

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

## Chapitre VIII - Télédétection

### I - Introduction sur la télédétection et méthode PHYSAT

par S. Alvain

### II - Principes de la télédétection spatiale de la « couleur de l'océan »

[adapté de « Apports de la télédétection spatiale de la « couleur » de l'océan à l'océanographie », *Océanis*, 1998, par David Antoine]

« Il faut comprendre en premier lieu qu'en utilisant la télédétection de la « couleur de l'océan » on cherche à quantifier une variable géophysique, à savoir la concentration en chlorophylle. On peut imaginer la difficulté de cette opération qui commence avec une mesure de luminance hors de l'atmosphère, et qui est bien plus délicate à réussir que celle nécessaire à l'utilisation qualitative des mesures satellitaires (en général la seule connue du grand public *via* les images *Spot* ou l'observation militaire), et qui se borne en général à un traitement simple du signal pour la reconnaissance de formes ou la classification de différents objets. Dans cette partie, l'ensemble du processus est décrit selon trois étapes qui présentent chacune leurs difficultés, à savoir la mesure de luminance hors atmosphère, la correction de cette luminance des effets de l'atmosphère, puis le calcul de la concentration en chlorophylle à partir de ce signal corrigé.

#### **La mesure de luminance hors de l'atmosphère**

Un instrument dédié à la télédétection de la couleur de l'océan doit enregistrer une certaine quantité d'énergie radiative en la convertissant en un courant électrique dont l'intensité sera fonction de l'énergie reçue. Le signal ainsi créé peut ensuite être digitalisé, traité (corrections radiométriques élémentaires: première calibration, application des gains, etc.), stocké pour les traitements suivants et envoyé vers des stations de réception situées au sol. La quantité d'énergie enregistrée dépend de la portion du spectre électromagnétique concernée et également du champ de vue instantané (**Ifov en anglais pour *instantaneous field of view***), qui correspond à l'élément de base observable (pixel). De l'ouverture angulaire de ce champ dépend la taille du pixel à la surface océanique. L'une des difficultés rencontrées lors de la construction de ces instruments réside d'ailleurs dans l'établissement de rapports signal/bruit suffisamment élevés malgré la faiblesse du signal observé. Le rayonnement électromagnétique étant enregistré dans de petits angles solides pointés sur des directions données, il s'agit d'une mesure de luminance, qualifiée de luminance totale, dans la mesure où son intensité dans une direction donnée est déterminée aussi bien par les propriétés optiques de l'océan que par celles de l'interface air-mer et surtout celles de l'atmosphère (y compris les nuages s'ils sont présents). Cette luminance contient donc des informations sur la totalité du système océan-atmosphère. Comme c'est l'océan qui nous intéresse, il faut en premier lieu corriger ce signal des effets de l'atmosphère.

#### **La correction atmosphérique**

Afin d'analyser la lumière rétrodiffusée par l'océan, il faut extraire des luminances totales ( $L_t$  ou  $L_{sat}$ ) la partie qui provient de l'océan, qualifiée de « luminances marines » ( $L_w$ ). L'ensemble des opérations nécessaires, regroupé sous le terme de « corrections atmosphériques », consiste en effet à éliminer la partie du rayonnement qui a été rétrodiffusée

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

par les molécules ( $L_r$  pour Rayleigh) et les aérosols de l'atmosphère ( $L_a$  et  $L_{ra}$  en cas de diffusion multiple), éventuellement aussi réfléchies par la surface de l'océan ( $L_g$  pour le « solar glint » et  $L_{wc}$  pour les « white caps »), mais qui n'a jamais pénétré l'océan. Un traité complet pourrait être écrit sur ce sujet, et nous ne donnerons ici qu'un aperçu rapide des techniques existantes. Elles sont en général basées sur une décomposition du signal en différentes contributions, comme ci-dessous :

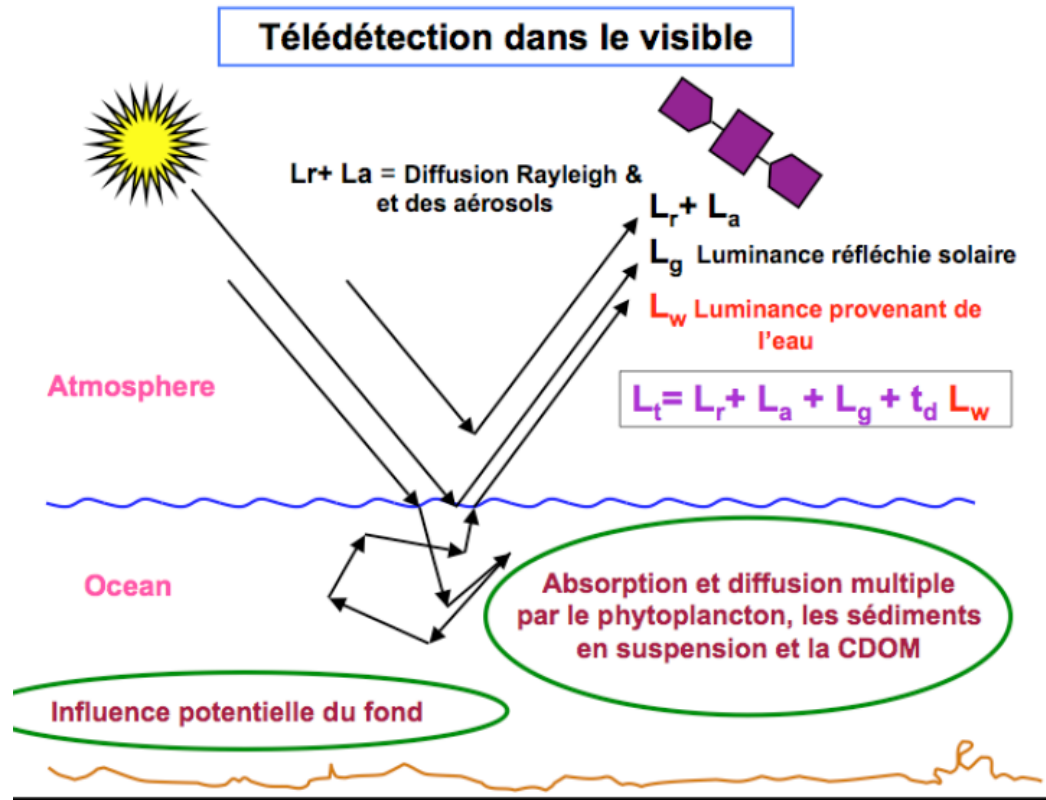
$$L_t = L_r + L_a + L_{ra} + tL_g + tL_{wc} + tL_w$$

Les contributions majeures au signal mesuré proviennent de la diffusion par les molécules de l'air et de la diffusion par les aérosols ( $L_r + L_a + L_{ra}$  souvent dénommé  $L_{path}$ ).

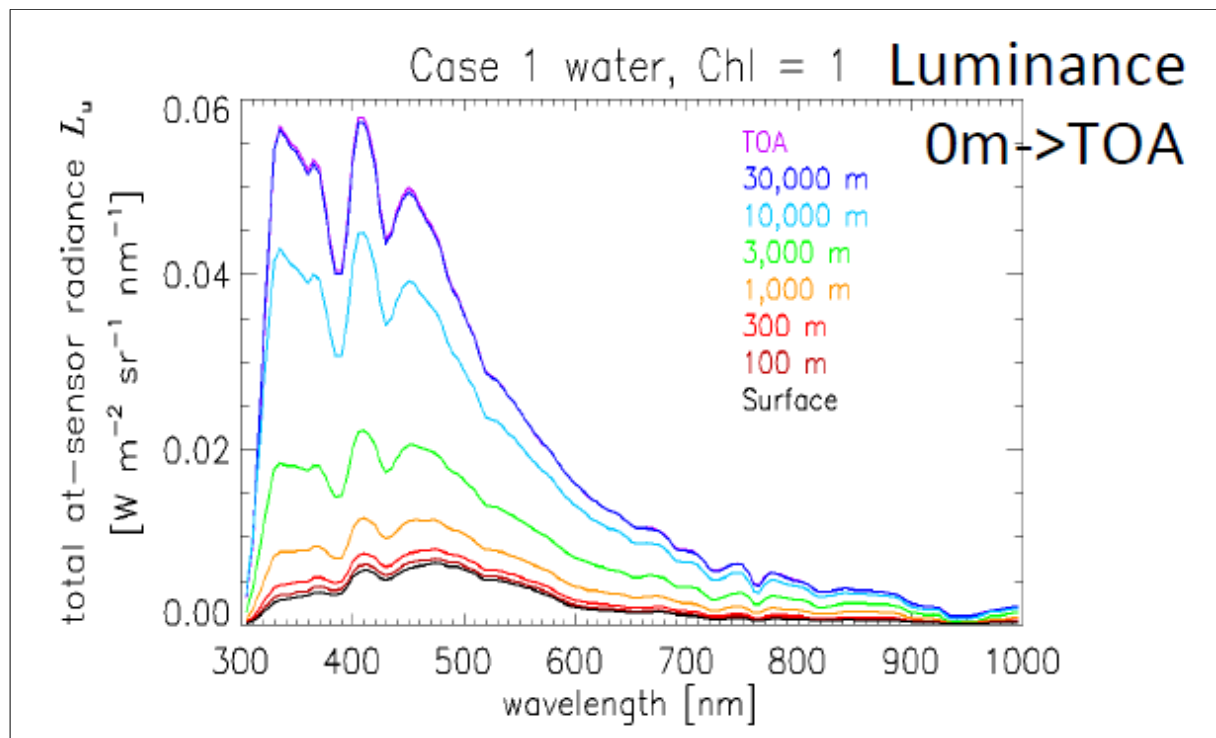
Nous omettons ici volontairement les phénomènes d'absorption pour deux raisons. Tout d'abord, on peut considérer que l'instrument utilisé observe la terre hors des principales bandes d'absorption atmosphériques ; ensuite, les absorptions, si elles sont significatives dans les régions du spectre qui sont observées, ne vont pas à proprement parler « générer » du signal mais au contraire éliminer un certain nombre de photons d'énergies bien précises. La difficulté, en cas d'absorption, consiste alors à corriger les signaux mesurés pour déduire leur valeur en l'absence de telles absorptions. Cette vision un peu simplificatrice néglige les couplages qui existent en fait entre les phénomènes d'absorption et de diffusion ; cette dernière, si elle est importante (diffusions multiples), accroissant de manière apparente l'absorption par augmentation des trajets des photons.

Pour un angle de diffusion donné, la luminance mesurée est fonction de la quantité de « matériel diffusant » et de l'indicatrice de diffusion de ce matériel. L'estimation de la part du signal due à la diffusion par les molécules ne pose donc pas de problèmes dans la mesure où la pression atmosphérique (donc la quantité de molécules dans la « colonne » atmosphérique) est connue, ainsi que l'indicatrice de diffusion des molécules ; on peut calculer sans difficulté la contribution de la diffusion moléculaire, en prenant éventuellement en compte l'effet de la polarisation et en considérant également l'état de l'interface air/mer, dont l'état d'agitation modifie la manière dont est réfléchi l'éclairement (Gordon *et al.*, 1988 ; Gordon & Wang, 1992a,b + Hydrolight).

L'estimation de la part du signal dû à la diffusion par les aérosols est, en revanche, la difficulté majeure de la correction atmosphérique, puisqu'aucun des deux paramètres évoqués ci-dessus – concentration et indicatrice de diffusion – n'est connu *a priori*, c'est-à-dire avant de réaliser la correction du signal (les répartitions horizontales et verticales des aérosols et leur type étant des paramètres éminemment variables). Pour déterminer ces deux inconnues, au moins deux équations doivent être posées, ce qui signifie dans la pratique que des informations doivent être obtenues à au moins deux longueurs d'onde. La plupart des techniques actuellement utilisées reposent sur l'observation du système océan + atmosphère dans au moins deux canaux du proche infrarouge, pour lesquels le signal océanique est nul (en tout cas dans les eaux du Cas 1). Cela est dû à la très forte absorption de l'eau elle-même et aux faibles capacités de diffusion des différents matériels en présence (exception faite, peut-être, des bulles d'air ; c'est une difficulté récemment évoquée). Une fois corrigé de l'effet de la diffusion moléculaire, le signal restant est entièrement dû aux aérosols. »



(remerciements ; inspiré de M. Mohan, Space Applications Centre, Ahmedabad)



(suite David Antoine Extrait de « Apports de la télédétection spatiale de la « couleur » de l'océan à l'océanographie », *Océanis*, 1998)

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

« À partir de l'intensité de ce signal et de sa dépendance spectrale entre les deux longueurs d'onde considérées, on obtient suffisamment d'information sur l'aérosol en présence pour pouvoir en extrapoler la contribution vers les longueurs d'onde du domaine visible, et ainsi corriger les luminances mesurées des effets atmosphériques (voir, par exemple : Gordon, 1978 ; Bricaud & Morel, 1987 ; André & Morel, 1991 ; Gordon & Wang, 1994 ; Fraser *et al.*, 1997 ; Gordon, 1997 ; Antoine & Morel, 1998, 1999).

### Définition de $\rho$

La plupart des algorithmes de télédétection utilisent la réflectance de télédétection  $R_{rs} = L_w / E_d$  ou une réflectance non dimensionnelle équivalente  $\rho = \pi L_w / E_d$ . (Si  $L_w$  était directionnellement isotrope,  $R_{rs} = 1 / \pi$ , donc  $\rho$  est le rapport de la réflectance de télédétection isotrope réelle à la valeur isotropique idéale.) L'utilisation d'une propriété optique apparente comme  $R_{rs}$  ou  $\rho$  minimise les effets des conditions environnementales externes telles que l'angle du soleil sur la magnitude du spectre. On note que  $\rho$  est sans dimension.

### Normalisation

La normalisation se déroule comme suit. La première étape consiste à prendre en compte les effets de l'angle du zénith solaire et de l'atténuation atmosphérique sur  $L_w(\theta_s, \theta_v, \phi)$  (par exemple, Gordon et Clark (1981), page 10 910, ou Gordon et Wang (1994b), via l'équation :

$$L_w(\theta_v, \phi)_N = \frac{L_w(\theta_s, \theta_v, \phi)}{\cos \theta_s t(\theta_s)}$$

où  $t(\theta_s)$  est la transmittance diffuse atmosphérique pour l'irradiance dans la direction du Soleil pour les conditions atmosphériques données. Les articles récents incluent un facteur explicite pour corriger  $L_w$  pour la distance Terre-Soleil au moment de la mesure:

$$L_w(\theta_v, \phi)_N = \left(\frac{R}{R_o}\right)^2 \frac{L_w(\theta_s, \theta_v, \phi)}{\cos \theta_s t(\theta_s)}$$

Ici  $R$  est la distance Terre-Soleil au moment de la mesure, et  $R_o$  est la distance moyenne Terre-Soleil. Le facteur  $\left(\frac{R}{R_o}\right)^2$  corrige la mesure  $L_w$  par rapport à la distance Terre-Soleil moyenne. (L'irradiation solaire au TOA varie d'environ 8% au cours d'une année en raison de l'orbite elliptique de la Terre.)

$L_w(\theta_v, \phi)_N$  est appelée la **luminance, sortant de l'eau, normalisée**. C'est le rayonnement quittant l'eau qui se produirait si la Terre était à la distance Terre-Soleil moyenne, si le Soleil était au zénith et qu'il n'y ait pas d'atténuation dans l'atmosphère. Notez que, bien que les facteurs  $\left(\frac{R}{R_o}\right)^2$ ,  $\cos \theta_s$  et  $t(\theta_s)$  suppriment en grande partie les effets sur

$L_w(\theta_v, \phi)_N$  de la distance Terre-Soleil, de l'angle zénithal solaire et de l'atténuation atmosphérique, respectivement;  $L_w(\theta_v, \phi)_N$  dépend quand même de la direction d'observation (angle solide) et de la distribution du rayonnement angulaire du ciel au moment de l'observation.

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Multiplier  $L_w(\theta_v, \phi)_N$  par un facteur de  $\pi / F_o$  où  $\pi$  a des unités de stéradian et  $F_o$  est l'irradiance solaire extraterrestre à la distance moyenne Terre-Soleil, donne la réflectance de sortie d'eau normalisée non-dimensionnelle (Gordon et Wang (1994b), page 7756):

$$\rho_w(\theta_v, \phi)_N = \frac{\pi}{F_o} L_w(\theta_v, \phi)_N = \pi \frac{\left(\frac{R}{R_o}\right)^2 L_w(\theta_s, \theta_v, \phi)}{F_o \cos \theta_s t(\theta_s)} \quad \text{et} \quad \rho_w(\theta_v, \phi)_N = \pi R_{rs}(\theta_v, \phi)$$

On note que  $\rho_w(\theta_v, \phi)_N$  est sans dimension.

### **III- Niveaux de traitement.**

« Data can be browsed and retrieved in a variety of formats and levels of processing, with four general levels from unprocessed to modeled output.

**Level 0** is unprocessed data that is not usually provided to users.

**Level 1** data are reconstructed but either unprocessed or minimally processed.

**Level 2** data contain derived geophysical variables (vitesses, conc. de chlorophylle...), though are not on a uniform space/time grid.

**Level 3** data contain derived geophysical variables binned or mapped to a uniform grid.

**Level 4** data contain modeled or derived variables such as ocean primary productivity. »

(<https://en.wikipedia.org/wiki/SeaWiFS>)

Par exemple, pour la chlorophylle, les produits MODIS (NASA/ESA) les mieux adaptés à une étude fine de l'ensemble de la Méditerranée, sont les "Binned Level 3 data", à résolution spatiale et fréquence maximales, i.e. 4.6km x 4.6km , 1/jour.

Les grandeurs géophysiques disponibles dans cette catégorie sont: i) les luminances marines normalisées dans les 5 bandes visibles; la chlorophylle calculée par un algorithme bio-optique standard (à partir de ces luminances) et le coefficient d'atténuation à 490 nm (idem); 3 paramètres aérosols (exposants d'Angström et épaisseur optique).

Ces données sont produites sur une grille régulière couvrant la planète. Ce sont des composites de toutes les données de niveau 2 (grandeurs géophysiques calculées pour chaque pixel (1kmx1km) de chaque trace (courbe) du capteur (largeur 2330 km, 99 mn/orbite, couverture globale en approximativement 1j) disponibles pour un carreau de grille (21.16 km<sup>2</sup>) pour un intervalle temporel donné (1j).

- Niveau L1: mesures radiométriques (luminances W/nm/str)
- Niveau L2: paramètres géophysiques (océan & atmosphère)  
calculés pour chaque pixel selon sa visée à partir des L1
- Niveau L3: composite L2 sur grille régulière  
= moyenne des valeurs existantes (qqe soit leur nb)  
pour un carreau Dxy (1x1km, 1x1°...)  
pour un intervalle de temps Dt (1j, 8j, ...)

**Geophysical  
Parameters**

Rrs(l): réflectances marines en z=0+, bande spectrale  
[Chl], DOM, PIC, POC,  
Coeff. bio-optiques (abs, bb, K)  
PAR, PP, Cloud Cover, SST  
Aerosol Optical Thickness ( $\approx$  charge)  
and Angstrom exponent ( $\approx \approx$  nature)

[résumé et diapo, courtesy J.-M. André]

## **IV - Dérivation de la concentration en Chl**

### Démarche

Plusieurs solutions existent pour déduire la concentration en chlorophylle de  $L_w(\lambda)$ , dont l'influence dans l'équation se fait au travers des coefficients  $b_b$  et  $a$ , et au travers du rapport des facteurs  $f$  et  $Q$  (voir fin Chapitre V). Il est d'abord possible de combiner les valeurs de  $L_w$  à différentes longueurs d'onde sous la forme de rapports (ou rapports de différences), et de relier cette combinaison à la valeur de la concentration en chlorophylle par des relations purement empiriques, établies à partir de mesures in situ et simultanées de luminances et de concentration en chlorophylle. C'est ce que l'on appelle les **algorithmes empiriques**; le plus fréquent utilise le rapport « bleu/vert », à savoir le rapport des luminances aux longueurs d'onde d'environ 440 et 550 nm. L'utilisation de ce rapport est bien sûr motivée par le fait que ces deux longueurs d'onde représentent le minimum et le maximum d'absorption du phytoplancton.

L'algorithme devient **semi-empirique** si les relations utilisées sont basées non plus sur des mesures mais sur les résultats d'un modèle de propriétés optiques. »

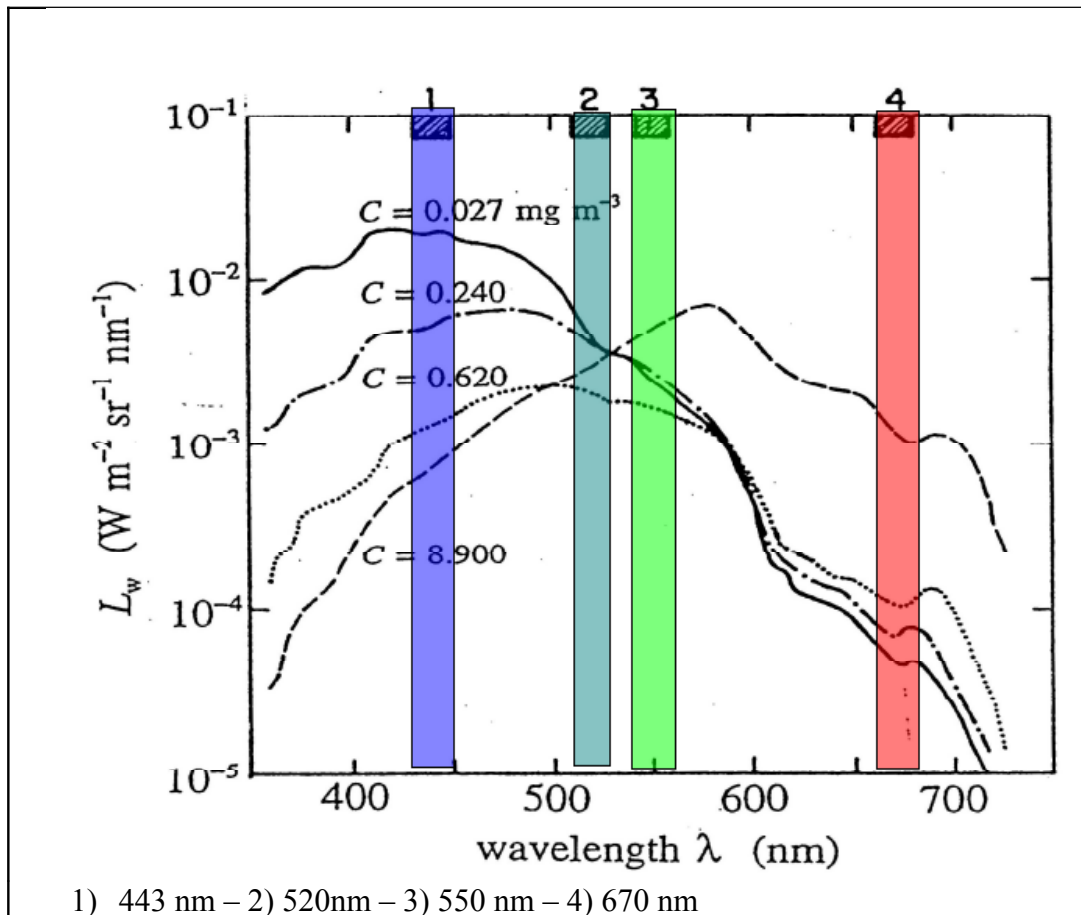
Ces algorithmes peuvent aussi être basés sur la réflectance ou la réflectance de télédétection et non sur les luminances.

### Longueurs d'onde

Les longueurs d'onde utilisées de préférence dans les algorithmes viennent des longueurs d'onde historiques :

**443, 520, 550, 670 (20 nm)**

du capteur **COASTAL ZONE COLOR SCANNER (CZCS)**, qui a été en orbite de Octobre 1978 à mi-1986 et dont les données ont servi à de nombreuses études.



« Dans la partie bleue du spectre du visible (par exemple à 442 nm), la reflectance diminue au fur et à mesure que la [Chl] augmente. Cela est dû à la particularité du spectre d'absorption de la chlorophylle a, dont le maximum est situé à 442 nm.

Rappelons en effet que la reflectance  $R$  varie de façon inverse à l'absorption, proportionnellement à  $bb/a$ , où  $a$  est le coefficient d'absorption et  $bb$  celui de rétrodiffusion. À l'opposé, dans la partie verte du spectre du visible (par exemple à 555 nm),  $R$  augmente en même temps que la [Chl]. Il s'agit cette fois principalement d'un effet de rétrodiffusion.

En conséquence, le rapport «bleu-sur-vert» de reflectance est une fonction décroissante de la [Chl]. En pratique,  $\log_{10}([Chl])$  est modélisé comme une fonction polynomiale de  $\log_{10}(R_{442}/R_{555})$ , ce qui permet son estimation à partir des mesures de reflectance. »

(Extrait de Gernez ainsi que figure suivante illustrant le propos)

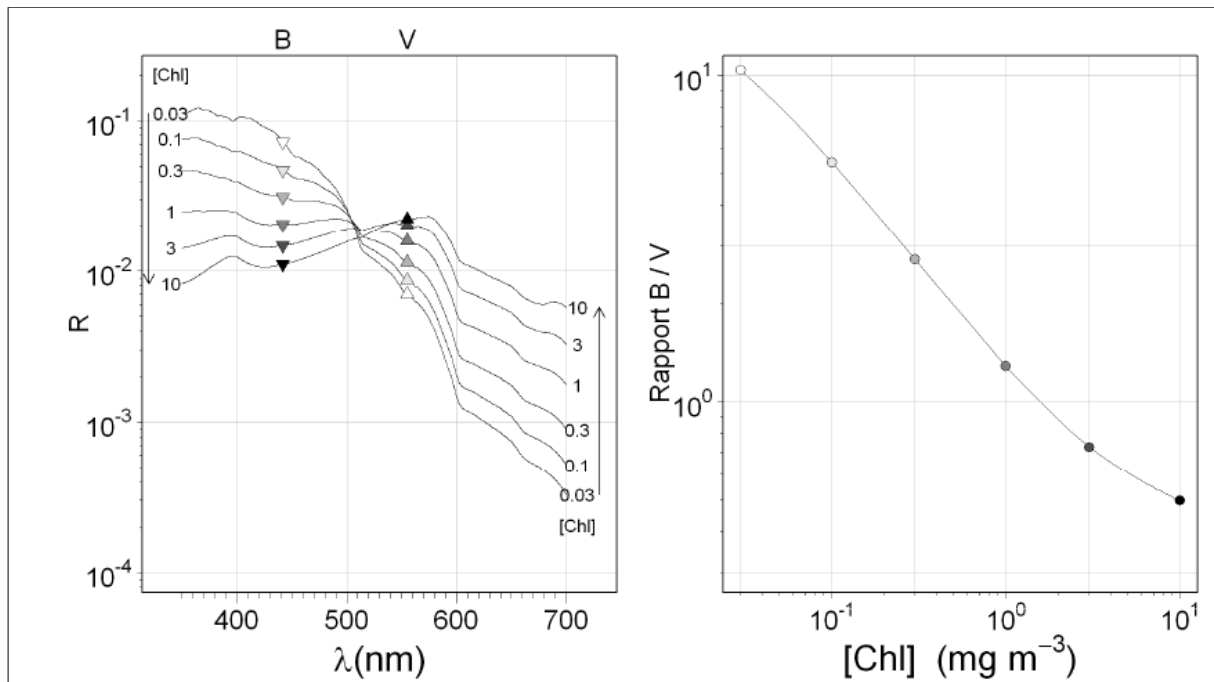
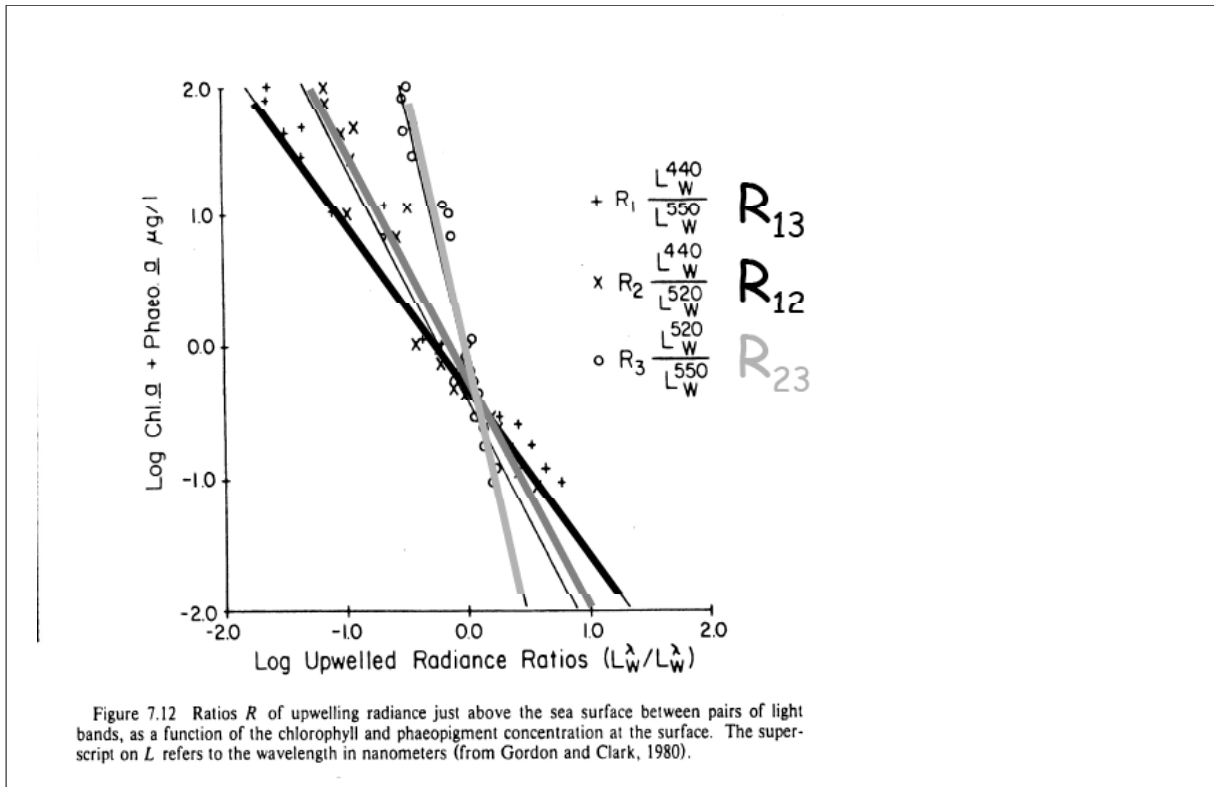
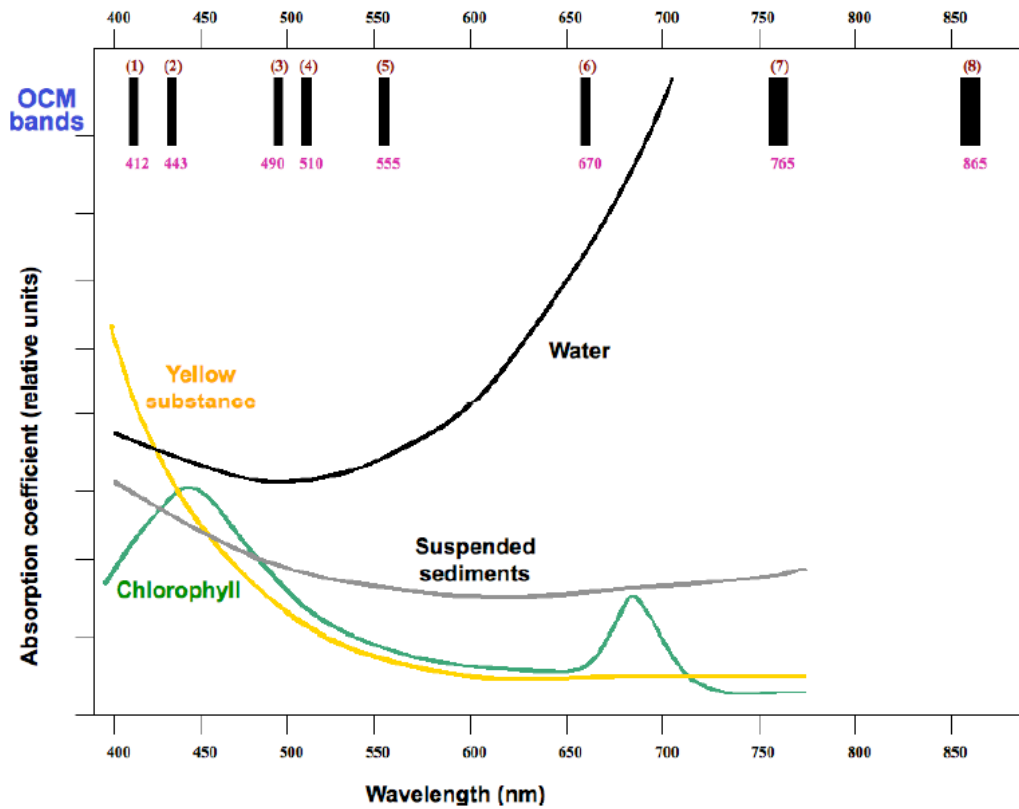


Figure 1-10 Variation modélisée de la réflectance en fonction de la  $[Chl]$  : à gauche, spectres de réflectance pour plusieurs niveaux croissant de  $[Chl]$  (en  $mg\ m^{-3}$ ), montrant la diminution progressive dans le bleu et l'augmentation dans le vert ; à droite, rapport « bleu-sur-vert »  $R(442)/R(555)$  en fonction de la  $[Chl]$ . Les réflectances ont été modélisées à partir de la  $[Chl]$  selon le modèle de Morel et Maritorena (2001).

Ci-dessous : Exemples de longueurs d'onde utilisées pour les algorithmes empiriques mis en rapport avec les spectres d'absorption des différents éléments de l'eau (OCM – Ocean Color Monitor ; voir annexe).



Droites obtenues entre log Chla et des rapports de Luminances aux longueurs d'onde classique



## Les algorithmes d'inversion de la [Chl] à partir des mesures de réflectances

Il existe plusieurs approches pour estimer la [Chl] depuis l'espace (Morel et Gordon 1980).

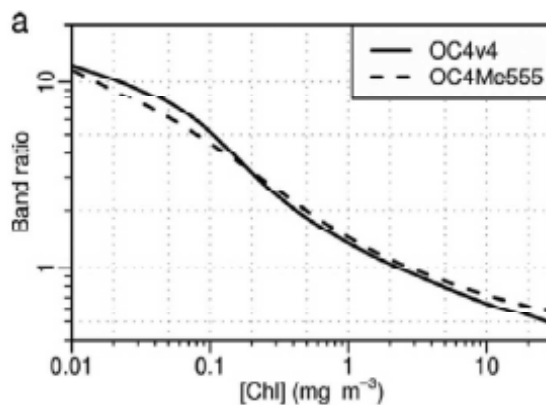
L'approche empirique, initialement développée pour le traitement des données CZCS (Clark 1981) est celle utilisée pour SeaWiFs et MODIS. Les différentes versions des algorithmes OC2, OC3 et OC4 (O'reilly *et al.* 1998) sont basées sur le même principe : établir le meilleur lien statistiques entre des mesures concomitantes de [Chl] et de remote-sensing réflectance  $R_{rs}$ . Pour cela, les quantités utilisées sont d'une part, le logarithme de la [Chl] et d'autre part, le logarithme du rapport bleu-sur-vert de réflectance. L'algorithme OC2 (CZCS) utilise comme rapport B/V le rapport  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$ , l'algorithme OC3 (MODIS-A) utilise le maximum des rapports  $R_{rs}(443)/R_{rs}(551)$  et  $R_{rs}(488)/R_{rs}(551)$  et l'algorithme OC4 (SeaWiFs) le maximum des rapports  $R_{rs}(443)/R_{rs}(555)$ ,  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$  et  $R_{rs}(490)/R_{rs}(555)$ . Leur structure générale est :

$$[Chl] = 10^{\sum_{n=0}^N a_n R^n},$$

où N (égal à 3 pour OC2 et 4 pour OC3 et OC4) est le degré du polynôme définis par les coefficients  $a_n$ .

L'approche semi-analytique est basée sur un modèle bio-optique faisant intervenir les IOPs  $a$  et  $b_b$ . Dans un premier temps, les quantités  $a$  et  $b_b$  (ou plus exactement  $K_a$  et  $b$ ) sont reliées de façon empirique à la [Chl] (par ex. Morel et Maritorena 2001; Loisel et Morel 1998). Dans un deuxième temps, les réflectances sont calculées à partir de  $a$  et  $b_b$ . L'algorithme OC4Me (MERIS) utilise les longueurs d'ondes (443, 490, 510 et 560 nm) et le rapport de réflectances  $R$  (pour un soleil au zénith) au lieu des remote sensing réflectances  $R_{rs}$  (Morel et Antoine 2007).

L'intérêt de l'approche semi-analytique est qu'il est possible de modéliser toutes les propriétés optiques (dont la  $R_{rs}$ ) à toutes les longueurs d'onde. ce qui permet la comparaison avec les algorithmes empiriques. Comme le montre la figure ci-dessous, les deux approches donnent des résultats similaires (Morel *et al.* 2007c).



Extrait de Morel *et al.* (2007). Représentation graphique des algorithmes d'inversion de la [Chl] à partir du rapport de réflectance : en continu OC4v4 et en tireté son équivalent de type OC4Me.

(avec remerciement à P. Gernez, extrait de thèse 2009)

Note attention dans la formule, Chl dépend de polynomes de  $R_{rs}$  et non de  $R$  (sauf OC4Me)

### Exemples d'algorithmes empiriques

**Pour OCTS** (Kishino et al., 1998)

$$\text{Chla (mg/m}^{-3}\text{)} = 0,2818[(Lw(520)+Lw(565))/Lw(490)]^{3,497}$$

**Pour OC2** (O'Reilly et al., 1998)

$$\text{Chla (mg/m}^{-3}\text{)} = 10^{a_0+a_1\rho+a_2\rho^2+a_3\rho^3} + a_4$$

$$\text{avec } \rho = \log_{10}(\text{Rrs}(490)/\text{Rrs}(555))$$

$$a_0 = 0,341 ; a_1 = -3,001 ; a_2 = 2,811 ; a_3 = -2,041 ; a_4 = -0,04$$

si Rrs(555) n'est pas disponible elle peut être obtenue à partir de Rrs(565) pour POLDER

$$\text{Rrs}(555) = 1,0628\text{Rrs}(565) + 0,0015$$

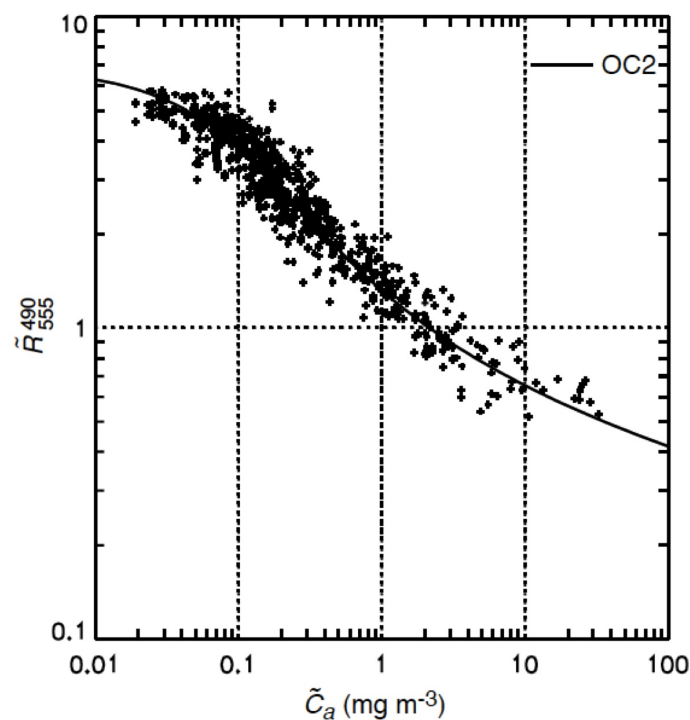


Fig. 1. A scatterplot of  $\tilde{R}_{555}^{490}$  versus  $\tilde{C}_a$  for the original SeaBAM data set ( $N = 919$ ). The curve represents the OC2 algorithm.

(extrait de O'Reilly et al., 2000, NASA Technical Memorandum 2000-206892, Vol 11)

**Pour OC2v2** (O'Reilly et al., 2000)

$$\text{Chla (mg/m}^{-3}\text{)} = 10^{a_0+a_1\rho+a_2\rho^2+a_3\rho^3} + a_4$$

$$\text{avec } \rho = \log_{10}(\text{Rrs}(490)/\text{Rrs}(555))$$

$$a_0 = 0,2974 ; a_1 = -2,2429 ; a_2 = 0,8358 ; a_3 = -0,0077 ; a_4 = -0,0929$$

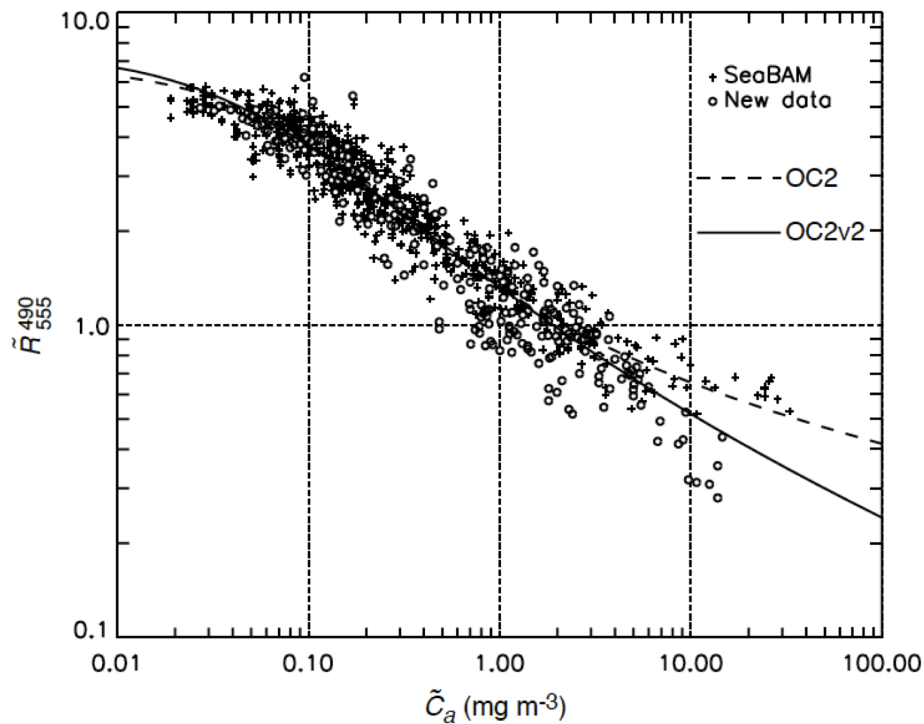


Fig. 2. A scatterplot of  $\tilde{R}_{555}^{490}$  versus  $\tilde{C}_a$  for the original SeaBAM (crosses) and the new data (circles). The dotted curve represents the original OC2 algorithm; the solid curve represents OC2v2, the new algorithm.

(extrait de O'Reilly et al., 2000, NASA Technical Memorandum 2000-206892, Vol 11)

**Pour OC4v4** (O'Reilly et al., 2000)

$$\text{Chla (mg/m}^3) = 10^{a_0 + a_1 \rho + a_2 \rho^2 + a_3 \rho^3 + a_4 \rho^4}$$

$$\text{avec } \rho = \log_{10}(\text{Rrs}(\lambda) / \text{Rrs}(555))$$

$$a_0 = 0,366 ; a_1 = -3,067 ; a_2 = 1,93 ; a_3 = -0,649 ; a_4 = -1,532$$

et  $\text{Rrs}(\lambda)$  = la plus grande valeur entre  $\text{Rrs}(443)$ ,  $\text{Rrs}(490)$ , et  $\text{Rrs}(510)$

**Bricaud(2002) pour la Méditerranée**

$$\text{Chla} = 2,094 [\text{R}(443) / \text{R}(555)]^{-2,357}$$

**Volpe et al. (2007) pour la Méditerranée**

$$\text{Chla (mg/m}^3) = 10^{a_0 + a_1 \rho + a_2 \rho^2 + a_3 \rho^3 + a_4 \rho^4}$$

$$\text{avec } \rho = \log_{10}(\text{Rrs}(\lambda) / \text{Rrs}(555))$$

$$a_0 = 0,4424 ; a_1 = -3,686 ; a_2 = 1,076 ; a_3 = 1,684 ; a_4 = -1,437$$

et  $\text{Rrs}(\lambda)$  = la plus grande valeur entre  $\text{Rrs}(443)$ ,  $\text{Rrs}(490)$ , et  $\text{Rrs}(510)$

### V – Exemple d'algorithme « généralisé » pour obtenir la concentration en matières en suspension en eaux côtières

Extrait de *Ouillon et al., Sensors , 2008, 8, 4165-4185; DOI: 10.3390/s8074165*  
Optical Algorithms at Satellite Wavelengths for Total Suspended Matter in Tropical Coastal Waters

#### *Proposal for a global algorithm with threshold*

In an attempt to build a better global algorithm, we thus propose to merge the two best-performing relationships in one formulation, following:

(a) turbidity is calculated using algorithm 2:

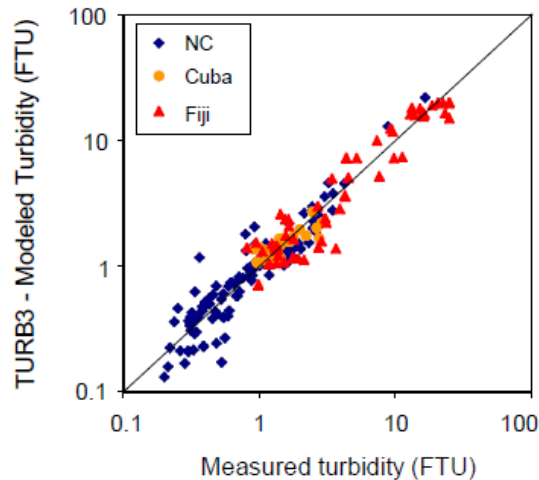
$$\text{Turb} = -6204217 (\text{Rrs681})^3 + 179652 (\text{Rrs681})^2 + 36.49 \text{Rrs681} + 0.452 \quad (6)$$

(b) if the resulting turbidity < 1 FTU, its calculation is replaced by algorithm 6:

$$\text{Turb} = 90.647 (\text{Rrs620} \cdot \text{Rrs681} / \text{Rrs412})^{0.594} \quad (7)$$

As this algorithm is based on three wavelengths (412, 620 and 681 nm, available e.g. with MERIS), we propose to call it hereafter TURB3. Its statistical performances show its ability to estimate turbidity with a mean bias of 3.6%, a rms error of 35% and a mean quadratic error of 1.4 FTU (Table 3, Fig. 12). Algorithm 6 induces lower rms errors both globally and in New Caledonia, but fails to estimate higher turbidity (as indicated by higher rms errors in Cuba and Fiji). TURB3 enables to significantly reduce the mean quadratic error with the Fiji data (2.4 FTU against 3.7 with algorithm 6).

**Figure 12.** Comparison of measured turbidity (averaged over 3 m below the sea surface) and turbidity calculated from Rrs412, Rrs620 and Rrs681 using TURB3 algorithm (N=193).



\*FTU Formazine Turbidity Unit unité de calibration des turbidimètres

**V – Algorithmes régionaux en Méditerranée**

A partir de mesures effectuées le 22 juillet 1992 au large de Gaza, Gitelson *et al.* (1996) proposèrent le 1<sup>er</sup> algorithme régional. Il s'agit d'une adaptation du modèle global développé pour les eaux du cas 1 par Gordon et Morel (1983) :

$$[\text{Chl}] = 0.914 \left[ \frac{R(442)}{R(550)} \right]^{-1.86}$$

Cet algorithme a été validé par des mesures en Méditerranée orientale entre juillet 1981 et juin 1984 (Berman *et al.* 1984).

A partir des mesures réalisées sur l'ensemble du bassin dans le cadre de l'expérience « SYNoptic Mesoscale and PLankton EXperiment » SYMPLEX (1998-2000), D'ortenzio *et al.* (2002) proposèrent un algorithme régional du type OC2 :

$$[\text{Chl}] = 10^{(0.217 - 2.728R + 0.704R^2 + 0.297R^3)} - 0.035, \text{ où } R = \log_{10} \left[ \frac{R_{rs}(490)}{R_{rs}(555)} \right]$$

Cet algorithme est basé sur des mesures acquises dans des zones en majorité oligotrophes (70% des [Chl] < 0.1 mg m<sup>-3</sup>) ; il a été forcé afin de reproduire les valeurs dérivées de l'algorithme OC2 pour les plus fortes concentrations de [Chl].

A partir de mesures effectuées en septembre 1999 en mer Ionienne et en Méditerranée Occidentale (campagne PROSOPE), entre décembre 1997 et janvier 1998 en mer d'Alboran (campagne ALMOFRONT-2), Bricaud *et al.* (2002) proposèrent :

$$[\text{Chl}] = 2.094 \left[ \frac{R(443)}{R(555)} \right]^{-2.357}$$

Cet algorithme a été validé par les mesures effectuées entre novembre 1996 et juin 1997 à la station DyFaMed et entre mars et juillet 1998 dans le bassin Algérien (campagnes ELISA-3 et -4).

L'algorithme régional le plus récent est le « MedOC », développé par Volpe *et al.* (2007) à partir de données assemblées sur plus de 30 campagnes entre 1997 et 2005 dans l'ensemble du bassin. C'est une adaptation de l'algorithme OC4 :

$$[\text{Chl}] = 10^{(0.4424 - 3.686R + 1.076R^2 + 1.684R^3 - 1.437R^4)},$$

$$\text{où } R = \log_{10} \left( \max \left[ \frac{R(443)}{R(555)}, \frac{R(490)}{R(555)}, \frac{R(510)}{R(555)} \right] \right)$$

(avec remerciement à P. Gernez, extrait de thèse 2009)

En Méditerranée, dans les eaux claires, comme cela est montré sur la figure 5-2, le rapport bleu-vert de réflectance est généralement situé au dessous de la loi moyenne (Gitelson *et al.* 1996 ; Bricaud *et al.* 2002 ; D'ortenzio *et al.* 2002 ; Claustre *et al.* 2002b ; Volpe *et al.* 2007). En conséquence, les algorithmes d'inversion basés sur un rapport de réflectance surestiment la concentration en chlorophylle réelle. Cela est illustré en figure 5-3 où l'erreur d'estimation au site BOUSSOLE est indiquée sur des exemples de cartes satellites (SeaWiFs) de [Chl] à six dates choisies entre 2001 et 2006. C'est ce qu'on appelle l'**anomalie de réflectance**, ou **anomalie de chlorophylle**, ou encore **anomalie bio-optique en Méditerranée**.

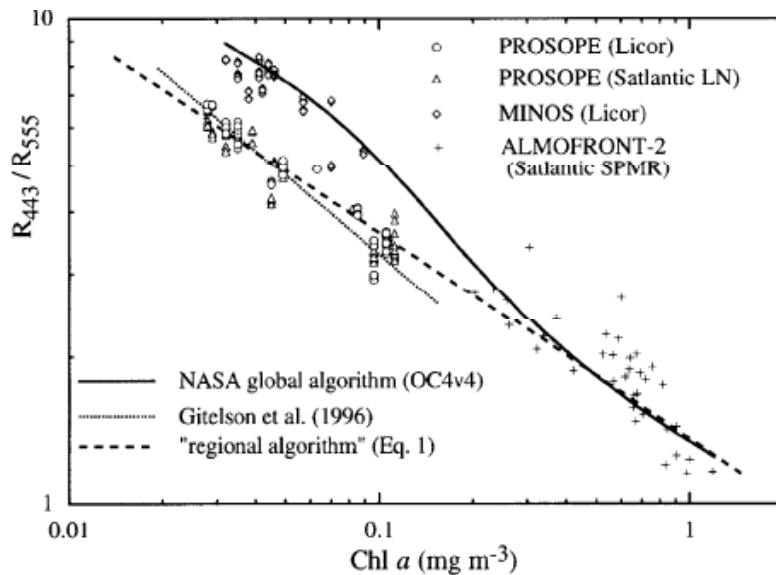
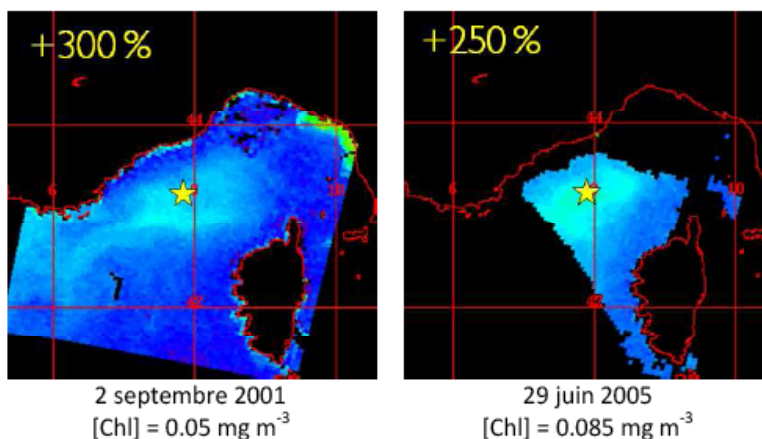


Figure 5-2 Extraite de Bricaud *et al.* (2002). Variations du rapport  $R(443)/R(560)$  en fonction de la [Chl]. Les mesures furent réalisées lors de diverses campagnes, comme indiqué. La ligne continue représente l'algorithme standard OC4v4 de la NASA. Les tiretés et les pointillés indiquent les algorithmes régionaux de Bricaud *et al.* (2002) et Gitelson *et al.* (1996).



OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

Figure 5-3 Extrait de la présentation «Nuances in case 1 waters optical properties : a case study in the oligotrophic northwestern Mediterranean Sea (BOUSSOLE site) », D. Antoine et A. Morel, *Ocean Optics XVIII*, Montreal, 9-13 Octobre 2006. Exemples de cartes satellites (SeaWiFs, NASA GSFC) au dessus de la mer Ligure, (ici) à 2 dates sélectionnées entre 2001 et 2006. Le site BOUSSOLE est indiqué par une étoile : la concentration en chlorophylle indiquée a été obtenue par HPLC. L'erreur d'estimation est indiquée en jaune en haut à gauche.

Plusieurs hypothèses ont été formulées pour expliquer cette anomalie. D'après Gitelson *et al.* (1996), la surestimation de la [Chl] est liée à un excès de l'atténuation spécifique  $cp^*$ , en raison de la présence de coccolithophoridées et de coccolithes nomades. Cependant, les abondances typiques en coccolithophoridées ne sont pas suffisamment importantes pour expliquer des écarts de diffusion (D'ortenzio *et al.* 2002). Un excès de retrodiffusion à 555 nm, cette fois cause par la présence d'aérosols en provenance du Sahara, a été proposé (Claustre *et al.* 2002b), mais à ce jour il n'existe aucune évidence directe d'une variation des propriétés optiques en réponse à un dépôt de poussière désertiques. Plus récemment, il a été montré que les eaux Méditerranéennes étaient caractérisées par un excès d'absorption dans la partie bleu du visible, en raison d'une contribution de l'absorption par les substances dissoutes supérieures à la moyenne (Morel *et al.*, 2007a; Morel 2009; Morel et Gentili, 2009).

Les développements d'algorithmes régionaux ont permis de corriger l'erreur d'estimation de la [Chl] à plusieurs reprises (Gitelson *et al.* 1996 ; Bricaud *et al.* 2002 ; D'ortenzio *et al.* 2002 ; Volpe *et al.* 2007). Ces algorithmes régionaux ont été construits de façon empirique, à partir de données collectées lors d'un certain intervalle de temps et pour certaines zones du bassin. Leur validité au-delà de ces limites n'est pas garantie.

En résumé, les données globales, malgré une forte dispersion, ont permis d'établir des lois moyennes. En Méditerranée, dans les eaux claires ( $[Chl] < 0.3 \text{ mg m}^{-3}$ ), un écart systématique a été reporté. Il s'agit d'un rapport B/V de réflectance plus faible que prévu. En conséquence, les [Chl] déduites des algorithmes standards de télédétection sont surestimées.

Une telle surestimation a en fait surtout été rapportée à l'issue de campagnes toutes organisées en été (par ex MINOS en juin, AOPEX en août, PROSOPE en septembre). La situation est en fait différente en automne-hiver, où la [Chl] est au contraire sous-estimée ! Cela a été mis en évidence par l'analyse de la série temporelle acquise à BOUSSOLE (thèse Gernez, 2009).

En effet, en automne-hiver, le rapport B/V est au-dessus de la moyenne et la concentration en chlorophylle a tendance à être sous-estimée. L'hypothèse de Gernez (thèse 2009) est qu'il existe des cycles saisonniers et que les relations bio-optiques diffèrent suivant les saisons, créant des écarts par rapport à la moyenne globale. Des anomalies "positives" (fort rapport B/V et surestimation de la [Chl]) sont engendrées au début de la stratification, et donc observées en été. Alors que des anomalies "négatives" (faible rapport B/V et sous-estimation de la [Chl]) peuvent être engendrées à l'automne, lors de la transition de la situation estivale stratifiée à un régime mélangé en hiver. Ce serait alors dû à un déficit de retrodiffusion (par rapport aux lois globales moyennes).

Le modèle régional de Volpe *et al.* (2007) décrit bien la partie inférieure du nuage de points correspondant aux anomalies positives. Cependant son utilisation systématique conduirait à des sous-estimations importantes de [Chl].

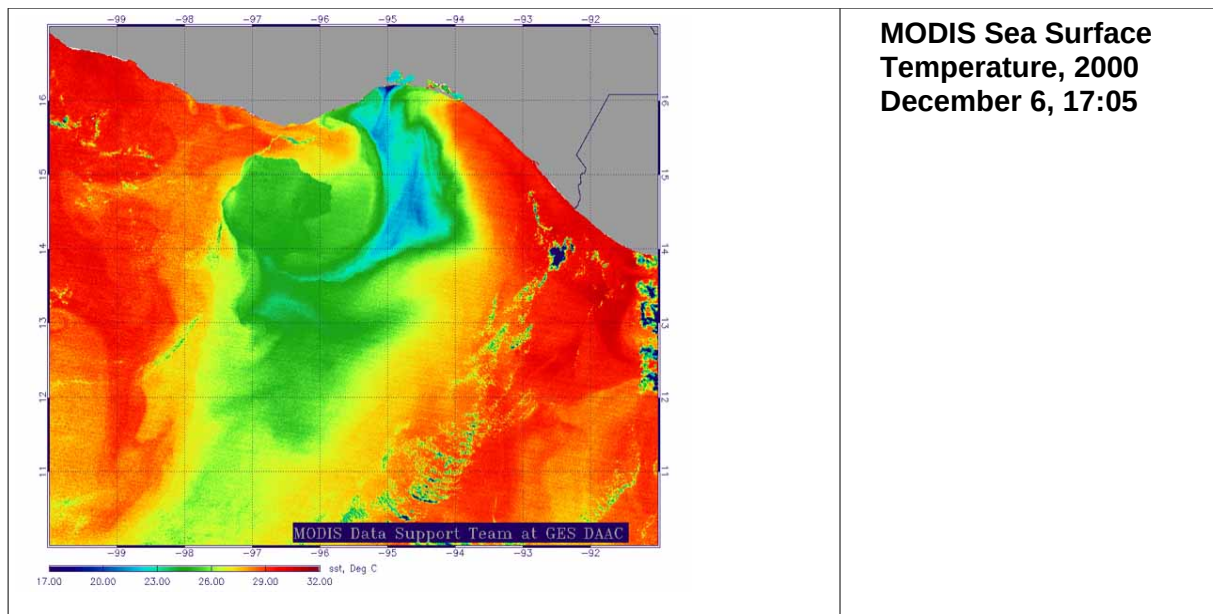
## **VI – Modèle côtier "français"**

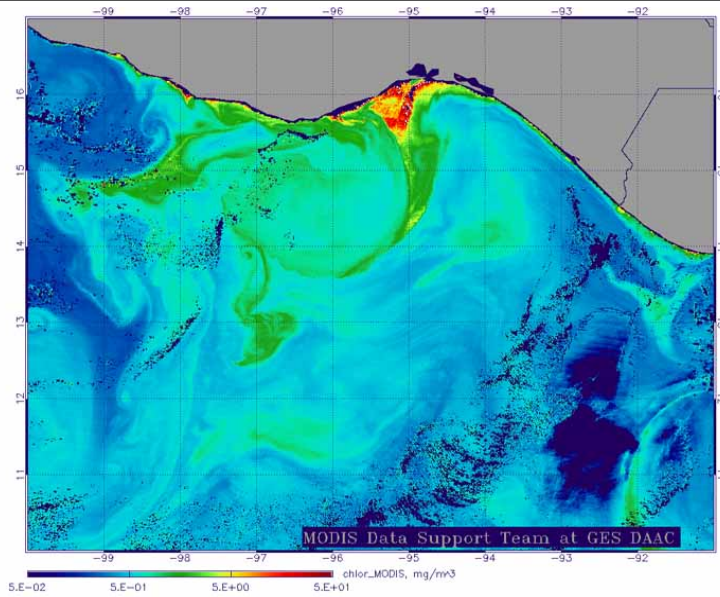
Il y a aussi un modèle appelé OC5 (Gohin et al., 2002), qui est un modèle bio-empirique utilisant des données MODIS, MERIS et SeaWifs, bien adapté pour les côtes françaises avec eaux de cas 2. Cet algorithme tend à corriger la surestimation de la chlorophylle en eaux turbides (ex panache du Rhône) en utilisant une Table de mesures empiriques (lookup table) adaptée aux côtes françaises de la Manche basées sur des seuils de Rrs à 555 nm et à 412 nm. Cet algorithme donne aussi de bons résultats dans le golfe du Lion.

\* Gohin, F., Druon, J.-N. and Lampert, L. (2002) A five channel chlorophyll algorithm applied to SeaWifs data processed by SeaDas in coastal waters, International journal of remote sensing, vol. 23, pp. 1639-1661

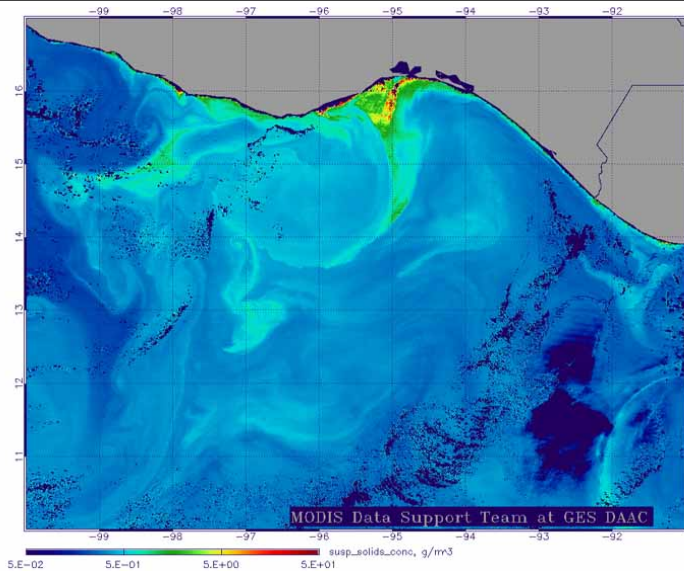
Cependant, de manière générale, l'utilisation d'un algorithme régional est dangereux car, à certaines saisons, l'estimation sera améliorée mais à d'autres elles pourraient être empirées par rapport à une méthode globale."

**Actuellement nous observons une transition vers la détection de structures physiques méso-échelle (10 à 100 km) à sub-mésoéchelle (1 à 10 km).**





**MODIS Surface  
Chlorophyll  
Concentration, 2000  
December 6, 17:05**



**MODIS Total  
Suspended Solids ,  
2000 December 6, 17:05**

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

## **VII - ANNEXES      Instruments de la télédétection marine**

### **Description des satellites en fonction du produit fourni :**

<http://www.ceos.org/>

### **Committe on Earth Observation Satellites**

Ex **Nom du satellite porteur** (nom du capteur; pas toujours mentionné)

#### **1) radars MW et HF/VHF**

- diffusiomètre → SSW  
ex **Seasat, ERS-1 (2), ADEOS (2), Quikscat**
- SAR → vagues, structures dynamiques, SSW, nappes  
ex **Seasat (SAR), Cosmos, ERS-1 (2), Radarsat, Envisat (ASAR)**
- Altimètre → topographie dynamique, SSW, SSH  
ex **GEOS-3, Seasat, Geosat, ERS-1 (2), Topex-Poseidon, Jason-1 (2), Envisat**

[Pas sur satellite :

radar sol HF/VHF, CODAR → courants, spectres des vagues]

#### **2) radiomètres V/NIR - haute résolution**

- turbidité, fronts, nappes, structures bathymétriques, structures thermiques (Landsat seulement)
- ex **Landsat, Spot (HRV, HRVIR), Adeos (Avnir), MOS, Resurs**

#### **3) spectroradiomètres V - moyenne/basse résolution**

- couleur de l'eau : chlorophylle, turbidité (+SST pour MODIS)
- ex **Nimbus (CZCS) , IRSP-3 (4), Adeos (2) (OCTS, POLDER), Seastar (SeaWiFS), Terra-EOS et Aqua-EOS(MODIS), Envisat (MERIS), ADEOS II (GLI), NPP (VIIRS), Sentinel 3A (OLCI),**  
regional : GOCI (Corée), HICO (USA)

#### **4) radiomètres IR/MW - basse résolution**

- SST
- ex **NOAA (AVHRR), MOS, ERS**
- Nelle génération Le capteur SEVIRI est un radiomètre à balayage et c'est la rotation du satellite autour de son axe principal d'inertie qui est utilisée pour réaliser l'acquisition des images. 12 canaux du visible, de l'infrarouge moyen et de l'infrarouge thermique toutes les 15 minutes, avec une résolution spatiale accrue.

#### **5) radiomètres MW**

- SST, SSW
- ex **Seasat (SMMR), Nimbus (SMMR), DMSP, Mir**

#### **6) autres**

- radar tournant (MIROS, VAGSAT) →vagues

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

- INSAR → courants, vagues
- lidar → bathy + DOM, Chl
- salinomètre (OSIRIS NASA, MIRAS CNES) → SSS
- radiometre MW + interferometre (SMOS 2007) → SSS
- GPS bi-statique → SSW, SSS, vagues

**Acronymes :**

AVHRR = Advanced Very High Resolution Radiometer

ASAR = active SAR

CZCS = Coastal Zone Color Scanner

HRV = Haute Resolution Visible

IR = *infra-rouge* (1.3  $\mu\text{m}$  - 1mm)

MERIS = MEdium Resolution Imaging Spectrometer (300 m)

MODIS = Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (250m, 500 m, 1km)

MW = *micro-ondes* (1 mm - 1m)

NIR = *proche infra-rouge* (.7-1.3  $\mu\text{m}$ )

OCTS = Ocean Color and Temperature Scanner

POLDER = POLarization and Directionality of the Earth's Reflectance

SeaWiFS = Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor (1.1 km; 4 km)

SAR = Synthetic Aperture Radar

SMMR = Scanning Multichannel Microwave Radiometer

SSH = *sea surface height*

SSS = *sea surface salinity*

SSW = *sea surface wind*

V = *Visible* (.4-.7  $\mu\text{m}$ )

The satellite-based instruments listed on this page are operational instruments currently used in CMEMS products. Even more satellite observations are used by CMEMS, for climatology, reanalysis and validation purposes, from past missions or from satellites that do not deliver data in real-time.

<b>Instrument type</b>	<b>Ocean parameter measured</b>	<b>Instrum ent name</b>	<b>Satellite</b>
<b>Spectroradiometer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Chlorophyll content</li> <li>•Organic and mineral content</li> <li>•Sea surface temperature</li> <li>•Sea Ice Cover</li> </ul>	<a href="#">MODIS</a>  <a href="#">MERIS</a>	
<b>Infrared radiometer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sea surface temperature (SST)</li> </ul>	<a href="#">AVHRR</a>  <a href="#">AATSR</a> <a href="#">MODIS</a> SEVIRI GOES	(NOAA, USA) + METOP ( <a href="#">Eumetsat</a> , Europe) <a href="#">Envisat</a> (ESA, Europe) Aqua, Terra (NASA, USA) MeteoSat ( Eumetsat, Europe) <a href="#">(NOAA, USA)</a> DMSP (NASA, USA)
<b>Microwave radiometer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Atmospheric water vapor content</li> <li>•Atmospheric water liquid content (cloud)</li> <li>•Rain rates</li> <li>•Sea-ice concentration, type, extent</li> <li>•SST</li> <li>•Salinity</li> </ul>	SSM/I  <a href="#">TMI</a> <a href="#">AMSR-E</a> MWR JMR, AMR	DMSP ( <a href="#">NASA</a> , USA) TRMM (NASA, USA) Aqua (NASA, USA) + (developed by JAXA, Japan) Envisat (ESA, Europe) Jason-1, Jason-2 (Cnes, France + NASA, USA)
<b>Altimeter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Sea-surface height</li> <li>•Ocean surface wind speed</li> <li>•Wave height</li> <li>•Sea ice</li> </ul>	<a href="#">Poseidon-2</a> <a href="#">RA-2</a> <a href="#">Poseidon-3</a>	<a href="#">Jason-1</a> (CNES, France + NASA, USA) Envisat (ESA, Europe) <a href="#">Jason-2</a> (CNES, France + NASA, NOAA, USA + Eumetsat, Europe)
<b>Scatterometer</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Wind speed and heading (10 m above ocean surface)</li> <li>•Rain</li> <li>•Sea ice concentration</li> </ul>	<a href="#">ASCAT</a>	Metop (Eumetsat, Europe)
<b>Synthetic Aperture Radar (SAR)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Wind</li> <li>•Surface wave field</li> <li>•Sea ice monitoring</li> </ul>		Radarsat-1, Radarsat-2, Canada Envisat, Europe

(site : <http://marine.copernicus.eu/training/education/observation/satellites/>)

European Commission <<http://marine.copernicus.eu/>>

CMEMS=

Copernicus Marine Environment Monitoring Service

providing Products and Services for all marine applications

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

o Training & Education

<<http://marine.copernicus.eu/training/>>

+ online tutorials

<<http://marine.copernicus.eu/training/online-tutorials/>>

o Ocean State Report

<<http://marine.copernicus.eu/science-learning/ocean-state-report/>>

+ Ocean State Report 2016 – 1st issue

<<http://marine.copernicus.eu/science-learning/ocean-state-report/ocean-state-report-2016-1st-issue/>>

o Education

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/>>

+ Observation

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/observation/>>

# Satellites

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/observation/satellites/>>

# In situ

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/observation/in-situ/>>

+ Modelling

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/modelling/>>

+ Ocean parameters

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/>>

# Temperature

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/temperature/>>

# Salinity

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/salinity/>>

# Currents

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/currents/>>

# Sea ice

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/sea-ice/>>

# Sea level

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/sea-level/>>

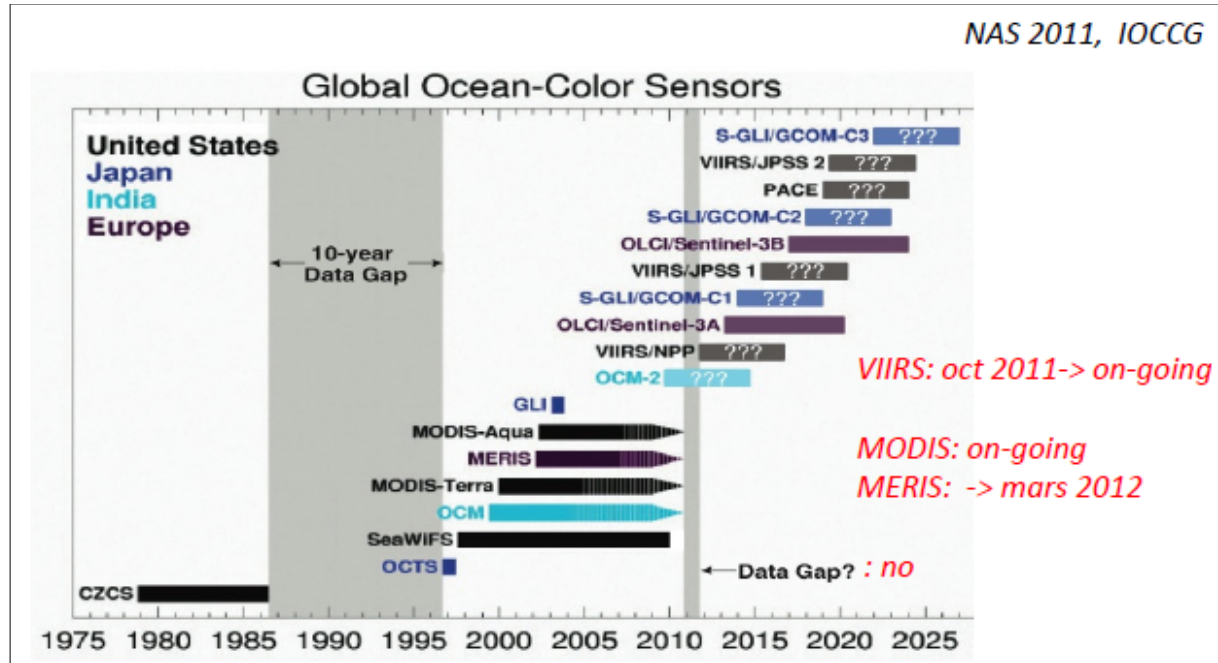
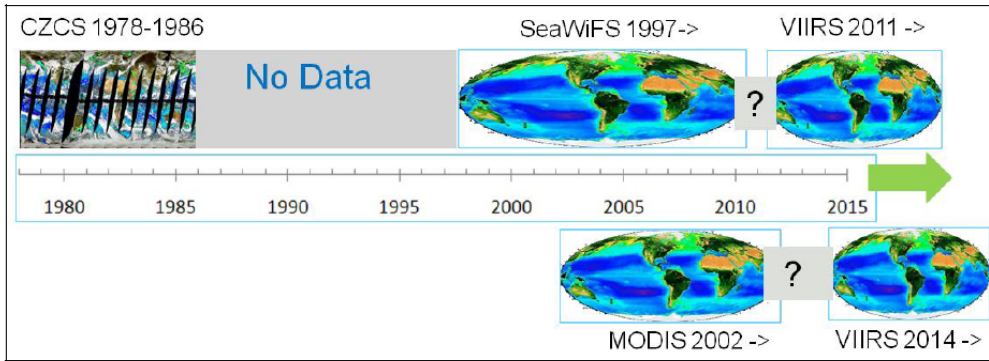
# Wind

<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/wind/>>

# Biogeochemistry

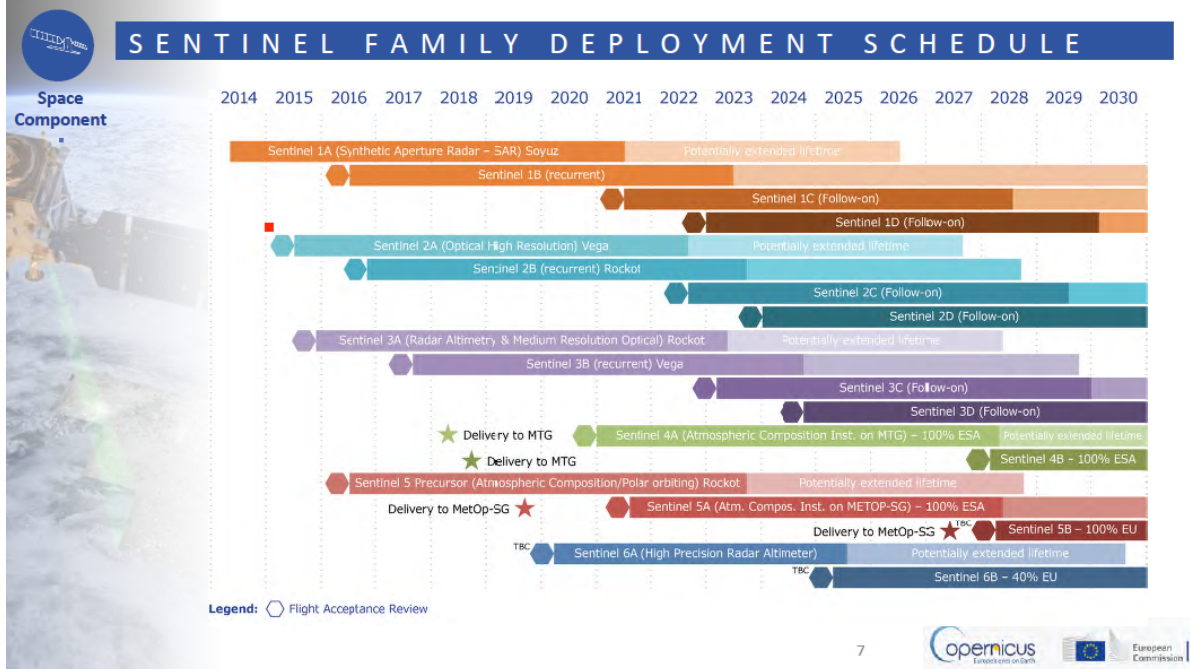
<<http://marine.copernicus.eu/training/education/ocean-parameters/biogeochemistry/>>

Sequence of NASA present and upcoming missions (2011);



**Presentations IOCS Meeting Libonne 2017 (voir <http://iocs.ioccg.org/programme/conference-materials/>)**

**Richard Gilmore Introduction to Copernicus Programme (Sentinel et CMEMS)**

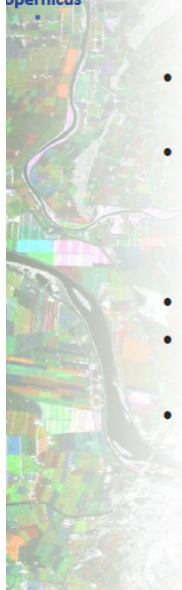


**Sentinel support to ocean colour**

- Sentinel 3a (soon joined by 3b, < 2-day revisit time)
- OLCI instrument, designed for both Ocean and Land acquisition, operated by Eumetsat
- OLCI builds on MERIS heritage (21 spectral bands, better S/N, on-board processing, 5 cameras, sun-glint attenuation)
- Complements other OC missions (SeaWiFS, MODIS, VIIRS)
- Sentinel 2a/b: hi-res multispectral designed for land cover
- Currently investigating potential to observe coastal regions
- Complementary to S3 thanks to high resolution (potential to look at coastal features such as river plumes, impact of wind farms...)
- Sentinel data is available freely and openly



Marine Service use of ocean colour



- OLCI L2 data assimilated to give L3 & L4 OC products.
- Product portfolio includes biogeochemistry products (global 4km/regional 1km, multiyear model [15-30 yrs], nowcast/forecast, multiyear obs. [30 yrs], NRT obs. from satellites and in-situ).
- Improvement expected with V4.
- All available in one place.
- R&D continues in this area:
  - H2020, Space/EO/Copernicus evol./Cross-cutting coastal area to be addressed, Q4 2017.
  - CMEMS Service Evolution call: Q4 2017.

Bio			
CHL :	Chlorophyll-a	Si :	Silicate
O2 :	Dissolved Oxygen	NH4 :	Ammonium
N :	Nitrate	RadFlux :	Radiative Flux
P :	Phosphate	Eup :	Depth of Euphotic Zone
Phyto :	Phytoplankton	pCO2 :	Carbon dioxide partial pressure
Zoo :	Zooplankton	pH :	Ocean acidity
PP :	Primary Production	SST :	Sea Surface Temperature
Fe :	Iron		No product available

14



Anne Lifermann “CNES support to ocean colour science »

‘Advancing Ocean Colour Observations’ from space

Support to Ocean Colour Science

Image Quality activities

- Reprocessing of POLDER dataset
- Sentinel 3A (OLCI & SLSTR) vicarious calibration
- Sentinel 2B

Phase 0 studies

- OCAPI phase 0 > EE9
- Calipso satellite tilt measurements > MESCAL
- Acidification

In-situ observations

- Boussole
- BGC-Argo floats
- Mammals
- Greenedge
- Peacetime
- Outpace
- Coastal obs
- Cyto flux meas
- MES (Rhone, Vietnam...)

Algorithms dev

- Improved corrections
- Phytoplankton functional types
- Carbon in coastal waters POC & DOC
- Lidar inversion

Multi-source (OC + SST, SSH, SSS) science studies

Models & assimilation

- OCAPI

19 IOCS Lisbon, May 15-19, 2017



International activities dechargeables sur les presentations du mercredi 17 mai 2017:

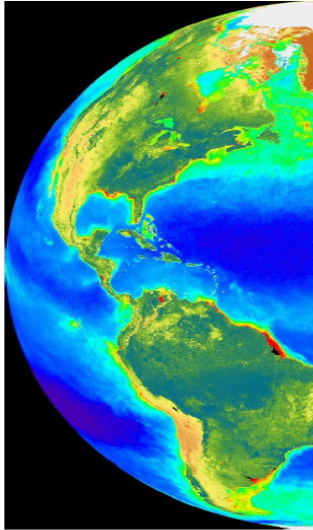
09:15 – 09:30 Korean geostationary ocean colour missions, GOCI and GOCI-II ([Seongick Cho](#))

- 09:30 – 09:45 CONAE: Missions and initiatives for coasts and oceans ([Sandra Torrusio](#))
- 09:45 – 10:00 ISRO: Ocean colour activities in India ([Prakash Chauhan](#))
- 10:00 – 10:15 Update on Chinese ocean colour satellite missions ([Zhihua Mao](#))

Bryan Franz NASA OBPG/satellite ocean colour update

## NASA Ocean Biology Processing Group

currently supporting calibration, validation, software development, (re)processing, and distribution for a multitude of ocean color missions & sensors.



### Global Processing & Distribution

- **VIIRS/NPP** (USA)
- **MODIS/Aqua** (USA)
- **MODIS/Terra** (USA)
- **OLCI/S3A** (Europe)
- SeaWiFS (USA)
- CZCS (USA)
- MERIS (Europe)
- OCTS (Japan)

### Regional Processing & Distribution

- **GOCI** (Korea)
- **HICO** (USA)

### Limited Mission Support

- Landsat-8/OLI (USA)
- Sentinel-2/MSI (Europe)
- OCM-1/2 (India)
- OSMI (Korea)
- MOS (Germany/India)



## Ocean Color Reprocessing

All global missions are now at version R2014.0 (with the exception of MERIS).

Reprocessing R2014.0 included:

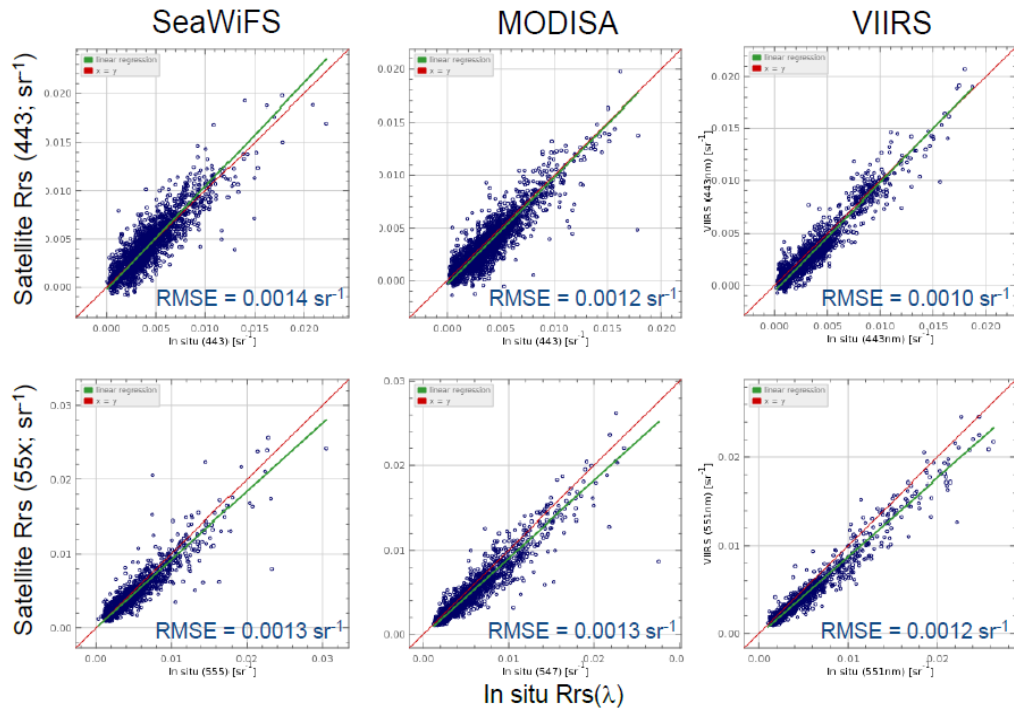
- updates to instrument and vicarious calibrations
- updates to standard algorithms (e.g., OCI Chlorophyll)
- expansion of standard products to include suite of inherent optical properties (GIOP).
- switch to NetCDF4 file formats (Level-2 and Level-3)

We have **not** reprocessed any ocean color missions in the past year!



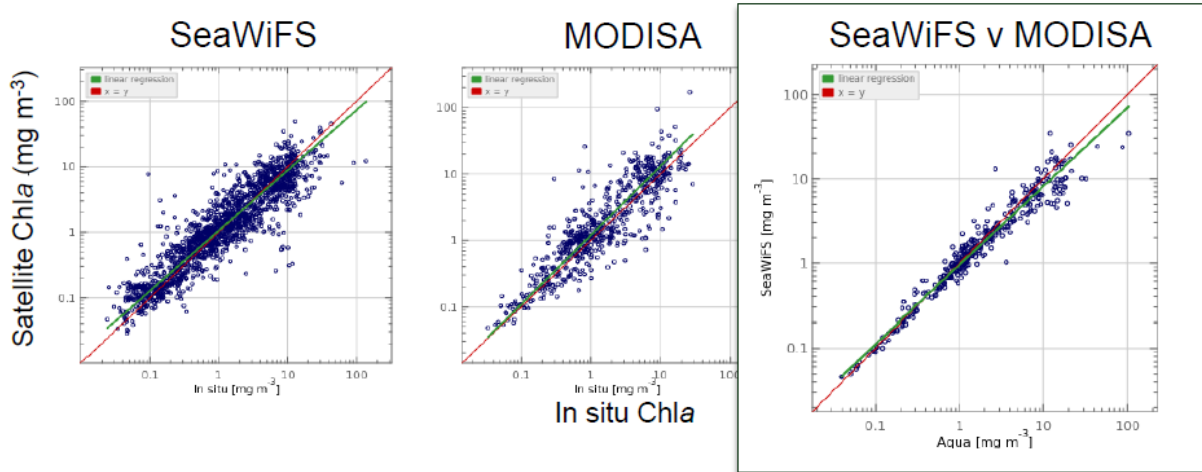
### Rrs( $\lambda$ ) Validation

all available in situ match-ups from SeaBASS & AERONET-OC



### Chlorophyll-a Validation

all available in situ match-ups from SeaBASS

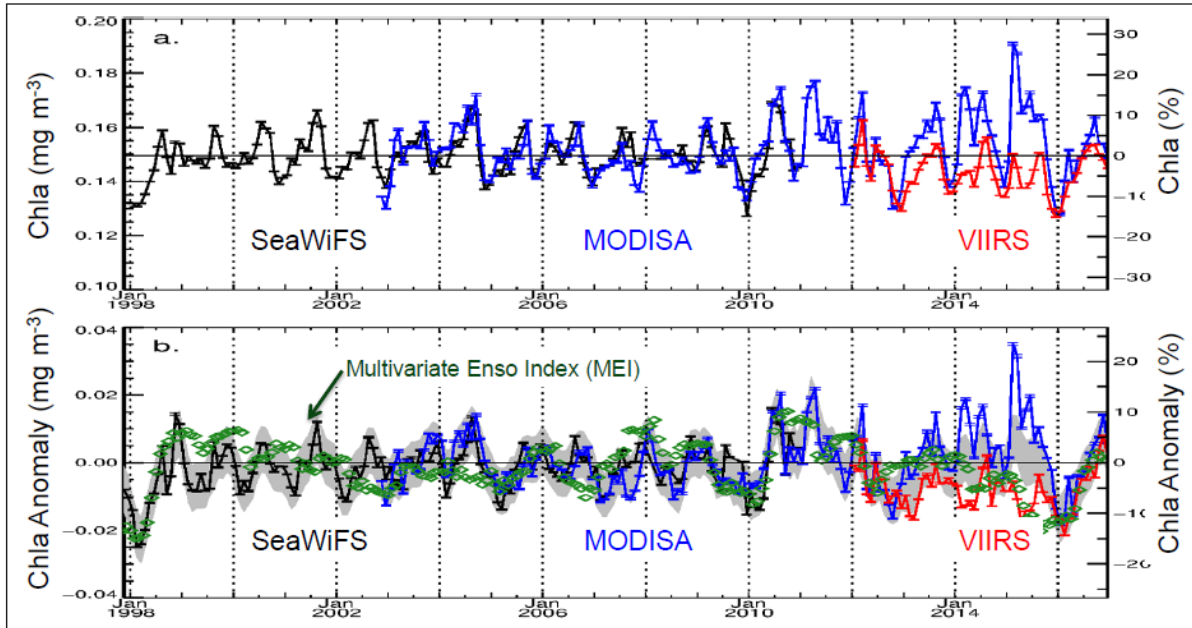


- in VIIRS era
- heavy reliance on AERONET-OC for radiometric validation
  - need more 2012-2017 chlorophyll in SeaBASS!



# Long-term (19-year) Chlorophyll Record

multiple missions, consistently processed

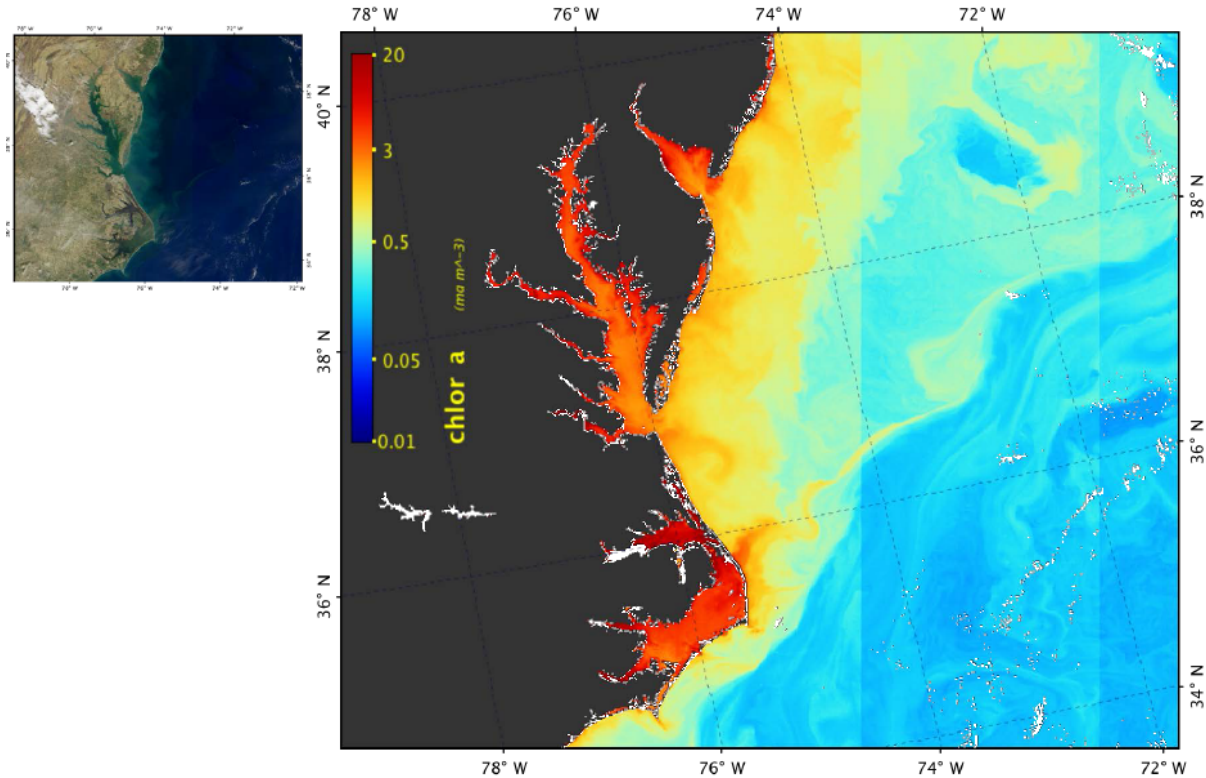


known issues with MODIS/Aqua data quality after 2012



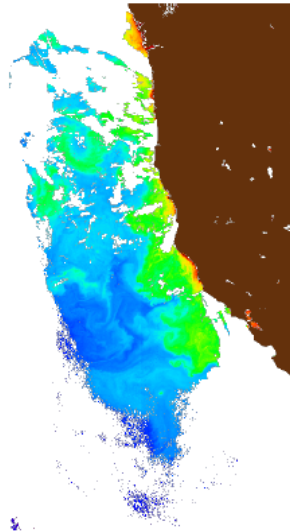
# OLCI Processed with SeaDAS

using standard NASA algorithms

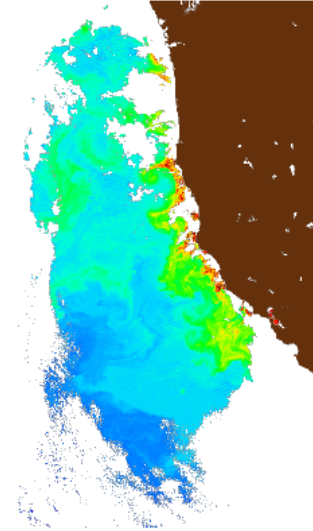




## Chlorophyll-a Comparison of VIIRS and OLCI using standard NASA algorithms



OLCI



VIIRS



## Sentinel-3 OLCI Support (ESA)

- **Processing capability**
  - standard NASA ocean color processing codes have been augmented to support OLCI
  - processing capability from Level-1B with NASA algorithms is supported in current SeaDAS
  - refinements to incorporate updated spectral response and implement smile correction in progress
- **Data distribution**
  - OBPG is acquiring full OLCI mission at Level-1B, through ESA-NASA gateway (FR/RR, archived from start of commissioning)
  - distribution (mirror) of RR Level-1B via ocean color web portal, with FR coming soon
  - **anticipating full mission Level-1B update from ESA**
  - production & distribution of NASA Level-2 is TBD

## **HISTORIQUE DES MISSIONS SATELLITE « Océanographiques »**

**Seasat**      June 27, 1978      99 jours défaillance du système central;  
800 km orbite proche polaire; couvrant 95 % terre; SAR 25 m résolution

**Nimbus 7**      Oct 78 -> mi-1986

**COASTAL ZONE COLOR SCANNER**

<b>CZCS:</b>	<b>443, 520, 550, 670 (20 nm)</b>	<b>couleur de l'eau</b>
	700 - 800 nm	végétation de surface
	10 500 - 12 500 nm	T surface

**SPOT (Système Probatoire d'Observation de la Terre ou Satellite Pour l'Observation de la Terre)** est une famille de [satellites de télédétection](#) français civils d'observation de la Terre développé par l'agence spatiale française, le [CNES](#) (Centre national d'études spatiales). Cinq premiers exemplaires ont été lancés entre 1985 et 2002. Les images fournies par les satellites sont commercialisées par [Astrium](#). Spot 6 a été lancé en 2012 et SPOT 7 est prévu pour début 2014.

- Résolution des images produites :
  - Panchromatique : 1.5 m (noir ou blanc)
  - Couleurs : 1.5 m
  - Multispectral : 6 m
- Bandes spectrales, acquisitions simultanés panchromatique et multispectrales dans les fréquences suivantes :
  - Panchromatique (455 – 745 µm)
  - Bande bleue (455 – 525 µm)
  - Bande verte (530 – 590 µm)
  - Bande rouge (625 – 695 µm)
  - Bande Proche infrarouge (760 – 890 µm)
- Emprise : 60 km sur 60km
- Programmation réactive : 6 plans de programmation par jour pour chaque satellite
- Capacité d'acquisition : 3 millions de km<sup>2</sup> par jour
- Dates de lancement : SPOT 6 a été lancé le 9 septembre 2012 par un lanceur PSLV indien

SeaStar satellite      **de septembre 1997 (11 ans après CZCS) à 2010**

***SeaWiFS: Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor***

low Earth, circular, parking orbit of 278 km with an inclination of 98 degree 20 minute ; solar panels with batteries

Band	Center Wavelength (nm)	Bandwidth
1	412	20
2	443	20
3	490	20
4	510	20
5	555	20
6	670	20
7	765	40
8	865	40

LAC data (1.1 km au nadir) ; GAC (4.4 km au nadir)  
trois niveaux de traitements

**MODerate resolution Imaging Spectrometer (MODIS)**

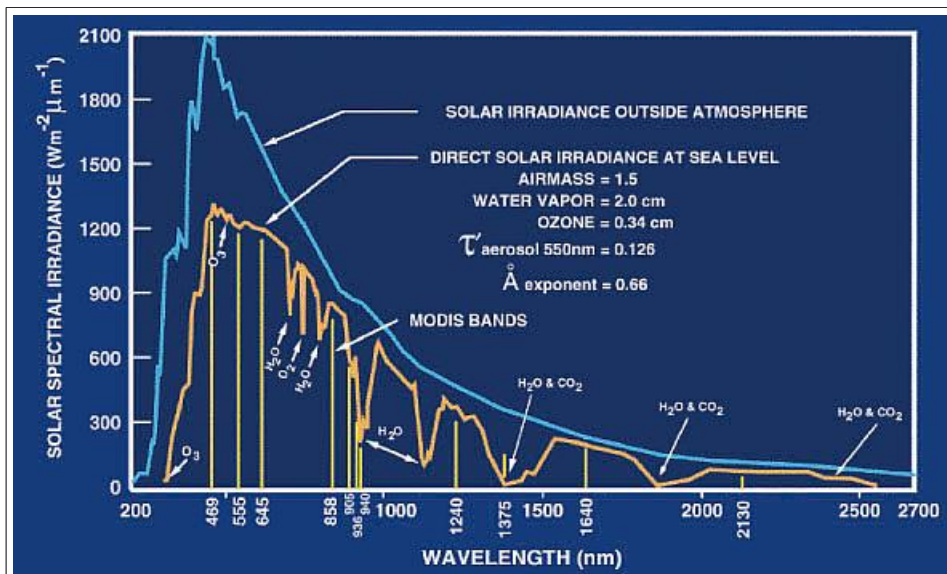
36 longueurs d'onde

NASA Earth Observing System (EOS)

en 1999 à bord du satellite [Terra](#) (EOS AM - orbite descendante),en 2002 à bord du satellite [Aqua](#) (EOS PM -orbite ascendante)

Bande/longueur d'onde/résolution/

8	405–420	1000m	
9	438–448	1000m	
10	483–493	1000m	
11	526–536	1000m	Ocean Color/
12	546–556	1000m	Phytoplankton/
13	662–672	1000m	Biogeochemistry
14	673–683	1000m	
15	743–753	1000m	
16	862–877	1000m	

[MODIS\\_ATM\\_solar\\_irradiance.jpg](#)

ENVISAT May 2000 5ans ESA polar

**MEDium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)** 1150 km

Spectral range: 390 nm to 1040 nm (soleil pas de nuages)

Spectral resolution: 2.5 nm

Band transmission capability:

Up to 15 spectral bands, programmable in position and width

ASAR (5.3 GHz ; C band) active SAR reflectivity (nuages ou non)

DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)

ozone monitoring, stratosphere chemistry

<http://envisat.estec.esa.nl/>

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

**ADEOS II launched in 2000 (Japanese satellite)**

**ADEOS** jusqu'en 97

Ocean Color and Temperature Scanner (OCTS) 12 bands visible + IR

Polarization and Directionality of the Earth's Reflectance (POLDER) CNES

angular characteristics of the earth's reflectance (14 directions)

scanned four times every 5 days

NASA Scatterometer (NSCAT)

active microwave radar to measure wind speed and direction over the oceans

by transmitting Ku band microwave pulse (13.995 GHz ; 0.75cm to ~2.5cm )

**OCM Ocean Color Monitor** (India) satellite: IRS – P4 (depuis 99 )

Longueurs d'onde: 414, 442, 489, 512, 557, 670 nm (résolution 20 nm)

et 768 et 867 nm (résolution 40 nm)

tous les deux jours

Hammann et Puschell, SeaWiFS-2: an ocean color data continuity mission to address climate change, Remote Sensing System Engineering II, edited by Philip E. Ardanuy, Jeffery J. Puschell, Proc. of SPIE Vol. 7458, 745804 · © 2009 SPIE

**Current Ocean-Colour Sensors** (<http://www.ioccg.org/sensors/current.html>) début 2016

SENSOR	AGENCY	SATELLITE	LAUNCH DATE	SWATH (km)	SPATIAL RESOLUTION (m)	BANDS	SPECTRAL COVERAGE (nm)	ORBIT
<a href="#">COCTS</a> <a href="#">CZI</a>	CNSA (China)	HY-1B (China)	11 April 2007	2400 500	1100 250	10 4	402 - 12,500 433 - 695	Polar
<a href="#">GOCI</a>	KARI/KOR DI (South Korea)	COMS	26 June 2010	2500	500	8	400 - 865	Geostationary
<a href="#">HICO</a>	ONR and DOD Space Test Programme	JEM-EF Int. Space Stn.	18 Sept. 2009	50 km Selected coastal scenes	100	124	380 - 1000	51.6°, 15.8 orbits p/d
<a href="#">MERSI</a>	CNSA (China)	FY-3A (China)	27 May 2008	2400	250/1000	20	402-2155	Polar
<a href="#">MERSI</a>	CNSA (China)	FY-3B (China)	5 November 2010	2400	250/1000	20	402-2155	Polar
<a href="#">MODIS-Aqua</a>	NASA (USA)	Aqua (EOS-PM1)	4 May 2002	2330	250/500/1000	36	405-14,385	Polar
<a href="#">MODIS-Terra</a>	NASA (USA)	Terra (EOS-AM1)	18 Dec. 1999	2330	250/500/1000	36	405-14,385	Polar
<a href="#">OCM-2</a>	ISRO (India)	<a href="#">Oceansat-2</a> (India)	23 Sept. 2009	1420	360/4000	8	400 - 900	Polar
<a href="#">POLDER-3</a>	CNES (France)	Parasol	18 Dec. 2004	2100	6000	9	443-1020	Polar
<a href="#">VIIRS</a>	NOAA /NASA (USA)	NPP	28 Oct. 2011	3000	370 / 740	22	402 - 11,800	Polar

En Mai 2016 tableau ne contient plus que : COCTS, GOCI, MODIS aqua et Terra, OCM2, OLCI et VIIRS avec

<a href="#">OLCI</a>	ESA/ EUMETSAT	<a href="#">Sentinel 3A</a>	16/02/16	1270	300/1200	21	400 - 1020	Polar
----------------------	------------------	-----------------------------	----------	------	----------	----	------------	-------

<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-3-olci/olci-instrument/spectral-response-function-data>

*Main hyperspectral sensors on aircraft and satellites* Table 1

<b>Hyperspectral sensors on satellites</b>			
<b>Types of sensors</b>	<b>Producer</b>	<b>Number of bands</b>	<b>Spectral range [µm]</b>
FTHSI on MightySat II	Air Force Research	256	0.35-1.05
Hyperion on EO-1	NASA Guddard Space Flight Center	242	0.40-2.50
<b>Hyperspectral sensors on aircrafts</b>			
AVIRIS (Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer)	NASA Jet Propulsion Lab.	224	0.40-2.50
HYDICE (Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment)	Naval Research Lab.	210	0.40-2.50
PROBE-1	Earth Search Sciences Inc.	128	0.40-2.50
CASI (Compact Airborne Spectrographic Imager)	ITRES Research Limited	Over 228	0.40-1.00
HyMap	Integrated Spectronics	100 la 200	Visible to termal infrared
EPS-H (Environmental Protection System)	GER Corporation	VIS/NIR (76), SWIR1 (32), SWIR2 (32), TIR (12)	VIS/NIR (0.43-1.05) SWIR1 (1.50-1.80) SWIR2 (2.00-2.50) TIR (8-12.50)
DAIS 7915 (Digital Airborne Imaging Spectrometer)	GER Corporation (Geophysical and Environmental Research Imaging Spectrometer)	VIS/NIR (32), SWIR1 (8), SWIR2 (32), MIR (1), TIR (12)	VIS/NIR (0.43-1.05) SWIR1 (1.50-1.80) SWIR2 (2.00-2.50) MIR (3.00-5.00) TIR (8.70-12.30)
DAIS 21115 (Digital Airborne Imaging Spectrometer)	GER Corporation	VIS/NIR (76), SWIR1 (64), SWIR2 (64), MIR (1), TIR (6)	VIS/NIR (0.40-1.00) SWIR1 (1.00-1.80) SWIR2 (2.00-2.50) MIR (3.00-5.00) TIR (8.00-12.00)
AISA (Airborne Imaging Spectrometer)	Spectral Imaging	Over 288	0.43-1.00

Vorovencii, Bulletin of the *Transilvania University of Braşov* • Vol. 2 (51) - 2009 • Series II  
Hyperspectral sensors are characterized by the fact that they produce records in a large number of adjacent and narrow lanes thereby providing a very high spectral resolution. In this way, interpretations and analyses can be made of the remote images at the micro-level, highlighting the features of details which could not be underlined with multispectral sensors

**ACCES AUX DONNEES /ADRESSES INTERNET****Types d'images disponibles ou futures**

- Images de capteurs héliosynchrones dédiés à la couleur de l'eau (MERIS/MODIS/VIIRS/OLCI)
- Images haute résolution spatiale (SPOT, Pléiades, Landsat, Sentinel2)
- Images hyperspectrales aériennes et satellitaires (CASI/HySpex/HICO)
- Images géostationnaires (Météosat/GOCI/**OCAPI**)

**GRATUIT:****SST NOAA/AVHRR**

<http://poet.jpl.nasa.gov/>

<http://www.cdc.noaa.gov/map/>

[http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/archive/archive\\_chart\\_sst50km\\_2006.html](http://coralreefwatch.noaa.gov/satellite/archive/archive_chart_sst50km_2006.html)

(twice weekly composite)

## Propositions de sites pour visualiser la couleur de l'océan (ocean color)

Visualisation produits MODIS (world view)

[https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=VIIRS\\_SNPP\\_CorrectedReflectance\\_TrueColor\(hidden\),MODIS\\_Aqua\\_CorrectedReflectance\\_TrueColor\(hidden\),MODIS\\_Terra\\_CorrectedReflectance\\_TrueColor,MODIS\\_Aqua\\_Chlorophyll\\_A,MODIS\\_Terra\\_Chlorophyll\\_A,Reference\\_Labels\(hidden\),Reference\\_Features\(hidden\),Coastlines&t=2017-07-28&z=3&v=-74.86981355042028,-11.600676207983168,-22.205751050420282,13.500886292016832&ab=off&as=2017-09-18&ae=2017-09-25&av=3&al=false](https://worldview.earthdata.nasa.gov/?p=geographic&l=VIIRS_SNPP_CorrectedReflectance_TrueColor(hidden),MODIS_Aqua_CorrectedReflectance_TrueColor(hidden),MODIS_Terra_CorrectedReflectance_TrueColor,MODIS_Aqua_Chlorophyll_A,MODIS_Terra_Chlorophyll_A,Reference_Labels(hidden),Reference_Features(hidden),Coastlines&t=2017-07-28&z=3&v=-74.86981355042028,-11.600676207983168,-22.205751050420282,13.500886292016832&ab=off&as=2017-09-18&ae=2017-09-25&av=3&al=false)

<https://worldview.earthdata.nasa.gov/>

Visualisation MODIS et VIIRS -SST, chla, AFAI (Hu), etc- certaines zones

[http://optics.marine.usf.edu/cgi-bin/optics\\_data?roi=C\\_ATLANTIC&current=1](http://optics.marine.usf.edu/cgi-bin/optics_data?roi=C_ATLANTIC&current=1)

Site ocean color, pour télécharger les données de MODIS, VIIRS, etc... + composites journaliers, mensuels, etc

<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cms/#>

Visualisation + téléchargement - satellite haute résolution (Landsat- Sentinel; avec applications terrestres)

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

Idem a l'européenne.

<https://scihub.copernicus.eu/>

Avec le on-line catalogue:

The screenshot shows the Copernicus Online Catalogue interface. The search term 'OCEANCOLOUR' is entered in the search bar. The results list two products: 'OCEANCOLOUR\_ATL\_CHL\_L4\_NRT\_OBSERVATIONS\_009\_090' and 'OCEANCOLOUR\_ATL\_CHL\_L3\_NRT\_OBSERVATIONS\_009\_036'. The first product is selected, and its details are shown, including 'OBSERVATION: L4', 'IBI NIWS', and a thumbnail image of the North Atlantic. The second product is also visible below it.

<http://marine.copernicus.eu/service-s-portfolio/access-to-products/>

Your search : OCEANCOLOUR  
sélectionner dans parameter :  
plankton

Vérifier que la 3e ligne indique  
observation et non pas modèle

Visualisation de certaines données (à tester; à la base fait pour Mars; mais application possible à la Terre)

<https://jmars.asu.edu/>

## OC view (NOAA)

[https://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/mecb/color/VIIRS\\_EDR\\_Composite.php](https://www.star.nesdis.noaa.gov/sod/mecb/color/VIIRS_EDR_Composite.php)

<http://oceanwatch.pifsc.noaa.gov/d/oc.html#chl>

avec les données accessibles dans  
ERRDAP

Dataset Name	Variables	Dates Available	Spatial Resolution (°)	Spatial Resolution (km - approx.)	Coverage	LAS	ERDDAP	THREDDS
SeaWiFS	Chl a conc.	1997 - 2010	0.1°	9km	global	monthly weekly	monthly weekly	monthly weekly
MODIS-Aqua	Chl a conc.	2002 - present	0.05°	4km	global	monthly weekly	monthly weekly	monthly weekly
NASA-VIIRS	Chl a conc.	2012 - present	0.05°	4km	global	monthly weekly	monthly weekly	monthly weekly

The VIIRS (Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) instrument was deployed on the Suomi-NPP (Suomi National Polar-orbiting Partnership) spacecraft in October 2011. Like MODIS, VIIRS is a multi-disciplinary sensor providing data for the ocean, land, aerosol, and cloud research and as with SeaWiFS and MODIS, the VIIRS scan and orbit geometries provide global coverage every two days. Because of compatibility issues with the new data format used by NASA, VIIRS data is not available on our LAS viewer.

**ESA:** [http://www.globcolour.info/data\\_access.html](http://www.globcolour.info/data_access.html)

The Full Product Set (FPS), also called GLOB\_4KM, covers the merged Level-3 ocean color products in the time period 1997-today.

The FPS data set consists of ocean color merged data products using the merging algorithms recommended at the first GlobColour workshop in Villefranche sur mer (France) on the 4-6 December 2006. The FPS includes level 3 merged products as daily, 8-days and monthly averaged products mapped on a common ISIN 4.63km grid.

FPS archive products (RAN, at D+30) are available on a dedicated ftp server or through the HERMES data portal (see below). Global products at 4.6 km resolution are available (GLOB\_4KM) as well as several specific large regions of interest at different spatial resolutions (EURO\_4KM, EURO\_2KM, ...)

A full scale validation has been performed and all results have been presented at the second user workshop, in Oslo, on November 20-22 2007.

Distributed merged products are:

- Chlorophyll-a, case I water (CHL1),
- Chlorophyll-a, case II water (CHL2),
- Total Suspended Matter (TSM),
- Coloured dissolved and detrital organic materials (CDM),
- Particulate back-scattering coefficient (bbp),
- Diffuse attenuation coefficient (KD490),
- Fully normalised water leaving radiances at 412, 443, 490, 510, 531, 550-565, 620, 665-670, 681 and 709 nm (Lxxx),
- Relative excess of radiance at 555 nm (EL555),
- Aerosol optical thickness over water (T865),
- Cloud Fraction (CF).

OPB 303 Optique Marine	Master Océanographie 2 <sup>ème</sup> année Spécialité Physique & Biogéochimique	Chap VIII
------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	-----------

NASA : <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>

### **Altimétrie/Courants - TOPEX, JASON**

[http://www-ccar.colorado.edu/~realtime/global\\_realtime/geovel.html](http://www-ccar.colorado.edu/~realtime/global_realtime/geovel.html)

Carte des courants géostrophiques déduits de l'altimétrie (latitude variant de 66 S à 37 N; n'inclut pas le Golfe du Lion ; valeurs par défaut donnent le Golfe du Mexique)

<http://www.jason.oceanobs.com/> en français

<http://www.aviso.oceanobs.com/fr/kiosque/les-plus-belles-images-de-l-altimétrie-autour-du-monde/index.html>

Les plus belles images des applications de l'altimétrie sous Google Earth : courants, tourbillons, géoïde, [bathymétrie](#), ..

### **PAYANT ou INSCRIPTION**

#### **Visible - SPOT**

**SPOT IMAGE (F)** : <http://www.spot.com/> depuis 1986

Résolution 2,5 m au lieu de 10 m; mode HRS Haute Resolution Stereoscopique: reconstitution 3D du relief terrestre "modèles numériques de terrain"

#### **SAR - ERS1-ERS2**

ESA : <http://earth.esa.int/object/index.cfm?fobjectid=4001>

#### **et LANDSAT**

**EURIMAGE** : <http://www.eurimage.com/>

Landsat 7 data is not available for acquisitions after 31 May 2003, due to mechanical problems with the ETM+ sensor

#### **et Vent et altimétrie**

**CERSAT (F)** : <http://www.ifremer.fr/cersat/>

**EUMETSAT** : <http://www.eumetsat.de/en/>

joint European/US polar satellite system. EUMETSAT plans to assume responsibility for the "morning" (local time) orbit and the US will continue with the "afternoon" coverage. EUMETSAT instruments are now on the METOP satellite, developed in cooperation with ESA.

ex, Satellite Receiving stations:

### **METEO-FRANCE à TOULOUSE**

**ACRI** (Sophia-Antipolis, France): <http://www.acri.fr/French/esa.html>

**MERIS**

**Dundee (UK)** : <http://www.sat.dundee.ac.uk/>

AVHRR, SeaWiFS, Sevir, MODIS

Or other site: <http://www.neodaas.ac.uk/>

(NEODAAS =Natural Environment Observation Data Acquisition and Analysis Service)

DLR/ISIS (D): <http://isis.dlr.de/>

Applications

<http://envisat.esa.int/live/>

Assimilated OzoneField (North Pole)

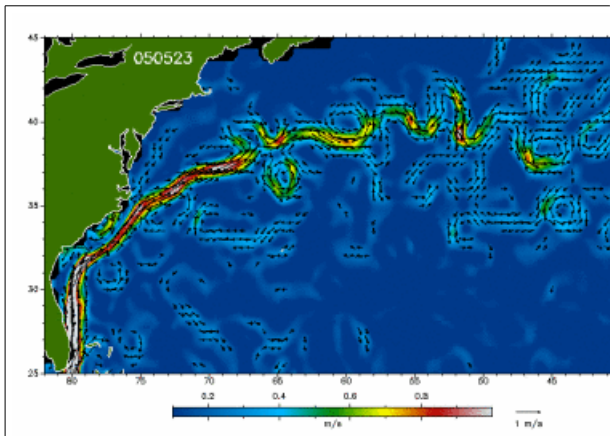
Cloud structures with MERIS data

Near-real-time Sea Level Anomalies

Mercator Ocean maps: Global Ocean Surface Temperature

MERIS Level 1 "Image of the Day"

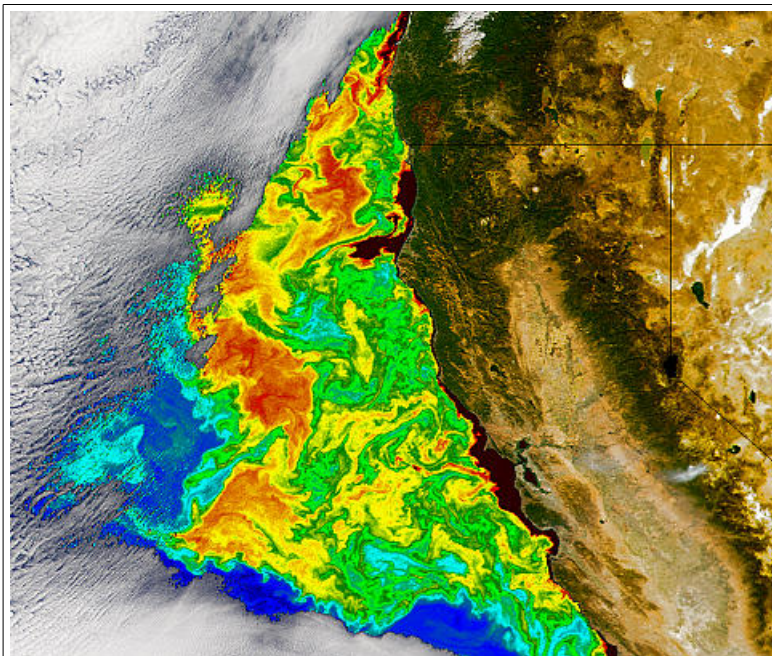
MERIS Global Coverage Quicklooks



This image shows the variation of the Gulf Stream velocities near the East coast of North America in the last 20 days. The images are updated daily and the velocities are in metres per second (to get the approximate velocity in knots, multiply by 1.9438445).

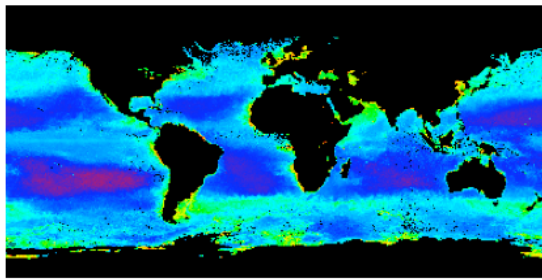
Since 22 July 2003 the Gulf Stream velocity fields derive from near-real-time radar altimeter data of the European Environmental Satellite Envisat. At the same time the mapped area was increased to show more upstream regions of the Gulf Stream.

Source: [DEOS](#) (Department of Earth Observation and Space Systems, Delft University).

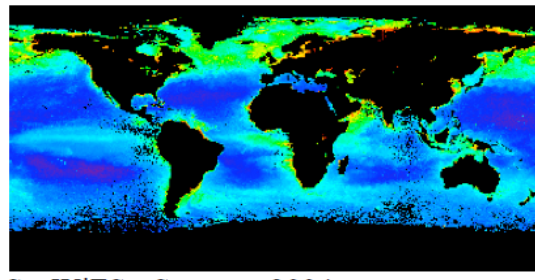


[http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/image\\_archive.cgi?c=COASTAL](http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/image_archive.cgi?c=COASTAL)

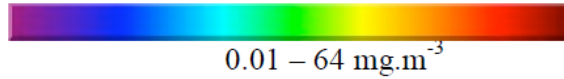
Image SeaWiFs (6 October 2002) Concentration de chlorophyll ; nuages et terre représentée en couleur quasi-naturelle.



SeaWiFS - Winter 2004



SeaWiFS - Summer 2004



### Mesures des UVs

A l'heure actuelle il n'y a que deux capteurs capables de détecter les UV :

- 1) DAIS (IRD) qui est actuellement équipé sur un avion.
- 2) FTESI sur le satellite MightySat 2 qui appartient à l'US Air Force.

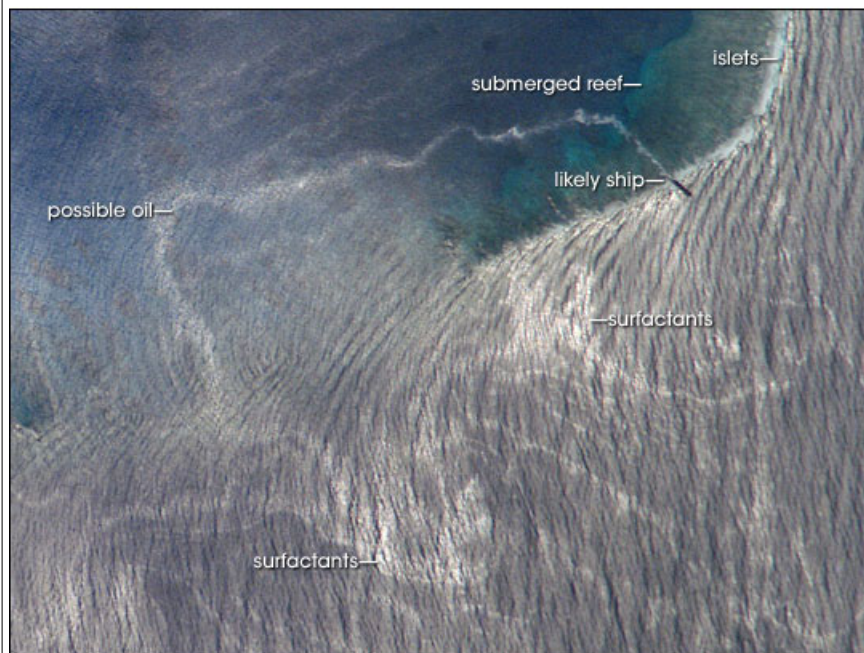
Il y a actuellement des propositions qui sont faites pour lancer un SeaWifs-2 qui serait capable de détecter les UV, et afin de réduire le budget pour sa mise en orbite il serait utilisé un petit lanceur tel que le Pegasus.

Note : International Space Station (ISS), en l'air depuis 20 nov 98 (orbite ~350 km)  
[http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img\\_id=17413](http://earthobservatory.nasa.gov/Newsroom/NewImages/images.php3?img_id=17413)

Et ci-dessous exemples d'images SAR



ISS013-E-71473



ISS013-E-71468

**Photos des alignements de houles près Bajo Nuevo Reef, Caribbean Sea**  
27 Aout 2006