

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل
Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR EN
SCIENCES DE LA MER

OPTION : ENVIRONNEMENT

*Etat de l'art de la télédétection de la
couleur de l'océan
-Application à la baie d'Alger-*

Réalisé par M^{lle}: AZOUAOUI Ouassila

Soutenu le 09/07 /12 devant le jury suivant :

M Hemdane Y.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Président
M Guerfi M.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Promoteur
M ^{me} Bachari-Houma. F	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Examinatrice
M Boulahdid M.	Professeur	(ENSSMAL)	Examineur

Session : Juin 2012

Sommaire

Introduction.....	1
Chapitre 01 : Apport de la télédétection spatiale à l’océanographie	
1. Télédétection.....	3
1.1. Définition de la télédétection.....	3
1.2. Types de télédétection.....	3
1.2.1. Télédétection active.....	3
1.2.2. Télédétection passive.....	3
1.3. Principes physiques de la télédétection.....	3
1.3.1. Le rayonnement électromagnétique.....	3
1.3.2. Le spectre électromagnétique.....	4
1.3.3. Les fenêtres atmosphériques.....	4
1.3.4. La signature spectrale.....	5
1.4. Les interactions du rayonnement	5
1.4.1. Avec l’atmosphère.....	5
a. Diffusion.....	5
b. Absorption.....	5
1.4.2. Avec la matière.....	5
a. Réflexion.....	5
b. Absorption.....	5
c. Transmission.....	5
d. Diffusion.....	5
e. Emission	5
2. Outils de télédétection spatiale.....	6
2.1. Les satellites.....	6
2.1.1. Les satellites géostationnaires.....	6
2.1.2. Les satellites à défilement.....	6
2.1.3. L’imagerie satellitaire.....	7

2.2. Les radars.....	7
2.2.1. Les radars imageurs.....	7
2.2.2. Les radars non imageurs.....	7
2.2.3. L'imagerie radar.....	7
3. Apport de la télédétection à l'océanographie.....	7
3.1. Propriétés optiques de l'eau de mer.....	7
3.1.1. Propriétés optiques apparentes.....	8
3.1.2. Propriétés inhérentes.....	8
3.2. Propriétés optiques de la surface de la mer.....	8
3.3. Paramètres océaniques mesurables par télédétection.....	8
3.3.1. SST.....	9
3.3.2. SSS.....	10
3.3.3. Couleur de l'océan.....	11
3.3.4. Altimétrie.....	11
3.3.5. Vent de surface.....	12

Chapitre 02 : Les outils spatiaux à vocation océanographique (couleur de l'océan)

1.CZCS.....	13
1.1. Le satellite Nimbus 7.....	13
a. Mission.....	13
b. instruments embarqués.....	13
1.2. Caractéristiques de CZCS.....	14
2.OCTS.....	14
2.1.AdeosI.....	14
a. Mission.....	14
b. Instruments scientifiques à bord de Adeos I.....	15
2.2. OCTS.....	15

a. Caractéristiques.....	15
b. Mission.....	16
3. SeaWifs.....	16
a. Caractéristiques.....	16
b. Mission.....	16
4. MODIS.....	16
4.1. Les satellites Terra et Aqua.....	16
4.1.1. Terra.....	16
a. Les instruments opérant sur le satellite Terra.....	17
b. Mission.....	17
4.1.2. Aqua.....	17
a. Instruments embarqués à bord de Aqua.....	18
b. Mission.....	18
4.1.3. MODIS.....	18
a. Mission.....	19
b. Caractéristiques.....	19
5. MERIS.....	20
5.1. ENVISAT.....	20
a. Instruments de ENVISAT.....	20
5.2. MERIS.....	20
a. Mission.....	20
b. Caractéristiques.....	21
6. AQUARIUS.....	21
6.1. Le satellite SAC-D.....	21
a. Instruments embarqués sur le satellite SAC-D.....	21
b. Caractéristiques.....	21
c. Mission.....	21

7. VIIRS.....	22
7.1. Le satellite NPP.....	23
7.2. Mission de VIIRS.....	23
8. Synthèse de tout les capteurs.....	24
9. Les microsattellites algériens	25

Chapitre 03 : généralités sur la zone d'études

1. Présentation de la baie d'Alger.....	27
2. Les principales sources de rejets se déversant dans la baie d'Alger.....	27
3. Le plateau continental.....	28
4. Le réseau hydrographique.....	28
4.1. La houle.....	28
4.2. Origine des eaux marines de la baie d'Alger.....	29
4.2. Les courants dans la baie d'Alger.....	29
4.2.1. Les courants généraux.....	29
4.2.2. Les courants côtiers.....	29
5. Les différentes masses d'eau et leur circulation dans la baie d'Alger.....	30
5.1. MAW.....	30
5.2. WIW.....	30
5.3. LIW.....	31
5.4. DW.....	31
5.5. BW.....	31

Chapitre 04 : Interprétation des images MODIS de la baie d'Alger

1. Image du 10 Août 2003.....	32
2. Image du 11 Août 2003.....	33
3. Pluviométrie et température	34
4. Image du 12 Août 2003.....	35
5. Image du 13 Août 2003.....	36
Conclusion générale.....	38

Listes de tableaux et figures

Liste de figures

Figure 01: Spectre électromagnétique	4
Figure 02 : Illustration quantitative de la contribution de la réflectance de la surface et les effets atmosphériques et le signal désiré au signal mesuré.....	6
Figure 03 : Représentation des températures de surface de l’Océan Atlantique	10
Figure 04 : Moyenne globale à long terme de la salinité de surface (psu) provenant de LEVITUS94 (NOAA).....	10
Figure 05: Image mettant en évidence une efflorescence de plancton en mer de Barents...	11
Figure 06 : Topographie dynamique de l’océan global.....	12
Figure 07: Exemples de champs de vent journaliers calculés uniquement à partir des observations diffusiométriques dans la Méditerranée les 11(à gauche) et 12 (à droite) novembre 2001 (m/s).....	12
Figure 08 : Image d’un bloom phytoplanctonique à proximité de la baie d’Alger le 10 Août 2003 par MODIS (résolution spatiale 250m).....	19
Figure 09: La première carte de la salinité globale de l’océan par Aquarius, cette carte est obtenue des deux premières semaines et demie d’opérabilité.....	22
Figure 10 : Les capteurs lancés au passé, actuellement et prévus pour le future.....	24
Figure 11 : Image de la baie d’Alger prise par le microsatellite algérien Alsat-1.....	25
Figure 12 : Vue de la ville de Skikda par Alsat-2.....	26
Figure 13 : Situation géographique de la baie d’Alger.....	27
Figure14: Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d’Alger (LEM, 1998 in Bachari 2009).....	30
Figure15 : La circulation de l’eau dans le bassin algérien (Milot, 1989).....	31
Figure 16 : Image de la baie d’Alger prise par MODIS le 10 Août 2003.....	32
Figure 15 : Image de la baie d’Alger prise par MODIS le 11 Août 2003.....	33
Figure 17 : Pluviométrie et température enregistrées durant le mois d’Août 2003.....	34
Figure 18 : Image de la baie d’Alger prise par MODIS le 12 Août 2003.....	35
Figure 19 : Image de la baie d’Alger prise par MODIS.....	36
Figure 20-a : Image de la zone côtière de baie d’Alger prise par MODIS.....	36
Figure 20-b : Image du large de la baie d’Alger prise par MODIS.....	37

Liste de tableaux

Tableau I : Les principales fenêtres atmosphériques.....	4
Tableau II : Paramètres mesurés, instruments de mesure et mission concernée.....	9
Tableau III : Les différents capteurs embarqués sur le satellite de Adeos I.....	15
Tableau IV : Les instruments à bord du satellite Terra et exemple correspondant à chacun..	17
Tableau V : Les capteurs fixés sur le satellite Aqua et exemple de domaines d'activité.....	18
Tableau VI : Les capteurs embarqués sur le satellite ENVISAT.....	20
Tableau VII : Les instruments embarqués sur le satellite SAC-D.....	22
Tableau VIII : Les capteurs embarqués sur le satellite scientifique Terra.....	23
Tableau IX : Données de pluviométrie maximale journalière recueillies au niveau de la station du barrage oud El Hamiz de l'an 2002 à 2007.....	41
Tableau X : Données de pluviométrie maximale journalière recueillies au niveau de la station de Reghaïa de 2003 à 2007.....	42
Tableau XI : Données de pluviométrie maximale journalière recueillies au niveau de la station de Bir Mourad Raïs de 2002 à 2006.....	43
Tableau XII : Données des débits de crue obtenues à l'ANRH au niveau de oued El Herrache.....	44
Tableau XIII : Données des débits de crue obtenues à l'ANRH au niveau de oued El Hamiz.....	45

Introduction

L'avènement de l'imagerie satellitale issue des capteurs optiques, par la finesse de sa résolution spatiale et spectrale a donné un nouvel essor au développement de la cartographie des ressources terrestres (Leroy, 1992 in Jacob F., 1999). L'avènement de nouvelles générations d'instruments de détection, appelés satellites, promet d'apporter aux scientifiques une grande capacité de faire des observations détaillées sur la surface de la terre (Fingas & Brown, 2000 in Bachari F., 2009).

Les multiples combinaisons possibles entre les propriétés optiques de l'eau et les particules permettent d'estimer les concentrations des diverses composantes de l'eau (Stringer, 1992). En effet, l'apport de la télédétection spatiale à l'observation de la terre et à la variabilité spatiale et temporelle des phénomènes qui s'y produisent s'avère très important. Cette technique de détection à distance permet une vue panoramique, et acquiert des données en temps quasi réel, ce qui semble irréalisable avec les travaux *in situ*.

En océanographie, la télédétection s'est insérée plus tardivement que dans les autres domaines. Effectivement, les océanographes n'ont eu le privilège d'accéder à cette technologie qu'il y a tout juste une trentaine d'années, et les américains ont été les pionniers de cette technique (Miller, 2005 in Froidefond., 2004). Au fur et à mesure que cette technique se perfectionnait, le nombre de paramètres océaniques mesurables s'amplifiait, de même pour les paramètres déduits.

Dans le présent mémoire, on a essayé, d'une part, de cerner les paramètres océaniques dont la détection à distance est possible et de les illustrer avec des exemples, et d'autre part, de détailler les satellites et capteurs se préoccupant principalement de la détection de la « couleur de l'océan ». Nous avons illustré le tout par une étude de cas : détection d'un bloom phytoplanctonique au niveau de la baie d'Alger à l'aide d'une série d'images enregistrées par le capteur MODIS du satellite Terra du 10 au 13 août 2003.

L'estimation de la production primaire océanique est un des champs d'application principaux de la télédétection de la couleur de l'océan (Bailey & Werdell, 2006). Par production primaire, nous considérons le flux de carbone qui passe de la forme inorganique (le gaz carbonique dissous dans l'eau de mer et les ions carbonate et bicarbonate associés) passant par la forme organique (matière vivante sous forme d'hydrates de carbone et autres molécules) et les processus de photosynthèse dont la fixation de carbone qui consiste

en l'absorption d'énergie lumineuse par les pigments photosynthétiques (Campbell & al., 1995).

C'est donc au niveau de la quantification des concentrations en chlorophylle que se situe l'apport de la télédétection de la couleur de l'océan à la modélisation de la photosynthèse et de son résultat en terme de carbone, la production primaire (Feldman et *al.*, 1989 in Antoine D., 1998).

L'objectif du présent travail est :

- De faire une synthèse de ce qui se fait en océanographie spatiale.
- Présentation des outils spécifiques à la télédétection de la couleur de l'océan.
- Et étudier un cas de télédétection d'un bloom phytoplanctonique ai sein de la baie d'Alger.

Chapitre 1 :

L'apport de la télédétection
spatiale à l'océanographie

1. Télédétection :

L'avènement de la télédétection n'était pas des moindres dans le monde de toute technologie confondue, en effet, l'utilisation de celle-ci s'est vue multipliée dans divers disciplines telles que la climatologie, la géographie, la cartographie ou encore l'océanographie. La télédétection est fondée sur certains principes de base sans lesquelles l'interprétation des données ne serait significative.

1.1. Définition de la télédétection :

La télédétection est la discipline scientifique qui regroupe « *l'ensemble des connaissances et des techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci* » (COMITAS, 1988). Cela inclut « l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement à partir de mesures et d'images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes » (Bonn & Rochon, 1992).

1.2. Types de télédétection :

1.2.1. Télédétection active :

C'est une méthode de télédétection où on utilise des capteurs dits « actifs » qui, en plus de mesurer l'énergie réfléchi par un quelconque objet, il illumine celui-ci par émission de son propre rayonnement, le capteur actif le plus souvent utilisé est le « radar ». Ce type de télédétection est surtout utile lors de la présence des couvertures nuageuses, ou durant les périodes sombres.

1.2.2. Télédétection passive :

Cette méthode utilise le rayonnement naturel, qui est source d'énergie externe du capteur utilisé. Ces capteurs passifs se contentent alors d'enregistrer le signal obtenu après réflexion des différents objets cibles.

1.3. Principes physiques de la télédétection :

1.3.1. Le rayonnement électromagnétique :

Le rayonnement électromagnétique est constitué d'un double champ; électrique et magnétique, il est caractérisé par : sa direction de propagation, sa longueur d'onde, son intensité, sa phase et sa polarisation.

1.3.2. Le spectre électromagnétique :

Il regroupe toutes les catégories de lumière, des courtes longueurs d'ondes (rayons X et Gamma), aux grandes longueurs d'ondes (micro-ondes et ondes radio) ; mais seule une partie est utilisée en télédétection car l'atmosphère est opaque à certaines longueurs d'ondes (rayons X, Gamma, et les UV).

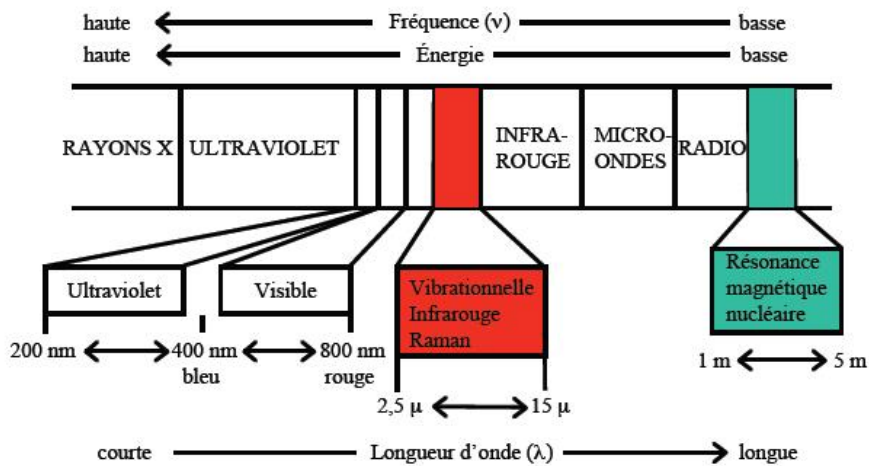


Figure 01: Spectre électromagnétique (Boulangier Y., 2007).

1.3.3. Les fenêtres atmosphériques :

Ce sont les portions du spectre électromagnétique où les mesures en télédétection sont possibles, car c'est dans ces parties que l'atmosphère est la plus transparente au rayonnement. Les principales fenêtres atmosphériques sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Les principales fenêtres atmosphériques.

La fenêtre	La longueur d'onde
Ultraviolet et visible	0.35-0.75
Proche infrarouge	0.77-0.91
	1.0-1.12
	1.19-1.34
Infrarouge moyen	1.55-1.75
	2.05-2.04
	3.35-4.16
Infrarouge thermique	4.5-5.0
	8.0-9.2
	10.2-12.4
	17.0-22.0
hyperfréquences	2.06-2.22
	3.0-3.75
	7.5-11.5
	20.0mm et plus

1.3.4. La signature spectrale :

Chaque objet ayant ses caractéristiques et étant dans un état donné, réagit au rayonnement d'une manière précise et donc correspond à un spectre électromagnétique unique pouvant ainsi servir à l'identifier et à caractériser son état (végétation, eau, relief...). Cette variation de l'énergie réfléchie entre les différents objets est désignée par la « *signature spectrale* » de ces derniers.

1.4. Interactions :

1.4.1. Avec l'atmosphère :

a. Diffusion : elle se produit lors du contact entre le rayonnement émis et les particules en suspension dans l'air (molécules de gaz, poussière, fumée, nuages, pollens...), ces dernières dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale et le diffusent dans tous les sens, prenant en compte la densité des particules entre autres.

b. Absorption : se fait essentiellement par les plus grosses molécules de l'atmosphère à savoir : l'ozone et les gaz à effet de serre, ces molécules absorbent respectivement les rayons UV et l'infrarouge thermique.

1.4.2. Avec la matière :

a. Réflexion : tout corps ayant reçue une quantité donnée d'énergie d'une source quelconque, peut en réfléchir une partie ou la totalité dans certains cas (les glaces); ce rapport entre l'énergie reçue et incidente est défini en télédétection sous le terme de « *réflectance* ».

b. Absorption : tout corps ayant reçu une quantité de rayonnement électromagnétique peut en absorber une partie.

c. Transmission : également appelée *transmittance*, est le fait qu'un corps ayant reçu une quantité du rayonnement peut la transmettre vers un autre.

d. Diffusion : est un processus où le rayonnement émis par une source externe est diffracté dans tous les sens par le corps receveur.

e. Emission : tout corps ayant une température dépassant les zéro degré Celsius peut émettre un rayonnement électromagnétique.

Toutes ces interactions influencent directement le signal enregistré, la figure suivant illustre la faiblesse du signal mesuré (souhaité) par rapport au signal obtenu :

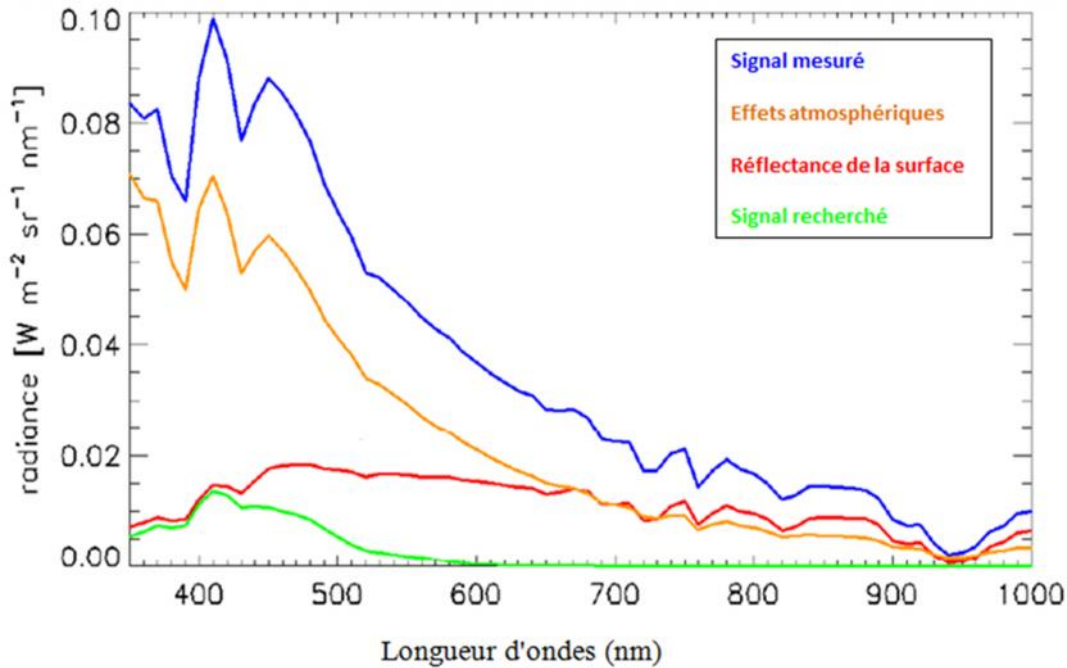


Figure 02 : Illustration quantitative de la contribution de la réflectance de la surface et les effets atmosphériques et le signal désiré au signal mesuré (The National Academic Press).

2. Outils de télédétection spatiale :

2.1. Les satellites :

Un satellite est un engin spatial qui tourne autour de la terre et qui a pour mission la collecte des informations la concernant en un temps quasi réel et couvrant tout le globe.

2.1.1. Les satellites géostationnaires :

Ils sont installés sur une orbite circulaire dans le plan de l'équateur (inclinaison nulle), un tour complet et d'une durée égale à celle de la rotation de la terre sur elle-même (orbite géosynchrone), ces satellites apparaissent donc stationnaires. L'altitude d'évolution est estimée à environ 35 800 Km. Le champ de vision de ces satellites s'étend de 60°N à 60°S, et sur 120° de longitude mais la résolution spatiale demeure limitée par l'éloignement de la terre.

2.1.2. Les satellites à défilement :

Un satellite à défilement permet une observation cyclique de la terre, il est habituellement héliosynchrone (il passe au-dessus de la même zone à la même heure) il est animé par un mouvement relativement plus important que celui de la rotation de la terre, il évolue à une altitude allant de 200 à 1500 Km durant un laps de temps inférieur à deux heures (Girard., 1989).

2.1.3. L'imagerie satellitaire :

Elle représente actuellement une source prépondérante dans l'observation de la terre, elle fournit une large gamme d'informations relatives à la terre, avec des enjeux scientifiques, économiques et stratégiques (Erus G., 2008).

2.2. Les radars :

Le radar (Radio Detection And Ranging) détecte la présence et mesure les distances entre les objets à l'aide des ondes électromagnétiques. La première expérimentation remonte aux années 30, quant à sa première application, elle remonte à la seconde guerre mondiale. (Rabaud T., 2006).

2.2.1. Radars imageurs :

Ils permettent d'obtenir une image de la zone observée ou de l'objet cible. Ils demeurent également indispensables à la cartographie de la terre et autres objets célestes (Paumier C & Vaillant P., 2011).

2.2.2. Radars non-imageurs :

Les capteurs non-imageurs sont dédiés à la **mesure de grandeurs physiques** ne donnant pas lieu de façon directe à une image. C'est par exemple le cas d'un **radar altimétrique** ayant pour vocation de déterminer précisément l'altitude du satellite au-dessus de la surface terrestre, au cours de sa progression ; ou encore la mesure de la vitesse des vents (diffusomètre). Cette famille de capteurs regroupe également des dispositifs très spécifiques embarqués dans le cadre de missions scientifiques particulières portant par exemple sur des mesures du champ magnétique, des mesures du champ de gravitation, des mesures de flux de particules (Paumier C & Vaillant P., 2011).

2.2.3. L'imagerie radar :

L'imagerie radar est privilégiée à l'imagerie optique car elle permet l'acquisition de données même durant la nuit ainsi que sous les couvertures nuageuses, cependant, la difficulté de la conception des radars et de leur mise en œuvre, favorise plutôt l'utilisation de l'imagerie optique ou de télédétection passive.

3. Apport de la télédétection à l'océanographie :

3.1. Propriétés optiques de l'eau de mer :

Les propriétés optiques de l'eau de mer ont pour cause la nature physicochimique de celles-ci, qui ont également une influence directe sur le transfert du rayonnement électromagnétique sur une épaisseur donnée. En effet, le signal enregistré (rayonnement rétrodiffusé) est fonctions

des propriétés optiques apparentes et inhérentes de la masse d'eau en question (Dekker, 1991 in Ferdinand, 1996).

3.1.1. Propriétés optiques apparentes :

Ces propriétés concernent les mesures de l'éclairement, de luminance, de réflectance et d'atténuation diffuse. Ces caractéristiques dépendent fortement de l'éclairement ambiant ainsi que des propriétés inhérentes de la masse d'eau (Ferdinand, 1996).

3.1.2. Propriétés optiques inhérentes :

Elles concernent aussi bien la nature intrinsèque de la masse d'eau autant que la matrice, que celle attribuable aux particules qui sont en suspension. Elles peuvent être caractérisées par des coefficients (d'absorption, de rétrodiffusion, d'atténuation...). Ces derniers dépendent des longueurs d'ondes (Ferdinand, 1996).

3.2. Propriétés optiques de la surface de la mer :

Les propriétés optiques de la surface de l'eau sont fonction de ses composantes, à la fois des substances dissoutes et des particules qui sont en suspension.

On peut classer ces dernières en trois catégories distinctes :

- le phytoplancton vivant et les détritiques biogènes associés,
- La matière organique dissoutes également appelée substance jaune, et enfin
- La fraction minérale en suspension (Robin, 2005).

Le fond est un autre facteur influant sensiblement sur la réflectance de la surface des eaux marines, notamment des zones côtières (faible bathymétrie). L'évaluation de celui-ci s'avère très important dans l'estimation des concentrations des particules dissoutes ou en suspension, ainsi que pour la cartographie des fonds marins.

3.3. Les paramètres océaniques mesurables par télédétection :

L'océanographie spatiale est venue apporter les solutions tant attendues à de nombreuses problématiques liées aux études océanographiques. Des études qui sont restées longtemps confinées aux méthodes traditionnelles de mesure. En effet, cette technologie permet de mesurer plusieurs paramètres régissant plus de 70% de la surface de la terre, en temps réel et sur de vastes étendues. Les paramètres mesurés sont la *température et salinité de surface*, la *topographie dynamique* de surface, la *vitesse du vent* et la *couleur de l'océan*.

L'avènement de l'océanographie spatiale a également permis de déduire d'autres paramètres tels les aérosols, particules et substances dissoutes dans l'eau, le taux de CO₂ fixé et transféré vers les fonds marins (pompe des carbonates), le taux d'oxygène produit, etc.

Le tableau ci-dessous résume les paramètres permettant de décrire la surface océanique dans l'ordre où ils ont été observés depuis l'espace :

Tableau II : Paramètres mesurés, instruments de mesure et mission concernée.

Paramètre mesuré (Nombre de missions)	Instrument	Mission concernée
Température de surface (plusieurs systèmes complémentaires)	Radiomètres infrarouge ou micro-onde	AVHRR sur satellites NOAA, ATSR sur satellites ERS-1 & 2, puis ENVISAT (précision 0,5°K, ou mieux)
Topographie océanique (au moins 2 missions complémentaires)	Radar Altimètre et orbitographie de précision	TOPEX-Poséidon et DORIS, complété par l'altimètre d'ERS 1 et 2. Jason-1 & DORIS, complété par l'altimètre d'ENVISAT
Vent de surface (2 missions complémentaires)	Diffusiomètre	AMI d' ERS-1& 2 + NSCAT/ADEOS1 ASCAT/METOP+ SEAWIND/ADEOS2
Couleur de l'océan (indicateur de l'activité biologique...)	Radiomètre dans le visible & l'IR.	OCTS & POLDER/ADEOS-1 et 2, SEAWIFS, MERIS sur ENVISAT
Salinité de surface	Radiomètres	SLFMR en 1996 (NOAA), PYLA 2001, MIRAS, <u>Aquarius</u> , MIRAS-SMOS, SMOS

3.3.1) Sea Surface Temperature (SST) : La température de surface est l'une des variables physiques décrivant le mieux l'état de l'océan. Sa télédétection est relative aux premiers microns de la surface océanique, et elle est basée sur le principe de la loi du corps noir. Cette mesure satellitaire nous renseigne sur l'origine des eaux et leur histoire récente, elles permettent notamment de localiser les remontées d'eaux froides, les fronts, les écoulements, les intrusions d'eau dans les zones côtières et même les étendues des grands courants océaniques tels que le Gulf Stream, courant du Labrador (Llewellyn-Jones D., 2006). Une correction à apporter reste indispensable pour l'obtention d'une information fiable (technique de « split window »).

Exemple d'application :

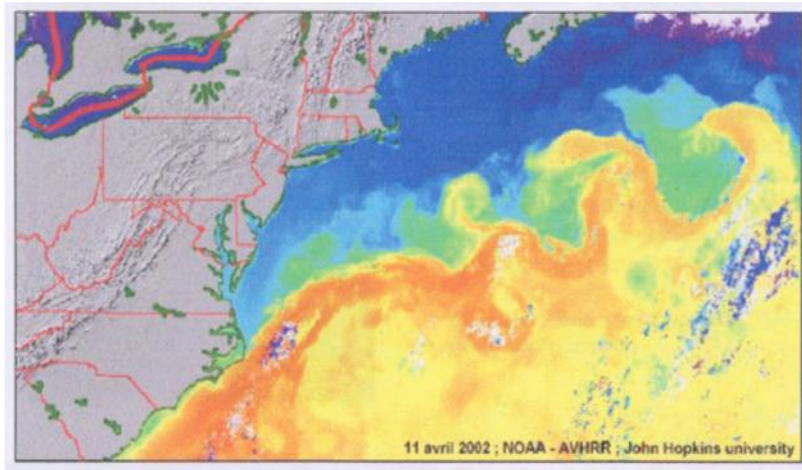


Figure 03 : Représentation des températures de surface de l'Océan Atlantique (Hopkins J., 2002).

3.3.2) Sea Surface Salinity (SST) : la salinité représente un paramètre très important en océanographie. En effet, grâce à la salinité (conjuguée à la température) on parvient à identifier les différentes masses d'eau et prédire les courants océaniques et la stabilité de la colonne d'eau. En télédétection, on exploite la dépendance de l'émissivité de l'eau marine de la salinité exposée aux fréquences micro-ondes (Bande L). L'émissivité relative à la rugosité de la surface océanique, et les effets atmosphériques (minimes) subira un ajustement (Topliss B. J & al., 2002).

Exemple d'application :

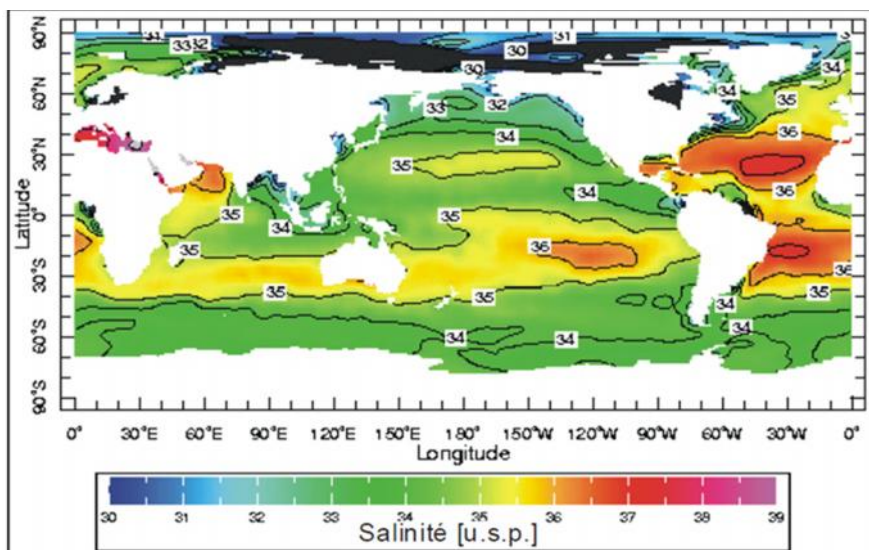


Figure 04 : Moyenne globale à long terme de la salinité de surface (psu) provenant de LEVITUS94 (NOAA).

3.3.3) Couleur de l'océan (OC) : est une composante décrite en télédétection, qui permet de quantifier la concentration en chlorophylle (essentiellement la chlorophylle *a*), la biomasse phytoplanctonique et sa distribution au sein de l'océan. La première mesure et estimation remonte à 1978 à travers le capteur expérimental *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS) embarqué à bord du satellite américain Nimbus 7 (Antoine D., 1998). Il est à noter qu'une correction reste nécessaire à apporter, pour ôter de l'information obtenue par satellite les effets atmosphériques et ceux du cortège de particules et pigments présents dans l'eau.

Exemples d'application :

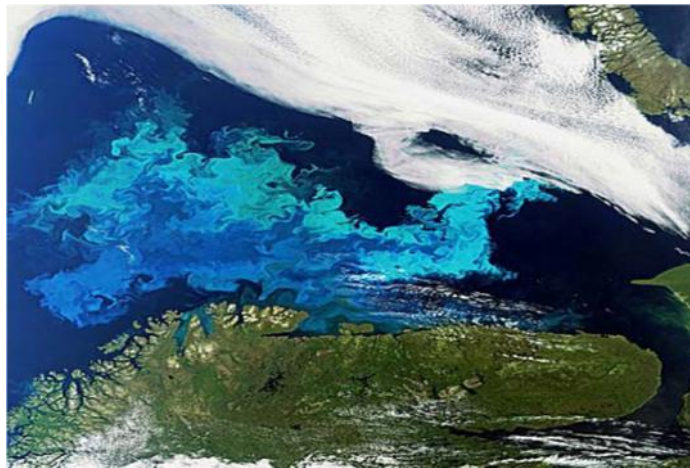


Figure 05: Image mettant en évidence une efflorescence de plancton en mer de Barents (European Spatial Agency, 2012).

3.3.4) Altimétrie : L'altimétrie est probablement la technique satellitaire la plus importante pour l'océanographie physique. Elle fournit des mesures de la topographie de surface (niveau de la mer) qui est une contrainte très forte pour estimer la circulation océanique. Le principe de la mesure altimétrique est simple. L'altimètre mesure la distance entre le satellite et la surface de l'océan. si l'on connaît précisément la position du satellite par orbitographie, on déduit la topographie de surface de l'océan par rapport à un ellipsoïde de référence (Le Traon Y., 1992).

Exemple d'application :

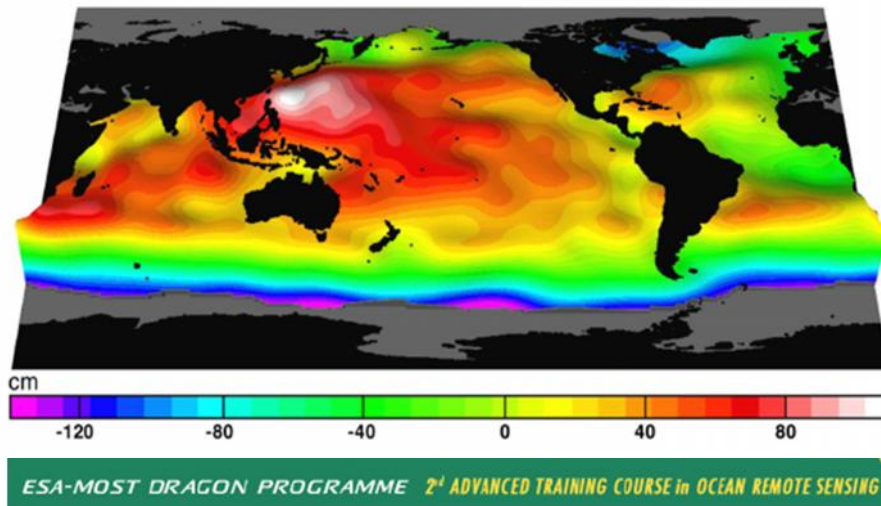


Figure 06: Topographie dynamique de l'océan global (Le Traon Y., 2007).

3.3.5) Vent de surface : le vent de surface des océans revêt un intérêt capital dans la compréhension des interactions océan-atmosphère régissant la météorologie planétaire. L'observation depuis l'espace du vent de surface par diffusiomètre fournit de jour comme de nuit pour l'océan global, des données précises concernant la vitesse et la direction du vent, des estimations qui seront comparées avec celles obtenues par les bouées. Les caractéristiques du vent sont ensuite restituées par des calculs à partir du coefficient de rétrodiffusion mesuré par radar (Bentamy A et Piollé J.F., 2004).

Exemple d'application en Méditerranée :

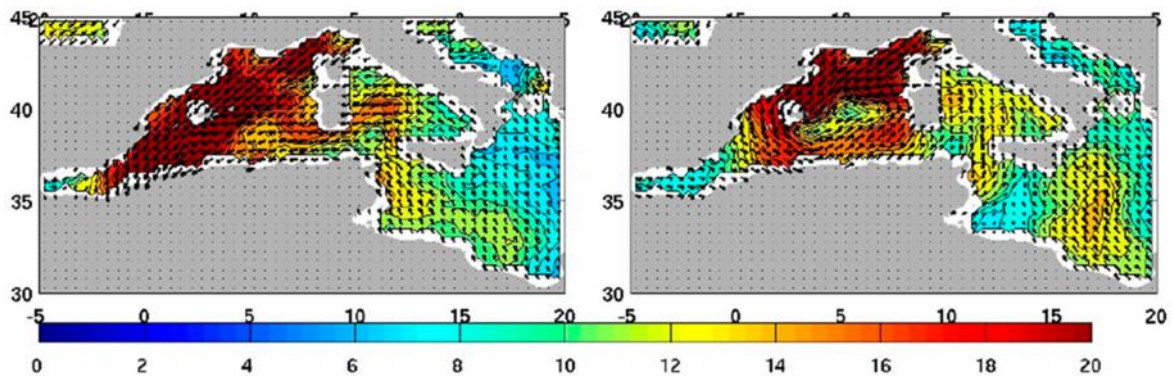


Figure 07: Exemples de champs de vent journaliers (m/s) calculés uniquement à partir des observations diffusiométriques dans la Méditerranée les 11 (à gauche) et 12 (à droite) novembre 2001 (Bentamy A et Piollé J.F., 2004).

Chapitre 2 :
Les outils spatiaux à vocation
océanographique
(Couleur de l'océan)

Quelques outils de mesure spatiale des paramètres océaniques:

On s'intéressera dans cette partie particulièrement aux différents capteurs spécialisés dans l'observation de la couleur de l'océan, ainsi que tout paramètre relatif à la production primaire au sein des océans.

1) CZCS : Coastal Zone Color Scanner

CZCS était le premier capteur de la couleur de l'océan dans l'histoire de l'océanographie, après les 98 jours d'opération du SeaSat ; premier satellite expérimental exclusivement océanographique. Cet instrument (CZCS) était embarqué à bord du satellite nimbus-7

1.1. Le satellite Nimbus-7:

Lancé le 24 octobre 1978 par la NASA (National AeronoticSpace Administration) et défilant sur une orbite synchrone à une altitude d'environ 955km, il croise l'équateur à midi sur une orbite ascendante.

a. Mission :

Le satellite de recherché et développement Nimbus-7 sert de système avancé dans la collecte de données liées à la pollution dans les disciplines océanographiques et météorologiques.

b. Instruments embarqués :

Ce satellite embarque huit capteurs à savoir:

- Coastal-zone color scanner (CZCS).
- Limb infrared monitoring of the stratosphere (LIMS).
- Stratospheric and mesospheric sounder (SAMS).
- Stratospheric aerosol measurement II (SAM II).
- Earth radiation budget (ERB).
- Scanning multichannel microwave radiometer (SMMR).
- Solar backscatter UV and total ozone mapping spectrometer (SBUV/TOMS).
- Temperature-humidity infrared radiometer (THIR).

1.2. CZCS :

Ce capteur dont le rôle était de quantifier la concentration en chlorophylle dans l'océan, a fonctionné pendant 8 ans, au lieu d'une seule année comme prévu initialement, et a donc fourni une image totalement nouvelle de la répartition dans l'océan des concentrations en phytoplancton.

En 1981, il a été déterminé que la sensibilité de capteur s'est dégradée, particulièrement au niveau de la bande des 443nm, et en 1984, le personnel de la mission Nimbus-7 a enregistré une anomalie sans le système de CZCS. Il a été désactivé en Juin 1986 avec l'intention d'une probable réactivation sous d'autres conditions, mais la tentative était vouée à l'échec.

Il a été officiellement déclaré non opérationnel le 18 octobre 1986.

Caractéristiques :

- CZCS avec ses six bandes spectrales a révolutionné les études océanographiques, et a marqué une nouvelle ère de télédétection.
- Au cours de sa mission de 91 mois (octobre 1978-juin 1986), CZCS a permis la visualisation d'environ 68000 images de la planète terre.
- Comparativement aux autres capteurs (post-CZCS), les images de CZCS restent relativement imprécises ce qui est essentiellement dû à la dégradation de la sensibilité de la bande des 443nm.

2) OCTS: Ocean Color and Temperature Scanner

Le 17 Aout 1996, l'agence spatiale japonaise (NASDA) lance le satellite Adeos.

2.1. Adeos I (advanced earth observing satellite):

Également appelée « Midori I » en japonais, est un satellite défilant sur une orbite synchrone descendante avec un croisement avec l'équateur à 10 :30 a.m. La fin de la mission était en juillet 1997, un successeur Adeos II a été lancé en 2002 pour ne fonctionner qu'une seule année et s'arrêter aussitôt en 2003.

a. Mission :

Adeos I a été conçu pour l'observation des changements environnementaux de la terre, en se focalisant sur le réchauffement climatique, la déplétion de la couche d'ozone ainsi que la déforestation. Le principal objectif d'Adeos était l'élucidation des phénomènes du système planétaire par intégration des observations des paramètres géophysiques, les plus importants de ces paramètres sont :

- Le flux d'énergie entre l'atmosphère et l'océan,
- La distribution tridimensionnelle de la température atmosphériques et la vapeur d'eau,
- La distribution des aérosols à travers les océans,
- La distribution tridimensionnelle de l'ozone atmosphérique,

- La distribution de la chlorophylle dans l'océan,
- La température de surface de la mer,
- Le vecteur du vent à la surface océanique
- La distribution de la végétation.

b. Les instruments scientifiques à bord d'Adeos :

Huit capteurs ont été embarqués au total sur le satellite Adeos I, tous à vocation environnementale :

Tableau III : Les différents capteurs embarqués sur le satellite de Adeos I

Le capteur	La source
Ocean Color and Temperature Scanner (OCTS) NASDA	NASDA
Advanced Visible and Near Infrared Radiometer (AVNIR) NASDA	NASDA
NASA Scatterometer (NSCAT)	NASA
Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) CNES	NES
Polarization and Directionality of the Earth's Reflectance (POLDER) CNES	NES
Improved Limb Atmospheric Spectrometer (ILAS) NASDA	NASDA
Retroreflector in Space (RIS)	NASDA
Interferometric Monitor for Greenhouse Gases (IMG)	NASDA

2.2. OCTS : est l'un des huit capteurs opérant sur le satellite Adeos I, conçu pour combiner l'observation de la couleur de l'océan et la température de surface.

a. Caractéristiques :

- C'est un radiomètre optique avec 12 bandes spectrales couvrant les zones du visible, du proche infrarouge et de l'infrarouge thermique.
- Dans le visible et le proche infrarouge, il observe les conditions océaniques en utilisant la réflectance des substances dissoutes et du phytoplancton dans l'eau, et d'autre part la température de surface qui est détectée sur 4 bandes dans l'infrarouge thermique.

- OCTS scanne aussi bien le nord que le sud du globe, et il a la capacité d'observer la terre entière en 3jours.
- La résolution spatiale est de 700m.

b. Mission :

OCTS sert essentiellement de capteur des données océaniques telles que chlorophylle et les substances dissoutes, ainsi qu'au profil de température qui est directement corrélée avec les changements de température ambiantes depuis que l'océan a occupé 71% de la planète. OCTS œuvre pour une meilleure compréhension des océans et divers phénomènes.

3) SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor):

Il était le seul instrument scientifique à bord du satellite commercial GeoEye. C'est le successeur de CZCS. Il a été lancé le 1 Aout 1997, et a commencé à fournir des informations le 18 septembre 1997, pour en arrêter le 11 Décembre 2010.

a. Caractéristiques :

- Le capteur acquière des données sur huit bandes spectrales allant de 402 nm à 885 nm,
- Possibilité d'inclinaison jusqu'à 20°, propriétés importante notamment dans la zone équatoriale où le reflet de lumière obscurcit la couleur de l'océan.

b. Mission :

SeaWiFS a été spécialement conçu pour l'observation des caractéristiques de l'océan, telles que la concentration en chlorophylle-*a* et la clarté des eaux.

4) MODIS : est un capteur embarqué à bord des satellites *TERRA(AM)* et *AQUA(PM)*, ce capteur a marqué une nouvelle ère de télédétection et l'observation de la terre depuis l'espace (Justice et al., 2002).

4.1. Les satellites TERRA et AQUA :

4.1.1. TERRA: est un satellite lancé par la NASA le 18 décembre 1999. Il a commencé à collecter les données en février 2000, il défile sur une orbite polaire du nord au sud qui offre une couverture globale de la terre, et croise l'équateur au moment où la couverture nuageuse est à son minimum quotidien (à environ 10 :30 AM) (UMD Geography; 2006).

a. Capteurs opérant sur le satellite Terra :

C'est une mission internationale portant cinq instruments (capteurs) appartenant aux Etats-Unis d'Amérique (USA), au Japon et au Canada :

Tableau IV : Les instruments à bord du satellite Terra et exemple correspondant à chacun.

Instrument	Exemple d'application	Pays propriétaire
Vaisseau spatial	Embarquement des capteurs	USA
CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System)	L'énergie réfléchie (nuages et la terre)	USA
MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer)	Aérosols	USA
MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	Végétation, neige et glace	USA
ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)	Composition des sols	Japan
MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere)	Monoxide de carbone	Canada

Les cinq capteurs de Terra partagent une seule plateforme. La collecte des données se fait par une complémentarité d'observations de la terre et de l'atmosphère, ce qui offre aux images leur haute qualité.

b. Mission :

Terra explore la connexion entre l'atmosphère, le sol, la neige et la glace, l'océan et leur balance énergétique en vue de comprendre le climat de la planète et ses changements d'une part, et d'autre part, révéler l'impact des activités anthropiques et les catastrophes naturelles sur les différentes communautés et écosystèmes.

4.1.2. AQUA: est un satellite des sciences de la terre, lancé le 4 mai 2002 par la NASA.

a. Instrument à bord de AQUA :

Aqua embarque six capteurs de l'état-de- l'art, défilant sur une orbite basse de la terre (quasi polaire) du sud au nord durant l'après-midi, ces instruments sont décrits dans le tableau suivant :

Tableau V : Les capteurs fixés sur le satellite Aqua et exemple de domaines d'activité.

Capteur	Exemple d'application
AIRS (Atmospheric Infrared Sounder)	température atmosphérique et humidité
AMSU-A (the Advanced Microwave Sounding Unit)	température de la stratosphère, et effet des nuages dans l'observation des températures atmosphériques.
HSB (the Humidity Sounder for Brazil)	profil de l'humidité à travers l'atmosphère.
AMSR-E (the Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS)	température et radiations microondes émises par la terre.
MODIS (the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	fluorescence du phytoplancton, végétation, propriétés des aérosols...
CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System)	radiations solaires réfléchies, radiations émises par la terre et les radiations totales (budget thermal des radiations).

Chaque instrument a ses propres caractéristiques, mais tous réunis offrent un ensemble consistant d'informations pour les observations de la terre depuis l'espace.

b. Mission :

C'est une mission pour collecter une quantité importante de données sur le cycle de l'eau, ainsi que l'évaporation des océans, la vapeur d'eau dans l'atmosphère, les nuages, les précipitations, l'humidité des sols, la glace marine, la glace continentale et la neige couvrant les continents et glaces.

D'autres variables sont également mesurées par Aqua telles que le flux d'énergie radiative, les aérosols, la végétation terrestre, le phytoplancton et la matière organique dissoute dans les océans et la température des eaux.

4.1.3. MODIS :

Ce capteur clé à bord de TERRA et AQUA, était conçu pour fonctionner 6 ans. Il est doté d'une combinaison de capteurs ayant les caractéristiques de AVHRR et de LANDSAT dans le but d'améliorer la télédétection et l'observation de la surface de la terre sur une échelle globale.

L'acquisition des images se fait dans 36 bandes spectrales entre 620 nm et 14.385 µm. Ce capteur acquière les données à trois résolutions spatiales à savoir : 250m, 500m, et 1000m. Les bandes spectrales utilisées pour la détection de la température de surface sont : 20-21-22-23 et 31-32., tandis que pour la couleur de l'océan de 8 à 16 (Maccherone B., 2011).

a. Mission :

Modis a pour mission l'observation en continu des conditions de la surface de la terre en vue de comprendre l'impact des changements climatiques et des activités anthropiques sur celle-ci. Ce capteur a l'aptitude de fournir des cartes globales des caractéristiques de différentes surfaces : continentales et océaniques, albédo, indices de végétation.

b. Caractéristiques de MODIS :

- Les données sont systématiquement converties en variables atmosphériques, océaniques et terrestres.
- La réflectance de la surface est obtenue en dernier lieu.
- Les bandes sont dotées d'un algorithme corrigeant les images des effets atmosphériques en utilisant des données sur la vapeur d'eau et les aérosols détectées par le capteur-même.
- L'algorithme corrige également les données des fines couvertures nuageuses et les gaz de l'atmosphère.
- Le résultat (l'image) est une estimation de la réflectance de surface comme si elle était mesurée sur celle-ci (UMD Geography; 2006).

Exemple d'image du bassin algérien obtenue par MODIS :

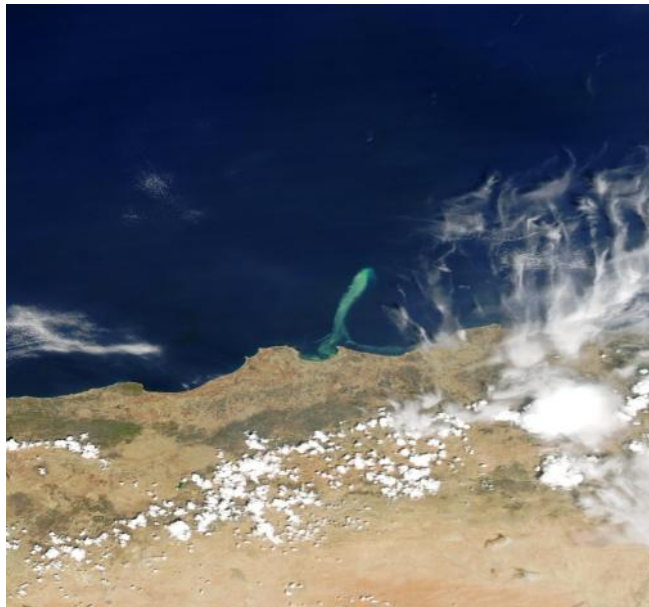


Figure 08 : Image d'un bloom phytoplanctonique à proximité de la baie d'Alger le 11 Août 2003 par MODIS (résolution spatiale 250m)

5) MERIS : est un instrument embarqué à bord du satellite scientifique ENVISAT.

5.1. ENVISAT : est le successeur de ERS de l'ESA, il était lancé en 2002 avec 10 capteurs embarqués à bord, et une imagerie radar plus avancée (altimètres radar, radiomètres de mesure de température). Ces nouveaux instrument sont sensibles à la fois aux faciès terrestres et à la couleur de l'océan. ENVISAT dispose également de deux capteurs atmosphériques détectant les traces de gaz.

a. Les instruments de ENVISAT :

Tableau VI : Les capteurs embarqués sur le satellite ENVISAT.

Instrument	Type	Précision
ASAR	Radar à synthèse d'ouverture	30m à 1 km
MERIS	spectromètre	1km
AATSR	Radiomètre	1 km
GOMOS	spectromètre et télescope (analyse de la couche d'ozone)	1.27 Km
MIPAS	Spectromètre à transformation de Fourier	
SCIAMACHY	spectromètre	2.4-3 km
MWR	radiomètre	1km
RA-2	Radar altimètre	4.5cm (altitude)
DORIS (système de positionnement)	Récepteur radio	5-100cm (position) 0.4-2.5 mm/s (vitesse)

5.2. MERIS :

MERIS est un radiomètre imageur multispectral, ayant 15 bandes spectrales du visible au proche infrarouge (390nm-1040nm). Il acquière des données concernant la terre quand les conditions d'illumination sont favorables.

a. Mission :

Il a pour mission de mesurer la végétation terrestre, la couleur de l'océan, les nuages et précipitations. Quelques semaines après la célébration d'une décennie d'opérabilité, la communication avec ENVISAT a été perdue le 8 avril 2012, plusieurs tentatives de rétablissement de contact en vain, la fin de la mission a été officiellement déclarée le 9 mai 2012.

b. Caractéristiques :

- Capacité de mesure de la production primaire ; végétation terrestre et couleur de l'océan en conditions lumineuses favorables.
- Mesure des paramètres météorologiques tels que les nuages et les précipitations.
- Résolution spatiale : -Océan : 1040m*1200m
-Terre +la côte : 260m*300m

6) Aquarius :

6.1. Le satellite SAC-D : lancé le 10 Juin 2011 par la NASA en collaboration avec l'agence spatiale d'argentine pour une durée de vie de 3ans.

a. Les instruments embarqués :

- Aquarius conçu pour la mesure de la salinité de surface des océans.
- Microwave Radiometer: détection du vent, pluies, nuages, glace marine.
- New Infrared Scanner Technology: mesure la température de surface.

b. Caractéristiques :

C'est un capteur mis au point pour la mesure de la salinité de surface, et assure l'observation globale de la variabilité de ce paramètre physique et relève d'un grand intérêt pour les études du climat, le cycle de l'eau et la circulation océanique.

c. Mission :

- La mesure de la SSS était longtemps cantonnée aux mesures effectuées le long des radiales empruntées par les bateaux et les bouées.
- En deux mois, Il a pu fournir autant de données recueillies sur les 125 ans d'études de la salinité.
- Ce capteur permet le suivi des changements de la SSS de mois en mois, de saison en saison et d'année en année.
- Offrir la première observation globale de SSS chaque sept jours.
- Atteindre une exactitude de 0.2 psu.
- Explore des régions du monde où les mesures n'ont jamais été faites.

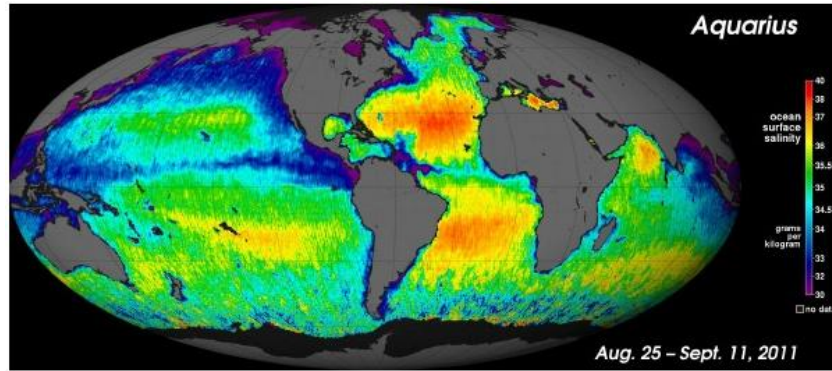


Figure 09: La première carte de la salinité globale de l'océan par Aquarius, cette carte est obtenue des deux premières semaines et demie d'opérabilité.

Les capteurs scientifiques de **Aquarius/SAC-D** :

Tableau VII: Les instruments embarqués sur le satellite SAC-D.

Instrument	Objectif	Résolution	Source
Aquarius	Salinité de surface	76 x 94 km 84 x 120 km 96 x 156 km	NASA
MWR Microwave Radiometer	Précipitations, vitesse du vent, Concentration de glace marine, vapeur d'eau	40km	CONAE
NIRST New Infrared Sensor	Température de surface marine	350km	CONAE
HSC High Sensitivity Camera	Aurores, incendies, lumières urbaines	200-300km	CONAE
DCS Data Collection System	Collecte de données environnementales		CONAE
ROSA Radio Occultation Sounder for Atmosphere	Température atmosphérique, profil d'humidité	300km	ASI (Italie)
CARMEN 1 ICARE and SODAD	ICARE : Effet des radiations cosmiques, SODAD : Distribution des microparticules et débris		CNES (France)

7) **VIIRS:** est l'un des cinq capteurs embarqués à bord du satellite environnemental défilant sur une orbite polaire NPP (National Preparatory Project). Lancé le 28 octobre 2011 sur une

orbite de 824 km, à une vitesse de 8 km/s, conçu pour une durée de vie de 5 ans. En plus de VIIRS, ce satellite dispose de quatre autres capteurs servant tous à la collecte d'informations cruciales dans le but d'évaluer les changements climatiques et autres données utilisées pour les prévisions météorologiques. NPP sert de mission « pont » du projet EOS (Earth Observing System) de la NASA pour les satellites de générations futures (JPSS avec la NOAA).

7.1. Le satellite NPP:

Tableau VIII: Les capteurs embarqués sur le satellite scientifique Terra.

Instrument	Paramètre De Mesure	Successeur NOAA	Successeur NASA
VIIRS	Acquière des images quotidiennes à haute résolution, mesure la radiométrie via le spectre allant du visible aux ondes IR	AVHRR	MODIS
ATMS	Ensemble fournissent le profil de température atmosphérique et d'humidité	AMSU	AMSU
CrIS		HIRS	AIRS
OMPS Spectrometers with UV and IR bands	Mesure de l'ozone	SBUV-2	OMI
CERES Scanning radiometer	Qui assure l'étude du budget radiatif terrestre		CERES

b. Mission de VIIRS:

- Acquisition d'images atmosphériques à haute résolution ainsi que des résultats d'application tels que les ouragans, détection d'incendie, fumées et aérosols.
- Acquisition d'images à haute résolution de la température de surface (supérieure à celle des autres capteurs tels que AVHRR, de la couleur de l'océan et particules associées.
- Fournit des images d'ordre supérieur pour les prochaines générations d'applications civiles et militaires dans l'observation du climat et des catastrophes naturelles.

8. Synthèse de tous les capteurs :

Une synthèse des capteurs utilisés pour la couleur de l'océan est illustrée dans la figure suivante:

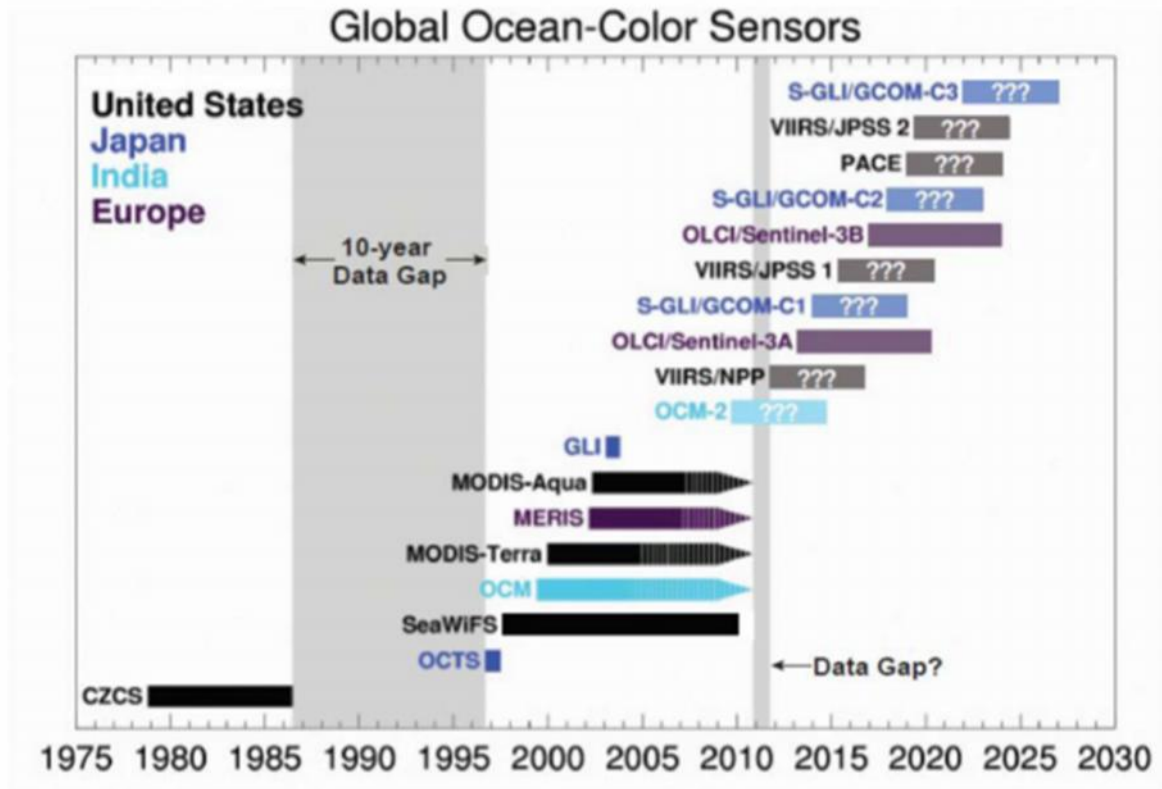


Figure 10 : Les capteurs lancés au passé, actuellement et prévus pour le future (http://www.ioccg.org/sensors_ioccg.html).

Représentés par :

- Les flèches : les capteurs qui sont encore fonctionnels
- La zone hachurée : quand le capteur dépasse le temps pour lequel il était conçu initialement.
- La zone grise : représente une lacune de données durant le passé et l'éventualité que ça arrive si les capteurs MODIS et MERIS arrêtent de fonctionner.
- Les points d'interrogation : représentent les capteurs qui n'ont pas encore rencontré un minimum d'exigence.
- Les futurs capteurs sont indiqués avec une durée de cinq à sept ans selon leur spécification.

9. Les micro-satellites algériens :

9.1. Lancement Alsat-1:

Le lancement a eu lieu le 28 novembre 2002 par un lanceur Cosmos-3M à partir de la base de lancement Russe de Plesetsk. Les autres charges utiles du lanceur étaient : Mozhayets (satellite de navigation et scientifique Russe) et Rubin-3-SI (OHB Bremen, satellite Allemand).

9.1.1. Mission Alsat-1 :

Le satellite Algérien AISAT-1 est le premier d'une série de 05 microsattellites lancés dans le cadre de la DMC (Disaster Monitoring Constellation) pour la période de temps de 2002-2005. L'objectif de la mission est de fournir des images multispectrales de résolution moyenne pour la surveillance des catastrophes naturelles ainsi que pour d'autres applications thématiques de la télédétection.

Exemple d'images de Alsat-1 :

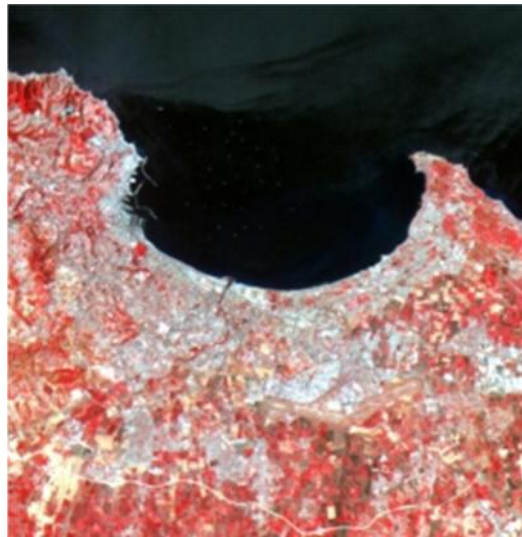


Figure 11 : Image de la baie d'Alger prise par le microsatellite algérien Alsat-1.

9.2. Alsat-2 :

Alsat-2A, est un satellite d'observation de la Terre à haute résolution, il a été intégré et testé en France, dans les locaux d'EADS Astrium avec la participation de 29 ingénieurs algériens.

Exemple d'images de Alsat-2 :



Figure 12 : Vue de la ville de Skikda par Alsat-2.

Caractéristiques :

Les deux satellites sont basés sur une plate-forme *Myriade* du Centre national d'études spatiales (CNES) et placé sur une orbite héliosynchrone polaire. Ils ont les caractéristiques suivantes¹ :

- Satellite agile stabilisé 3 axes
- Masse au lancement : 130 kg
- Mémoire de masse embarquée : 64 Gbits
- Charge utile : Télescope en carbure de silicium
 - Résolution en mode panchromatique (TDI) : 2,5 m
 - Résolution en mode multi-spectral (4 bandes couleur) : 10 m
 - Largeur de la fauchée : 17,5 km

Chapitre 03 :
Généralités sur la baie d'Alger

Dans le cadre de la télédétection des phénomènes océaniques, et comme étude de cas, on a pris pour exemple d'illustration la baie d'Alger, qui était le siège d'un bloom phytoplanctonique au mois d'Août 2003. L'évolution du phénomène était suivie par le capteur de la couleur de l'océan MODIS durant trois jours consécutifs. Pour une meilleure interprétation des images, la présentation de la baie d'Alger et ses principales caractéristiques demeurent indispensables.

La baie d'Alger :

1. Présentation de la zone d'étude :

La baie d'Alger s'insère en forme semi-circulaire dans la plaine de la Mitidja, de superficie estimée à 180 km², elle se situe dans le centre de la côte algérienne à 03°14'50" E de longitude et à 36°49'35" à 36°49'50" N de latitude, elle s'étend de Rais Hamidou à l'Ouest jusqu'à Bordj El- Bahri à l'Est, limitée au Sud par le bassin versant de la Mitidja et au Nord par la mer Méditerranée.

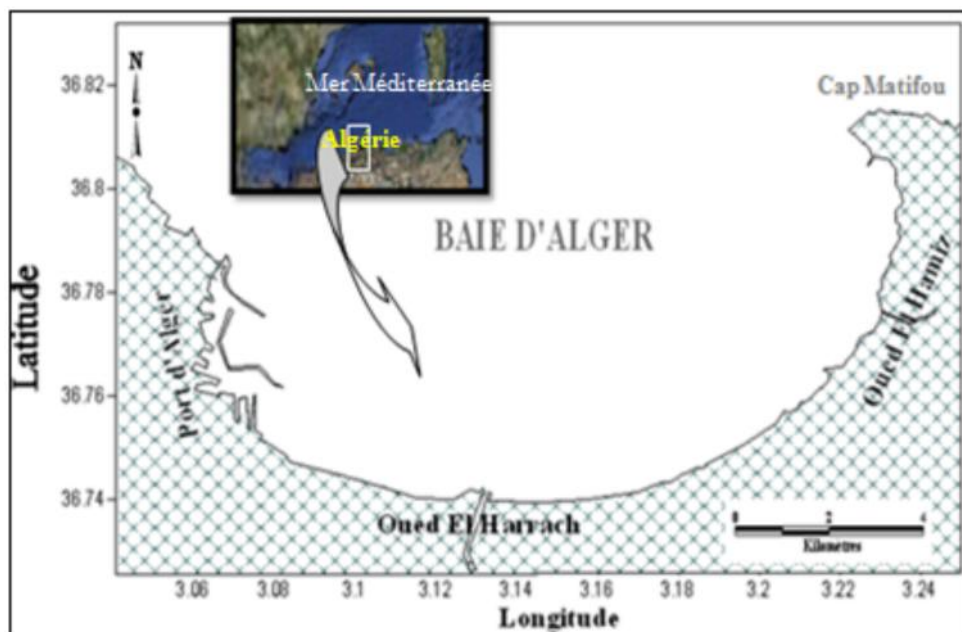


Figure 13 : Situation géographique de la baie d'Alger.

2. Les principales sources de rejets se déversant dans la baie d'Alger :

La baie d'Alger est soumise à une pression intense, elle regroupe à la fois les déchets solides et liquides issus de son urbanisation ainsi que son industrialisation, les zone responsables sont :

- El Harrach : englobe trois zones industrielles : celle de oued Smar, d'El Harrach et de Gué de Constantine et plus de 300 unités au total.

En période de pluie, oued El Harrach perturbe le milieu naturel en influant sur la qualité physico-chimique et microbiologique de l'eau par ses rejets urbains, agricoles et industriels.

- Hussein Dey : Zone principalement soumise aux rejets urbains et à l'influence des activités portuaires.
- El Hamiz : se déverse à l'est de la baie près de Bordj El Kifan. La présence du barrage El Hamiz en amont réduit considérablement les apports solides venant en mer, même le débit y est régulé.
- Bordj El Kiffan : à une dizaine de kilomètres à l'est d'Alger, ce secteur connaît un développement industriel et urbain qui l'expose à une pollution assez accentuée (LEM 1988 in Bachari Houma F., 2009).

3. Le plateau continental :

Le plateau continental est relativement large au centre de la baie, mais très étroits à ses périphéries; en effet, l'isobathe 50m est à 4.1 km de la côte, celui de 100m est à 6.7 km, quant à celui de 1000m il ne se trouve qu'à 12.1km.

4. Réseau hydrographique :

La baie d'Alger est alimentée par deux principaux oueds: Oued El Harrach et oued Hamiz, tout les deux prennent leurs sources dans l'atlas Blidéen avant de traverser la plaine de la Mitidja. Leur débit est très irrégulier, en effet, ils sont caractérisés par un long étiage de six mois, des crues d'hiver et de printemps soudaines et fortes.

4.1.La houle :

La houle de la baie d'Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclair, 1972 in Bachari 2009). En hiver, les houles sont de direction W-NW et, en été, elles sont de direction N-NE (Benzohra, 1993).

4.2.Origine des eaux marines de la baie

Boulahdid et *al*, (2003), ont conclu à partir du diagramme température- salinité des eaux de la baie, que la baie d'Alger est le siège d'un mélange qui se fait entre trois eaux d'origines différentes: une eau superficielle ayant les caractéristiques de l'eau Atlantique légèrement

mélangée avec l'eau de la Méditerranée le long de son parcours; une eau qui remonte d'une profondeur de l'ordre de 100 m au centre de la baie, et enfin une eau continentale non négligeable qui adouci en partie les eaux de la baie. La partie Sud-Ouest de la baie est une zone abritée, les eaux y sont assez stables.

4.3. Les courants dans la baie d'Alger :

D'après le laboratoire d'études maritimes (LEM) en 1998, deux courants régissent la circulation au sein de la baie d'Alger, à savoir :

4.2.1. Les courants généraux :

Il s'agit de l'eau d'origine atlantique qui pénètre en surface dans le bassin méditerranéen par le détroit de Gibraltar, ce courant général crée dans la plus part des baies un contre-courant littoral vers l'Ouest (Obaton, 1998).

4.2.2. Les courants Côtiers :

Au contact des irrégularités du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui provoquent la mise en suspension des particules, ce qui favorisent leur déplacement. Le sens et l'intensité de ce courant sont fonction de l'amplitude, de l'incidence de la houle par rapport à la côte, de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments.

a. Les courants de retour :

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu de déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

b. Les courants de dérive littorale:

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique, celle-ci donne naissance à un courant de dérive littorale. La dérive littorale prend naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Cette énergie permet la remise en suspension et le transit des particules sédimentaires le long de la côte (Millot., 1987).

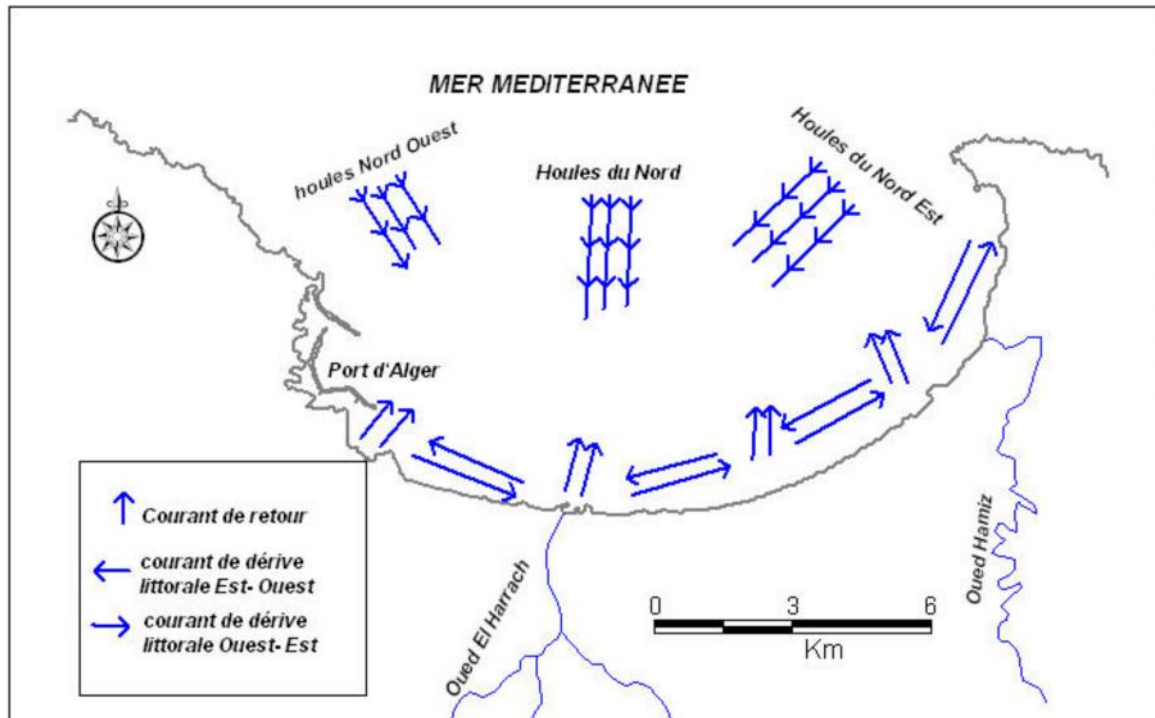


Figure14: Bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998 in Bachari 2009).

5. Les différentes masses d'eau et leur circulation dans la baie d'Alger :

Les différentes masses d'eau qui irriguent la baie d'Alger sont les même qui baignent tout le bassin algérien, détaillées exclusivement par Millot, 1989 comme suit :

5.1) MAW (Modified Atlantic Water) : également appelé courant algérien; pénètre dans la mer d'Alboran sous forme d'une veine de courant étroit qui donne naissance à des méandres et tourbillons côtiers de 50 à 100 Km associés à des upwellings, ces structures se déplacent vers l'est avec des vitesses de l'ordre de quelques kilomètres par jour. Le courant algérien se reconnaît dans une couche superficielle de 150m d'épaisseur.

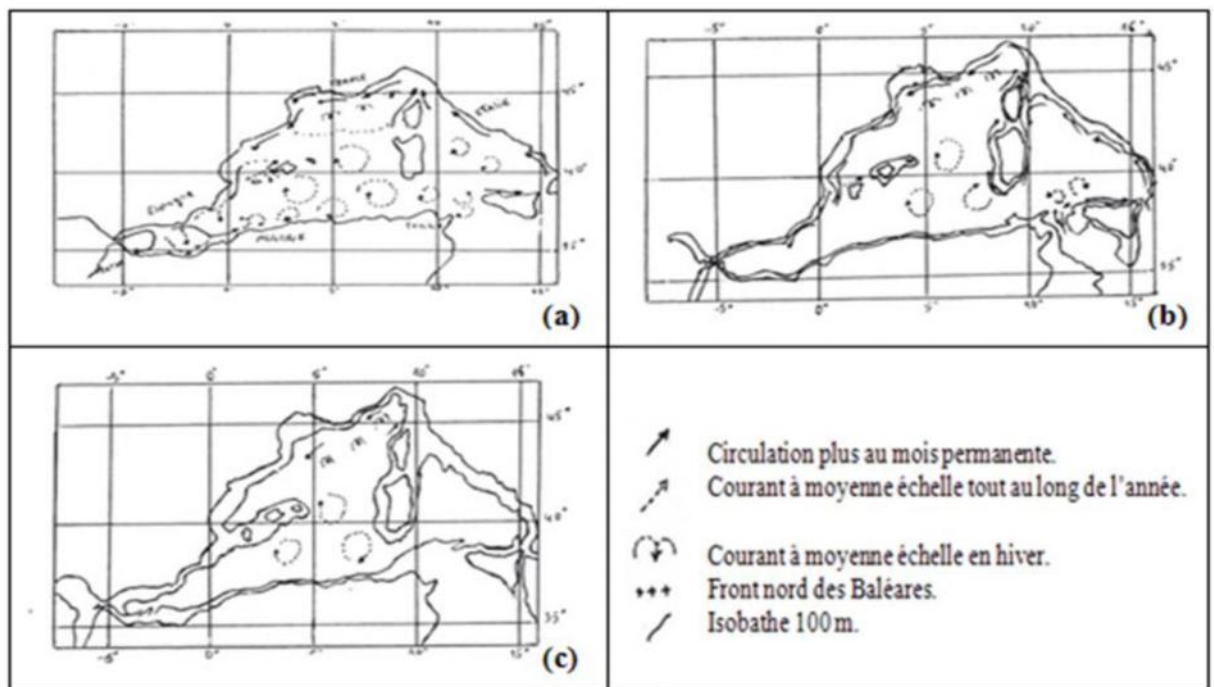
5.2) WIW (Winter Intermediate Water) : Formé dans le nord de la Méditerranée occidentale (au large des côtes de Provence, connue sous le nom d'eau de la Riviera), résulte des convections d'hiver. Cette eau se trouve sous la MAW.

5.3) LIW (Levantine Intermediate Water) : Quelques tourbillons côtiers sont capables de quitter la côte et dériver près des côtes de Sardaigne, ils sont alors capables d'entraîner des filaments de l'eau levantine intermédiaire qui est connue pour

s'écouler le long du talus sarde avant de revenir à l'intérieur des bassins devenant ainsi des tourbillons du large. Cette masse d'eau s'observe sous l'eau levantine intermédiaire WIW.

5.4) DW (Deep Water) : Résulte du mélange entre l'eau levantine intermédiaire avec l'eau atlantique modifiée qui a plongée suite à leur densification.

5.5) BW (Bottom Water), ou Eau de Fond, ayant une épaisseur de quelques centaines de mètres. Episodiquement, elle se situe près du fond. Elle est relativement plus chaude et plus salée que l'eau profonde.



(a): Circulation de l'Eau Atlantique Modifiée (MAW), (b): Circulation de l'Eau Levantine Intermédiaire (LIW), (c): Circulation de l'Eau Profonde (DW).

Figure15 : La circulation de l'eau dans le bassin algérien (Milot, 1989)

D'une façon générale, l'hydrologie de la baie est caractéristique des eaux atlantiques dont la circulation varie en fonction du régime des vents.

Chapitre 04 :
Interprétation des images
MODIS de la baie d'Alger

A l'aide de l'imagerie satellitaire, via le capteur MODIS, un bloom phytoplanctonique important a été détecté dans la baie d'Alger, du 11 au 13 Août 2003. Un jour auparavant, une dépression météorologique avec de fortes précipitations, sous forme de pluies, s'est installée dans cette région. Après traitement par ENVI 4.7, les images satellitaires ont permis d'extraire les informations suivantes :

1. Image du 10 Août 2003 :



Figure 16 : Image de la baie d'Alger prise par MODIS le 10 Août 2003 dans la portion *ultraviolet* du spectre électromagnétique (NASA)

Cette image prise par le capteur MODIS décrit l'installation d'une perturbation relativement importante sur le littoral algérois, notamment dans la baie d'Alger à la fin de la première décennie du mois d'Aout de 2003. Cette dépression météorologique est le résultat du passage des limites frontales d'une masse d'air froid, venant de l'Europe méridionale, et d'une masse d'air chaud remontant du Sahara vers le nord. Ces conditions favorisent la formation d'une couverture nuageuse dense avec des nuages dits de type *cumulonimbus* en météorologie, qui donnent des pluies fortes sous forme de rafales, ainsi que d'autres à savoir les *cumulus* et les *stratus* (Allaby, 2009). Cette activité orageuse localement intense s'est étalée jusqu'aux massifs intérieurs.

Alors que la deuxième décennie du mois d'Août a été marquée par une chaleur conséquente avec des pics de 38°C sur le littoral et de 42°C vers les régions intérieures (ONM : Office Nationale de Météorologie).

2. Image du 11 Aout 2003 :



Figure 17 : Image de la baie d'Alger prise par MODIS le 11 Août 2003 dans le visible et l'infrarouge (NASA).

Un très net bloom phytoplanctonique est détecté par le capteur MODIS, concentré au niveau de l'extrémité Est de la baie d'Alger et s'étalant vers le large. Ce développement planctonique aurait pour origine un enrichissement en sels nutritifs (Nitrate, phosphate et silicates) dû aux fortes précipitations engendrées par la tempête décrite sur l'image précédente (10 Août). Ces pluies tombées dans le bassin versant (Mitidja) ainsi que le ruissellement alimentent les oueds d'El Harrach et d'El Hamiz qui se déversent en mer, le réceptacle final de toute charge continentale. Qu'elle soit urbaine, agricole ou industrielle. L'écoulement à partir de ces deux oueds est très visible, essentiellement à l'embouchure.

Les ruissellements ont lessivé toutes les terres que les deux oueds drainent, charriant avec eux toutes sortes de particules comme les sels nutritifs, qui une fois arrivées en mer, conjugués à

une période d'insolation maximale (mois d'Août) favorisent un développement phytoplanctonique intense.

Une bande verte est observée le long de la baie de Zemouri, témoignant ainsi de la présence d'un bloom phytoplanctonique dans cette région, qui est de moindre intensité par rapport à la baie d'Alger. Ceci est dû à l'écoulement et le ruissellement le long de la côte avec des débits moins importants, donc la charge en sels nutritifs est moindre.

Les données de pluviométrie en Août 2003, recueillies au niveau de l'ONM, et celles des ruissellements obtenues par l'ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques) de la même année, confirment clairement que le bloom phytoplanctonique est dû essentiellement à l'effet de la pollution par une multitude de particules issues de plusieurs activités à savoir l'agriculture qui consomment des quantités énormes d'engrais et de pesticides ainsi que les rejets urbains riches en matières organiques et inorganiques.

Le deuxième phénomène provoquant une activité phytoplanctonique, et qui est un paramètre intrinsèque, à savoir l'upwelling est exclu dans ce cas-là (Suthers et Rissik, 2008).

3. Pluviométrie et température :

Les données de pluviométrie de la baie d'Alger sont représentées par celles recensées à la station de Dar El Beida. Les trois bulletins décennaires sont illustrés par l'histogramme suivant :

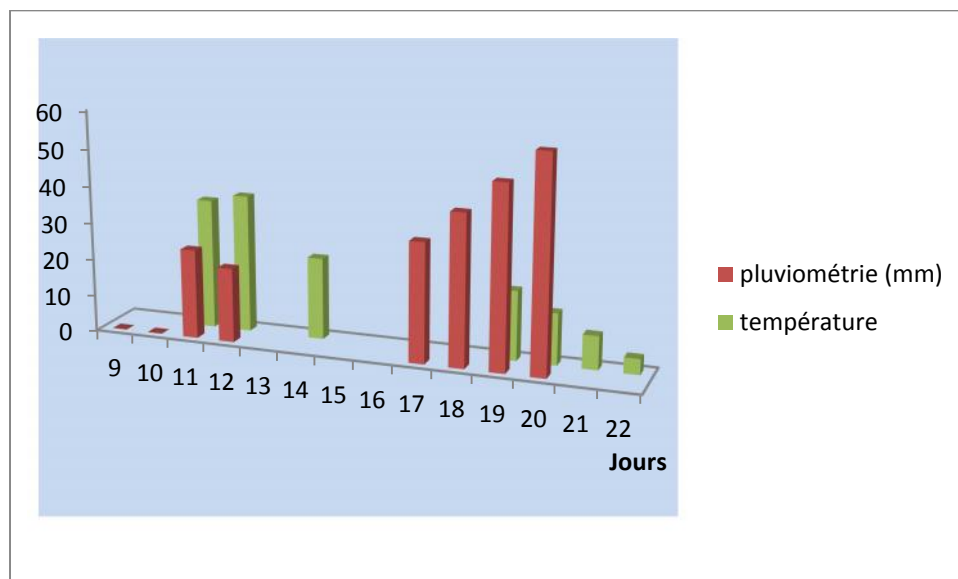


Figure 18 : Pluviométrie et température enregistrées durant le mois d'Août 2003 (ONM, 2003).

Concernant les données des ruissellements, celles obtenues par l'ANRH pour oued El Hamiz et oued El Harrach n'ont enregistré aucun débit de crue pour cette période et durant tout le mois d'Août !! Alors que l'écoulement à partir de ces deux oueds est nettement figuré sur l'image obtenue par le capteur satellitaire MODIS, encore un autre apport de l'imagerie satellitaire qu'est le complément des informations recueillies in situ.

4. Image du 12 Août 2003 :



Figure 19 : Image de la baie d'Alger prise par MODIS le 12 Août 2003 (NASA).

Le bloom phytoplanctonique a subi une évolution dans son deuxième jour. Un développement ainsi qu'un éloignement de la côte vers le large est enregistré, sous l'effet du courant de retour généré par la force des vagues dans la zone de déferlement.

On a remarqué également à la tête du peloton une légère inclinaison vers l'ouest sous l'effet de la circulation des masses d'eau qui régissent cette partie centrale du bassin algérien. C'est la gyre cyclonique (un tourbillon) qui commence à apparaître avec un détour d'une concentration périphérique diluée en « coup de pinceau » vers la côte sous l'effet de la direction de la houle (Doglioli, 2009).

Au niveau de l'embouchure d'oued El Hamiz, la naissance d'un nouveau bloom est très facilement distinguée, avec une couleur verte foncée, ce qui serait probablement dû à l'interception d'importants débits d'eau charriant toutes les zones avoisinantes avec des concentrations prépondérantes de sels nutritifs drainés par tous les effluents qui y déversent,

ainsi que l'ensoleillement important ce qui favorise le déclenchement d'une production primaire considérable via des espèces phytoplanctoniques, essentiellement des dinoflagellés.

5. Image du 13 Août 2003 :



Figure 20 : Image de la baie d'Alger prise par MODIS (NASA).

L'effet de la dilution de cette pollution phytoplanctonique est bien distingué, suivant la circulation sous formes de tourbillons cycloniques, avec des points de concentration très claire, ce qui explique que la charge en organismes phytoplanctoniques commence à diminuer en périphérie, alors qu'au centre elle est toujours maximale.

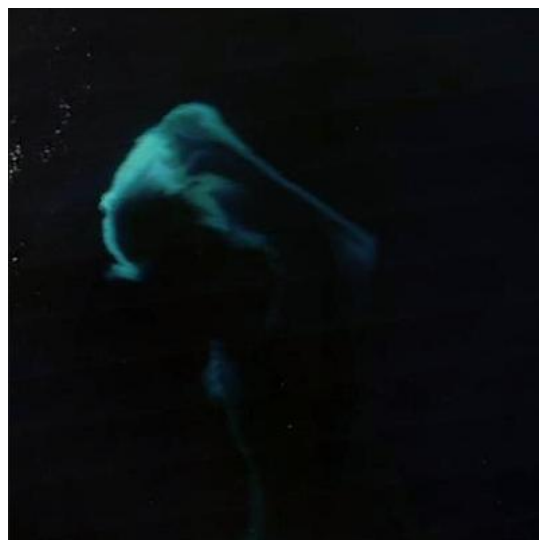


Figure 20-a : Image du large de la baie d'Alger prise par MODIS

Sur cette portion de l'image, on a distingué d'une part la continuité de l'éloignement du bloom phytoplanctonique vers le large, et d'autre part une gyre plus prononcée et une rotation plus claire que la précédente. Ce qui explique que l'effet néfaste de ce bloom est en train de s'affaiblir sous l'action du large qui est apte à assimiler cette charge biotique.



Figure 20-b : Image de la zone côtière de la baie d'Alger prise par MODIS.

L'avancée du nouveau bloom phytoplanctonique vers le large est très marquée sur cette partie de l'image, et prend le même itinéraire que le premier, avec une densité faible comparé au précédent. Ces petits nuages de type *stratus* sont les témoins du passage d'une perturbation météorologique conséquente dans la région.

Conclusion générale

La télédétection permet de couvrir d'importantes superficies en un temps quasi réel contrairement aux méthodes traditionnelles. En effet, c'est une technique très efficace pour le suivi spatiotemporel du milieu naturel avec ses composantes très variables dans le temps et dans l'espace.

L'objectif de notre travail était l'illustration de l'utilité de l'imagerie satellitaire dans les études environnementales, notamment dans un milieu en perpétuel mouvement tel que l'océan. Et pour cela, on a opté pour l'enchaînement d'idées suivant :

- ✓ Le recensement des paramètres océaniques mesurables par télédétection.
- ✓ Le recensement des satellites et capteurs à vocation environnementale et spécifiques à la couleur de l'océan.
- ✓ Etude de cas dans la baie d'Alger.
- ✓ Et savoir extraire de l'information à partir d'une image satellitaire et la corréler aux données *in situ*.

Au cours de ce travail, on a pu mesurer la portée de la télédétection sur les études océanographiques en général et en Algérie en particulier, notamment dans la quantification de la production primaire et l'observation du milieu côtier.

En effet, une surveillance directe des populations phytoplanctoniques conjuguée à l'utilisation de l'imagerie satellitaire peut améliorer nettement nos connaissances de l'état de nos eaux côtières.

La télédétection de la couleur de l'océan permet entre autres la réalisation de carte d'anomalies de la biomasse phytoplanctonique dans la zone côtière avec une vérification par des mesures représentatives sur le terrain.

Grâce aux capteurs de la couleur de l'océan (MODIS, MERIS, VIIRS...) la télédétection offre une large gamme de produits standard sur le statut de l'environnement.

Dans un pays comme l'Algérie où les études ne se font pas continuellement, ou se font sur des zones précises, la télédétection serait un complément quasi parfait pour une collecte de données continue aussi bien dans le temps que dans l'espace.

La télédétection spatiale, s'appuyant sur des mesures au sol, et combiné au SIG (système d'information géographique) contribution décisive aux diverses questions qui se posent en matière d'environnement et d'aménagement du territoire, l'utilisation rationnelle des technologies spatiales et leurs applications au service du développement durable de la région deviennent une nécessité.

Bibliographie

Andréfouët S., Maritorena S. & Loubersac L., 2000. Un bilan de la télédétection appliquée aux milieux coralliens. *Océanis*, vol, 26 no 3, 2000, P 311-349.

Antoine D., 1998. Apports de la télédétection spatiale de la « couleur de l'océan » à l'océanographie. *Océanis*, vol. 24, no 2, 1998, P 81-150.

Ardhuin F., Chapron B. & Collard F., 2009. Observation of swell dissipation across oceans. *Geophysical Research Letters*. March 2009. Volume 36. P. 1-5.

Arnault S., 2004. Variabilité océanique par altimétrie satellitaire. *Télédétection*, 2004, vol. 4, n° 2, P 109–113.

Atillah A., Orbi A., Hilmi K. & Mangin A. Produits opérationnels d'océanographie spatiale Pour le suivi et l'analyse du phénomène d'upwelling marocain. Centre Royal de télédétection Spatiale. Institut National de la Recherche Halieutique, ACRI-st. 14p.

Ayina L.H. & Bentamy A., 2006. Une approche globale pour améliorer les données de flux turbulents estimées à l'aide de capteurs satellitaires. 20p. Institut français pour la recherche et l'exploitation de la mer (IFREMER), Laboratoire d'océanographie spatiale (DOPS/LOS), B.P. 70, 29280 Plouzané, France.

Aubert M. & Flatau G., 1981. Application de la télédétection à l'Océanographie. Quelques exemples en Méditerranée occidentale in: *Méditerranée*, Troisième série, Tome 42, 2-3-1981. *Télédétection II*. p. 3-11.

Auge A., Denise L., Lambert G., Staszak L., 2005. Olympiades de Physique – 2005. Température de la surface des océans Mesures effectuées par satellite. p2.

Bacahari N.E.I. & Razagui A., 2003. Développement d'une Méthodologie pour Déterminer et Cartographie du Rayonnement Thermique du Sol. Faculté des Sciences Biologiques U.S.T.H.B. p1-8. 11èmes Journées Internationales de Thermique (2003)39-46.

Bailey & Wedell, 2006. A multi sensor approach for the one-orbit validation of ocean color satellite data products. in : *remote sensing of environment*. vol.102 (1-2). p12-23.

Beggs H., 2007. A high-resolution blended sea surface temperature analysis over the Australian region. p7-14. BUREAU OF METEOROLOGY RESEARCH CENTRE | AUSTRALIA.

Benhadj I., 2008. Observation spatiale de l'irrigation d'agrosystèmes semi-arides et Gestion durable de la ressource en eau en plaine de Marrakech. p25-67. 298p Doctorat de l'université de Toulouse. III - Paul Sabatier spécialité : Océan et atmosphère des surfaces continentales.

Bentamy A & Piollé J.F., 2004. Observation des vents de surface sur les océans au moyen de mesures diffusiométriques. *Télédétection*, 2004, vol. 4, n° 2, P 125–137.

Benzohra M., 1993. Les structures hydrodynamiques le long des côtes Algériennes. Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes méditerranéennes du Maghreb, 9-11 novembre 1992, INOC .P33-38.

Boulanger Y., 2007. Spectroscopie vibrationnelle : Infrarouge et Raman CHM 2995.p1.20p. Université de Montréal.Automne 2007.

Brekke C., Solberg A.H.S., 2005. Oil spill detection by satellite remote sensing. Norwegian Defence Research Establishment. p1-13. Postboks 25, 2027 Kjeller, Norway.

Brown O. B & Minnett P.J., 1999. MODIS Infrared Sea Surface Temperature. Algorithm Theoretical Basis Document. Version 2,0.98p.University of Miami.Miami, FL 33149-1098.

Campbell J.B., & Browder J.O., 1995. Field data for remote sensing analysis: SPOT data,Rondonia, Brazil.International journal of remote sensing,15,p333-350.

Carr M.E., remote sensing tools to study ocean biogeochemistry: the state of the art. Jet Propulsion Laboratory. California institute.p1-6.

Daniault N., 2005. Océanographie physique (V2). Ecole navale.Université de Bretagne Occidentale.P3.

Dehouck A., 2002. Mesure de la salinité de surface par radar aeroporté à ouverture synthétique en gironde.52p. Département de Géologie et OcéanographieUMR 5805 – EPOC. Equipe methys. Diplome d'études approfondies « environnements paleoenvironnements cotiers et oceaniques » Année universitaire 2001/2002.

Doglioli A.M., 2009 : Notes du Cours Circulation Générale en Méditerranée.57p. Centre d'Océanologie de Marseille, Université de la Méditerranée, Marseille, France.

Dossier de presse Brest, 8 mars 2012. Dix ans d'observations marines avec le satellite Envisat.14p.

Erus G., juin 2008. Reconnaissance d'objets cartographiques dans les images satellitaires à haute résolution.158p. Université PARIS DESCARTES.Centre universitaire des Saints-Pères

Ufr de mathématiques et informatique.Thèse présentée pour l'obtention du grade de Docteur de l'université PARIS DESCARTES. Spécialité : Informatique.

Forget M. H., Fuentes-Yaco C., Sathyendranath S., Platt T., Pommier J. & Devred E., 2007. Computation of primary production from remote sensing of ocean colour at the northwestern Atlantic C-SOLAS Lagrangian site.p1-12. Department of Biology, Dalhousie University, 1355 Oxford Street, Halifax, Nova Scotia B3H 4J1, Canada.Department of Oceanography, Dalhousie University, 1355 Oxford Street, Halifax, Nova Scotia B3H 4J1, Canada.

Froidefond .M. & Doxaran D., 2004. Télédétection optique appliquée à l'étude des eaux côtières. Télédétection, 2004, vol. 4, n° 2, P 157–174.

Gatti J., 2010. Optimisation échantillonnage in situ : Qualification des configurations méditerranéennes du modèle MARS3D.Rapport final d'activité.Janvier 2009 à février 2010.96P. Direction des opérations.Laboratoire Environnement et RessourcesLERPAC.IFREMER.

Girard M.C., Girard C., 1989. Cours de télédétection.86p. Traitement de données de télédétection. Dunod, Paris, 1999.ISBN: 2 10 0041851.

Houma F., Bachari N. E. I., Bachouche S., Kassar A. & Belkessa R., 2011. Contribution à l'évaluation de la pollution des eaux marines sur la côte Ouest d'Alger en utilisant l'imagerie satellitale.p1-6.Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime.EDITION 2, TANGER, MAROC (2011).Coastal and Maritime Mediterranean Conference.

Jacob F., 1999.Utilisation de la télédétection courtes longueurs d'onde et infrarouge thermique à haute résolution spatiale pour l'estimation des flux d'énergie à l'échelle de la parcelle agricole.268p. Thèse Présentée en vue de l'obtention du titre de docteur de l'université Toulouse III.Spécialité : Télédétection de la Biosphère Continentale.

Larouche P. & Dubois J.M., 2004. Introduction au numéro 4(2) : La télédétection en océanographie. Télédétection, 2004, vol. 4, n° 2, p. 99–101.

Le Traon Y., 1998. Apports de la télédétection spatiale de la « couleur de l'océan » à l'océanographie. Océanis, vol. 24, no 2, 1998.

Le Traon P.Y., 2007.Satellite Altimetry. 2nd Advanced training course in oceanography remote sensing.85p. Ifremer, Brest FRANCE.

Llewellyn-Jones D., 2006.Measuring Sea-Surface Temperature From Space.46p.Space Research Centre University of Leicester, UK.

Lueng Fu L. & Le Traon P.Y., 2006. Satellite altimetry and ocean dynamics Altimétrie satellitaire et dynamique de l'océan. Comptes Rendus Geosciences.Vol. 338, Issues 14-15 , Nov-Dec 2006, P. 1063-1076.

Lixin Z & Brown R. A., 1998. Scatterometer Observations at High Wind Speeds.p1-9. Department of Atmospheric Sciences, University of Washington, Seattle, Washington.

Michael A., 2009: ATMOSPHERE: A Scientific History of Air, Weather, and Climate. Illustrations by Richard Garratt. Library of Congress. 257P.

Millot C., 1993. La circulation générale en Méditerranée occidentale. Workshop sur la circulation des eaux et pollution des côtes Méditerranéennes du Maghreb. 9-11 novembre 1992, INOC. p29-30.

Platt T. & al., 2005.physical forcing and phytoplankton distributions. Bedford Institute of Oceanography, Box 1006, Dartmouth,Nova Scotia, Canada.

Rabaud T., mars 2006 .Les radars Qu'en savez-vous vraiment ? Sagem Défense Sécurité. Directeur du Département Transport CNAM.

Robin M. & Gourmelon F., 2005. LA TÉLÉDÉTECTION ET LES SIG DANS LES ESPACES CÔTIERS : ÉLÉMENTS DE SYNTHÈSE À TRAVERS LE PARCOURS DE FRANÇOIS CUQ. Norois, n° 196, 2005/3, p. 11-21. Géolittomer, igarun – université de nantes.geomer, iuem – université de bretagne occidentale (brest).12p.

Rouibah M., Boulahdid M., Boudejellal B., Eddalia N., Ounadi F., 2005.Etude de la pollution du littoral algerois et du lac de reghaia. Institut des sciences de la mer et de l'aménagement du littoral.ISMAL.74p.

Send U., Font J., Krahnmann G., Millot C.,Rhein M., Tintore J.,1999. Recent advances in observing the physical oceanography of the western Mediterranean Sea.28p.Progress in Oceanography 44 (1999) 37–64.

Suthers Iain M. & RissikD., 2008. Plankton: a guide to their ecology and monitoring for water quality.

Topliss B. J., Gower, J.F.R., Helbig J.A., Isenor A.W., and Rubinstein I., Mars 2002. La salinité de surface de la mer à partir de l'espace-Un point de vue canadien. Pour l'agence Spatiale Canadienne-Le programme d'applications terrestres et environnementales.p2-30.

Vaillant P. &Paumier C., Version 9 juillet 2011.Radar tutorial. Chapitre 1: Notions de base.26p.

Volpe G., Colella S., Forneris V., Tronconi C. and Santoleri R., 2012.The Mediterranean Ocean Colour Observing System: system development and product validation.19p. Ocean Sci. Discuss., 9, 1349–1385, 2012. Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Via Fosso del Cavaliere 100, 00133 Roma, Italy.

Wald L. & al., 1985. La pollution pétrolière en Méditerranée vue par le satellite Landsat. In: Méditerranée, Troisième série, Tome 54, 1-2-1985. Télédétection III. pp. 61-68.

Wang X & Chao Y., 2004. Geophysical research letters.4p. vol. 31, 2004. Geophysical research letters, vol. 31, 102302, doi:10.1029/2003gl018146, 2004.

Weber B. & Jaquet J.M., 2002. Suivi multi-temporel de la concentration de la chlorophylle en Méditerranée Orientale à l'aide de SeaWiFS et de Landstat TM.86p.Rapport de stage au GRID.université de Genève.

Wentz F. J., Gentemann C., Smith D., Chelton D., 2000.Satellite Measurements of Sea Surface Temperature Through Clouds.4p. Science vol 288 5 may 2000.

Wolff C., août 2011. Radar tutorial. Chapitre 2: Types de radar et fréquences.23p. Version 19 septembre 2011.

Zeghdoudi E., 2006. Modélisation bioéconomique des pêcheries méditerranéennes - Application aux petits pélagiques de la baie de Bou Ismail (Algérie). p4.76p. Tesis presentada y defendida publicamente para la obtencion del titulo de master of science en economía y gestión de la actividad pesquera.

Sources externes :

Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (**ANRH**).

Office Nationale de Météorologie (**ONM**).

Sites internet :

-Site officiel de la NASA

-http://www.ioccg.org/sensors_ioccg.html.

-Site officiel de l'Agence Spatiale Algérienne.

Annexe

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	Juin	juil	aout	annuel
Code station : 020602													
Nom station : HAMIZ													
BARRAGE													
X : 558.55													
Y : 367.4													
Z : 130													
2002													
PJ max (mm)	13,5	15,2	48	54,8	33,1	53,9	6,5	58,2	18,7	0	0	3,6	58,2
Totaux (mm)	13,5	35,9	186,7	194	239,2	167,4	10,8	175,4	32,1	0	0	3,6	1058,6
2003													
PJ max (mm)	14,9	18,6	32,3	23,5	49,8	32	34	37,4	64,6	26,7	0	0	64,6
Totaux (mm)	53,2	40,6	62,7	140,4	130,9	61,7	90,2	77,9	195,1	30,7	0	0	883,4
2004													
PJ max (mm)	4	33,2	63,1	43,8	50,2	21,6	14,9	20	2,5	0	0	1,3	63,1
Totaux (mm)	10,7	56,8	105,3	172	128,5	103,3	44	44,5	4,1	0	0	2,9	672,1
2005													
PJ max (mm)	22,5	29,9	22,5	30,4	27,2	32,7	20,2	4,1	55,8	1,8	0	2	55,8
Totaux (mm)	41,2	67,6	83,6	88,9	143,6	123,1	39,2	9,9	87,6	2,2	0	2,8	689,7
2006													
PJ max (mm)	6,5	7,8	34,5	37,7	3,3	12,7	51,1	38,4	18,1	2,4	4,2	2,9	51,1
Totaux (mm)	14,1	13,6	36,6	225,2	10	58,6	189,2	133,9	28,4	3,2	4,2	5,5	722,5
Totaux (mm)	82	154,5	192,5	85,3	17,4	23,6	94,8	50,6	96	3,9	4,8	0	805,4

Tableau IX: Données de pluviométrie maximale journalière recueillies au niveau de la station du barrage oud El Hamiz de l'an 2002 à 2007.

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
Code station : 020632													
Nom station : REGHAIA													
X : 557.8													
Y : 382.25													
Z : 20													
2003													
PJ max (mm)	23,5	13,5	13	20,7	46,6	20,7	40,6	23,5	77,4	0	0	0	77,4
Totaux (mm)	25,3	26,5	51,2	97,5	103,5	51,2	82,1	63,4	218,5	0	0	0	719,2
2004													
PJ max (mm)	3,1	21	53	52,4	31,6	18,6	16,9	10,2	1,2	0	1	0	53
Totaux (mm)	8,5	36,4	116,3	156,5	81,7	111,5	59,5	23,9	1,2	0	1	0	596,5
2005													
PJ max (mm)	8	24,6	44	25,3	26,4	27,6	16	1,9	105,3	0,6	0	5,9	105,3
Totaux (mm)	16,5	47,7	144,7	117,6	139,3	106,8	36,7	3,2	157,5	1,1	0	5,9	777
2006													
PJ max (mm)	20,5	5,3	10,3	37,1	6	13,8	23,4	24,2	9,8	2,7	5	0	37,1
Totaux (mm)	37,3	10,3	15,2	209,5	11,8	42,3	137,7	92,1	16,6	2,9	5	0	580,7
2007													
PJ max (mm)	29,8	36,4	60,8	27,2	5	7	10,8	4,8	25,3	2,4	8,3	0	60,8
Totaux (mm)	40,6	113,7	254,8	94,1	12,1	11,6	31,7	9,3	82,5	3	10,1	0	663,5

Tableau X : Données de pluviométrie maximale journalière recueillies au niveau de la station de Reghaïa de 2003 à 2007.

	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	annuel
Code station : 020509													
Nom station : BIRMANDREIS ANRH													
X : 531,1													
Y : 382,8													
Z : 140													
2002													
PJ max (mm)	25,3	38,5	32,8	45	37,5	36,4	8,6	24,2	6,8	0,5	1	6,3	45
Totaux (mm)	34,9	51,3	113	123,3	230,1	152,8	19,6	61	17,1	0,5	1,1	7,2	811,9
2003													
PJ max (mm)	21,4	7	18	34,4	56,4	18,9	20,7	27	62,7	4,1	0	0	62,7
Totaux (mm)	45,3	30	72,3	155,7	126,5	52,8	66,7	89,8	164,7	5,2	0	0	809
2004													
PJ max (mm)	1,3	16,7	53,9	67,8	37,5	30,3	25	8,5	3,3	0	0,3	0	67,8
Totaux (mm)	1,7	36,9	165,9	179,7	99,4	148,2	81,8	23,5	5,2	0	0,3	0	742,6
2005													
PJ max (mm)	11,3	42,8	49,4	19,3	26,6	28,1	10,3	1,1	79,7	0	0,2	4,2	79,7
Totaux (mm)	19,7	79,7	192,3	94,1	122,6	122,3	26,3	2	134,1	0	0,2	9,8	803,1
2006													
PJ max (mm)	13,8	6,6	14,4	45	10,1	28	30,8	32,8	3	3,6	0,4	5,4	45
Totaux (mm)	44,6	7,5	26,2	264,2	30	69,9	121,3	75,2	8,2	4	0,4	8,6	660,1

Tableau XI: Données de pluviométrie maximale journalière recueillies au niveau de la station de Bir Mourad Raïs de 2002 à 2006.

code_sta	date	heure	haut_crue	débit
020629	<u>27/05/2003</u>	<u>16:00:00</u>	<u>30</u>	<u>0,3</u>
020629	<u>27/05/2003</u>	<u>18:00:00</u>	<u>25</u>	<u>0,203</u>
020629	<u>27/05/2003</u>	<u>20:00:00</u>	<u>23</u>	<u>0,164</u>
020629	<u>27/05/2003</u>	<u>22:00:00</u>	<u>22</u>	<u>0,144</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>00:00:00</u>	<u>11</u>	<u>0,001</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>01:00:00</u>	<u>11</u>	<u>0,001</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>02:00:00</u>	<u>11</u>	<u>0,001</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>03:00:00</u>	<u>11</u>	<u>0,001</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>04:00:00</u>	<u>11</u>	<u>0,001</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>05:00:00</u>	<u>11</u>	<u>0,001</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>06:00:00</u>	<u>11</u>	<u>0,001</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>07:00:00</u>	<u>14</u>	<u>0,002</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>08:00:00</u>	<u>14</u>	<u>0,002</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>09:00:00</u>	<u>13</u>	<u>0,002</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>10:00:00</u>	<u>18</u>	<u>0,004</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>11:00:00</u>	<u>18</u>	<u>0,004</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>12:00:00</u>	<u>18</u>	<u>0,004</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>13:00:00</u>	<u>20</u>	<u>0,006</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>14:00:00</u>	<u>18</u>	<u>0,004</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>15:00:00</u>	<u>16</u>	<u>0,003</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>16:00:00</u>	<u>15</u>	<u>0,003</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>17:00:00</u>	<u>14</u>	<u>0,002</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>18:00:00</u>	<u>13</u>	<u>0,002</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>19:00:00</u>	<u>13</u>	<u>0,002</u>
020629	<u>16/09/2003</u>	<u>20:00:00</u>	<u>12</u>	<u>0,001</u>

Tableau XII : Données des débits de crue (m^3/s) obtenues à l'ANRH au niveau de oued El Herrache

code_sta	Date	heure	haut_crue
021418	10/05/2003	04:00:00	72
021418	10/05/2003	06:00:00	68
021418	10/05/2003	08:00:00	65
021418	10/05/2003	10:00:00	64
021418	10/05/2003	12:00:00	63
021418	10/05/2003	14:00:00	63
021418	10/05/2003	16:00:00	62
021418	10/05/2003	18:00:00	62
021418	10/05/2003	20:00:00	61
021418	10/05/2003	22:00:00	60
021418	16/09/2003	00:00:00	32
021418	16/09/2003	01:00:00	33
021418	16/09/2003	02:00:00	34
021418	16/09/2003	03:00:00	35
021418	16/09/2003	04:00:00	36
021418	16/09/2003	05:00:00	36
021418	16/09/2003	06:00:00	38
021418	16/09/2003	07:00:00	38
021418	16/09/2003	08:00:00	38
021418	16/09/2003	09:00:00	37
021418	16/09/2003	10:00:00	37
021418	16/09/2003	11:00:00	36
021418	16/09/2003	12:00:00	35
021418	16/09/2003	13:00:00	35
021418	16/09/2003	14:00:00	38
021418	16/09/2003	15:00:00	45
021418	16/09/2003	16:00:00	49
021418	16/09/2003	17:00:00	54
021418	16/09/2003	18:00:00	60
021418	16/09/2003	19:00:00	60
021418	16/09/2003	20:00:00	59
021418	16/09/2003	21:00:00	58
021418	16/09/2003	22:00:00	58
021418	16/09/2003	23:00:00	57
021418	17/09/2003	00:00:00	55

Tableau XIII : Données des débits de crue (m^3/s) obtenues à l'ANRH au niveau de oued El