

Correction atmosphérique et couleur de l'eau



1. Introduction

Observer et comprendre la couleur de l'eau permet de connaître ce qu'elle contient. Pour ce qui concerne l'eutrophisation, deux paramètres clés, déduits de la couleur de l'eau, sont la quantité de pigment chlorophyllien et la pénétration de la lumière dans l'océan.

Quand on voit l'eau au dessus de sa surface, on conjugue la réflexion sur la surface et le signal venant de l'océan. Quand on voit l'océan depuis l'espace, s'ajoute à cela la double traversée de l'atmosphère. La correction atmosphérique consiste à extraire la seule couleur de l'eau.

Nous allons donner ici d'abord des éléments d'optique atmosphérique pour ensuite décrire les bases de la correction atmosphérique appliquée à l'imagerie satellitaire.

2. Notions d'optique

▪ Le rayonnement solaire

En un point du globe et au sommet de l'atmosphère, le soleil éclaire d'une lumière blanche à un instant donné dans une seule direction. On sait que cette lumière blanche peut être décomposée en couleur (longueurs d'onde) : ce sont les couleurs visibles de l'arc en ciel du bleu au rouge et invisibles au-delà du violet (ultra violet) et du rouge (infra rouge)

▪ La diffusion atmosphérique

En absence d'atmosphère, on ne verrait que le disque solaire intense et la voûte céleste serait noire. La lumière solaire est atténuée lors de la traversée de l'atmosphère. Elle interagit avec cette atmosphère par le mécanisme de diffusion (la lumière est détournée de sa direction initiale ; c'est l'expérience que l'on a quand dans une cave le soleil passe par un soupirail et que l'on voit son faisceau) et par le mécanisme d'absorption.

La diffusion par les molécules de l'air

Cette diffusion moléculaire est très intense vers le bleu. En haute montagne, le ciel est d'un bleu très pur. La quantité de molécules est proportionnelle à la pression atmosphérique.

La diffusion par les aérosols

Les poussières en suspension dans l'air (aérosols) diffusent mais leur couleur va du bleu (petits aérosols) au blanc (gros aérosols : pétilllement de l'eau de mer). La nature des aérosols et leur quantité sont très variables.

La diffusion par les nuages, les brumes et brouillards

Cette diffusion est blanche et intense. On ne voit pas à travers les nuages et donc depuis l'espace on ne voit pas l'océan.

▪ L'absorption atmosphérique

L'absorption par les molécules de l'air

On sait tous que la couche d'ozone nous protège du rayonnement ultraviolet. D'autres gaz atmosphériques absorbent la lumière dans le visible et le proche infrarouge. Quand on observe l'océan depuis l'espace, on regarde dans les domaines de couleur où l'atmosphère est transparente (fenêtres atmosphériques)

L'absorption par les aérosols

De nombreuses photos ont été prises au-dessus des grandes villes : l'atmosphère noire qui les surmonte illustre la pollution atmosphérique. Les suies noires issues de la combustion sont très absorbantes.

Ce n'est pas le cas au-dessus des océans où l'absorption des aérosols est faible.

On sait calculer la diffusion et l'absorption atmosphérique à condition de connaître la composition de l'atmosphère. C'est le domaine du transfert radiatif.

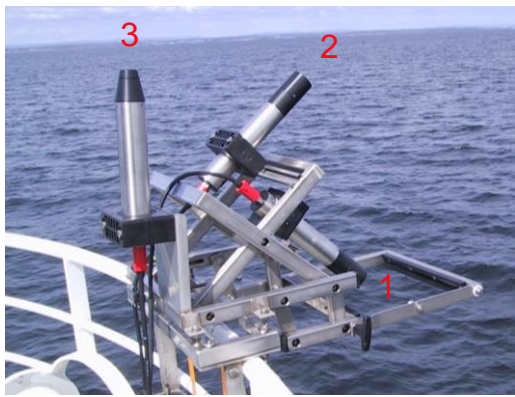
3. Mesurer la couleur de l'eau au dessus de la surface

▪ La réflexion sur l'eau du rayonnement solaire direct

Cette réflexion, image du soleil par réflexion sur l'eau, est très intense mais localisée. Cette géométrie est évitée.

▪ La réflexion sur l'eau de la voûte céleste

Quand on regarde l'eau (mesure la couleur de l'eau) dans une direction donnée, le plus simple est de mesurer le rayonnement atmosphérique (celui venant du ciel) dans la direction réfléchi. Les simples lois de la réflexion permettent de soustraire la réflexion du ciel et de mesurer le signal qui provient de l'océan.



Le capteur 1 mesure le signal au-dessus de l'eau. Le capteur 2 mesure le signal atmosphérique. Les lois de la réflexion sont appliquées sur la mesure 2 pour soustraire à la mesure 1 la réflexion du ciel.

Le capteur 3 mesure le rayonnement solaire descendant (direct et diffus)

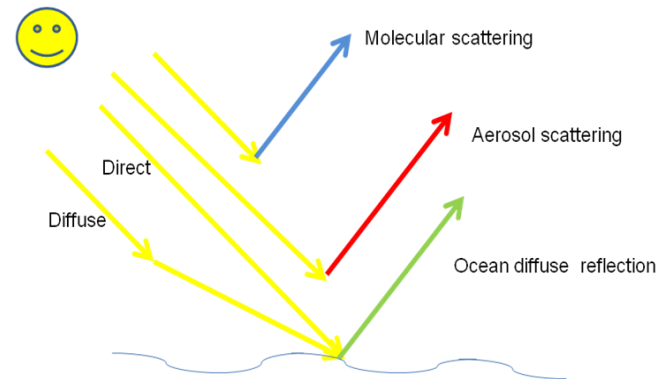
4. Mesurer la couleur de l'eau depuis l'espace

La réflexion sur l'eau du rayonnement solaire direct

On est toujours dans l'évitement de cette géométrie.

En absence de nuages, on voit depuis l'espace le bleu du ciel (diffusion par les molécules) blanchi par la diffusion des aérosols.

La figure ci-contre schématise les différentes contributions.



Le tableau ci-dessous donne l'importance relative de signal marin, le terme utile de notre étude. Il est inexistant dans le proche infrarouge, ce qui permettra de connaître la composition de l'atmosphère. La contribution de la couleur de l'eau dans le signal satellitaire est faible ce qui rend indispensable de corriger les images des effets atmosphériques.

Pour 3 couleurs et deux angles solaires (45 et 75 degrés), on donne en pourcent la contribution au signal satellitaire de la diffusion moléculaire, celle des aérosols et enfin celle de l'océan. Les aérosols viennent du continent et on peut distinctement voir à 8 km et 23 km de distance sur l'horizon

		8 km			23 km		
		blue	red	Near infra red	blue	red	Near infra red
Molecules	45°	62.6	34.7	23.1	75.8	53.1	42.9
	75°	58.2	29.7	18.8	70.7	45.2	32.4
Aerosols	45°	32.3	61.2	76.9	16.4	40.6	57.1
	75°	39.8	68.8	81.3	26.0	52.3	67.6
Sea	45°	5.2	4.1	0.0	7.8	6.3	0.0
	75°	1.9	1.5	0.0	3.3	2.5	0.0

La télédétection des aérosols

L'atmosphère moléculaire est connue ne serait ce que par l'intermédiaire de la connaissance de la pression atmosphérique. La réflexion de l'eau est connue pour une surface de mer plate (vent nul). La connaissance de la vitesse du vent permet de modéliser les pentes de vagues et donc de connaître la réflexion. La seule inconnue est donc la nature des aérosols et leur abondance.

L'eau est noire dans le proche infra rouge et le signal satellitaire est purement atmosphérique. On y soustrait la diffusion moléculaire connue pour avoir celle des aérosols. Si on utilise 2 longueurs d'onde, on connaît le type d'aérosols par sa couleur (bleu=petit, blanc=gros). L'intensité du signal aérosol donne leur abondance.

La connaissance régionale des aérosols

L'accès depuis l'espace à 2 seuls paramètres sur les aérosols ne suffit pas à lui seul. Il ne permet que de choisir un modèle d'aérosols parmi un choix de modèles établis. L'établissement de ces modèles se fait à partir d'un réseau régional d'instruments optiques. Un ensemble complet de mesures optiques permet de définir les propriétés optiques des aérosols.

La connaissance de la couleur de l'eau à partir de la télédétection spatiale

On connaît maintenant toutes les composantes du signal atmosphérique:

- (i) L'atténuation par l'atmosphère du signal marin
- (ii) L'absorption gazeuse
- (iii) La diffusion moléculaire
- (iv) La diffusion par les aérosols
- (v) La réflexion sur la surface

Et on en déduit simplement le signal provenant de l'océan (la couleur de l'eau).