrées : Remote sensing and insular environments in the Pacific : integrated approaches. 1992. p. 395-404; p. 656-658.

Loubersac Lionel (2003). Remote Sensing and Coastal Zone Management. In *Processing of Remote Sensing Data* (Balkema Publishers). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00089/20058/>

Loubersac Lionel (2010). Les comportements spectraux : l'eau. In *Traitement des données de Télédétection 2^{ème} édition* (DUNOD). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00089/20057/>

Loubersac Lionel (2010). Traitement des données de Télédétection et aménagement du Littoral. In *Traitement des données de Télédétection 2^{ème} édition* (DUNOD). <http://archimer.ifremer.fr/doc/00089/20056/>



Lionel Loubersac

Co-fondateur et Manager du Cluster Maritime Nouvelle-Calédonie, ancien Directeur Délégué de l'Ifremer en Nouvelle-Calédonie, Océan Avenir NC - Creocéan NC ; Nouméa, Nouvelle-Calédonie. lionel.loubersac@outlook.fr



Sébastien Lagarde

hydrographe, géomaticien/télédécteur INSIGHT, Nouméa, Nouvelle-Calédonie. s.lagarde@lecube.nc



Jean Massenet

Chef de Produit INSIGHT, membre du Conseil d'Administration du Cluster Maritime de Nouvelle-Calédonie, Nouméa, Nouvelle-Calédonie. j.massenet@lecube.nc