

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة 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 : AMENAGEMENT DU LITTORAL

Thème :

Modélisation et cartographie de la bathymétrie
des zones côtières algéroises : outils et
méthodologie satellitaire.

Présenté par :

- GHARBI Mohammed

Soutenu le 02 novembre 2014 devant le jury suivant :

Mr. BELKESSA .R	Professeur	Président
M^{me}. BENZOUAI	Maître assistante. A	Examinatrice
M^{me}. HOUMA BACHARLF	Professeur	Promotrice

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, nous tenons tout d'abord à remercier Allah «Hamdouleh» le tout puissant, nous avoir accordé le courage, la patience et Surtout la santé pour réaliser et mener au terme notre travail.

Nos remerciements les plus sincères :

A notre promotrice **Mme BACHARI Fouzia** qui nous a inspiré ce travail et de nous avoir suivie, orienté et dirigé avec patience depuis le début jusqu'à la fin de ce travail et aussi pour son encouragement, sa disponibilité et surtout sa modestie et sa gentillesse

A monsieur **Mr.BELKESSA**, d'avoir accepté de présider ce jury et pour sa disponibilité et surtout sa grande amabilité

A **Mem.BENZOUAI** qui a bien voulu consulter, corriger et juger ce travail ; un grand merci

Introduction

Introduction

La côte et le littoral algérien, à l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, sont sensibles au changement de l'environnement, au changement crée par le développement économique et au changement d'utilisation du sol.

Cependant, les zones côtières sont exposées à des énormes risques : La pression démographique où la majorité de la population mondiale est située près des côtes, la croissance des zones urbaines, associée à une expansion rapide de l'industrie et du tourisme et à une exploitation évasée des ressources marines.

Dans cette optique, nous présentons dans ce travail la méthodologie appliquée pour la caractérisation de la bathymétrie des zones côtières, des applications sont réalisées au niveau de la zone algéroise, en utilisation la télédétection.

La bathymétrie, science de la mesure des profondeurs de l'océan est une donnée essentielle pour un grand nombre d'applications (**Sandwell et al, 2006**) l'information bathymétrique qui est particulièrement importante dans les zones côtières a tendance à changer à cause de l'érosion et des processus de sédimentation, c'est pour cela que la mesure bathymétrique doit être continuellement actualisée (**Minghelli-Roman et al, 2007**).

Les méthodes traditionnelles utilisées dans l'établissement des levés bathymétriques tels que les sondes multifaisceaux bien qu'onéreuses, elles restent irremplaçables pour la bathymétrie des eaux profondes .Mais pour les zones peu profondes il conviendrait d'obtenir les levés par télédétection.

L'exploitation des données de télédétection pour la reconnaissance bathymétrique se heurte souvent soit à la non transparence de l'eau soit à l'hétérogénéité des fonds (**Verger F, 1989**) en effet, la couleur de l'eau qui représente la lumière rétrodiffusée par le milieu marin dépend de la profondeur (**Gouriou T, 2006**).

La télédétection offre à son utilisateur une meilleure connaissance des phénomènes du milieu côtier et de leur évolution ; un de ses intérêts majeurs est la capacité d'enregistrer les mesures de l'énergie électromagnétique réfléchie ou émise par la Terre sous forme de données quantitatives. La

reconnaissance de la bathymétrie à partir des données satellitaires se base essentiellement sur le principe de mesure de la réflectance qui relie étroitement l'intensité du signal radiométrique mesuré par le capteur du satellite à la profondeur.

Des études nombreuses ont été menées à ce jour, tant sur les données LANDSAT que SPOT, pour définir les conditions dans lesquelles la bathymétrie de l'environnement côtier peut être perçue au travers de l'image satellitaire. Ces recherches soulèvent le problème essentiel de l'atténuation de la lumière dans l'eau, et, pour la plupart, tentent de définir la formule mathématique prenant en compte la presque totalité des paramètres qui conditionnent la perception du fond : absorption des différentes longueurs d'onde par l'eau, nature des fonds, turbidité des eaux, etc. (**Sugimura, et Tanaka, 1998**)

Des expériences antérieures ont montré que l'estimation de la bathymétrie est réservée aux eaux claires et peu profondes : dans une situation presque idéale, on peut proposer un maximum de 40m de pénétration pour la bande XS1 (500-590 nm), de 8m pour la bande XS2 (610-680 nm) et de 0.5m au maximum pour la bande XS3 (790-890 nm). (**Minghelli-Roman et al., 2007**)

Ces chiffres sont variables en fonction de la clarté des eaux, les matières en suspension entraînant une diffusion de plus en plus importante en relation avec leur concentration et occultant le signal lumineux rétrodiffusé par le fond. (**Lemoalle, L., 1978**).

(**Loubersac et al., 1991**) ont, quant à eux, utilisé une image HRV pour dresser une carte bathymétrique (**Loubersac et al., 1989**).

Ibrahim et Cracknell (1990) ont vérifié et validé l'hypothèse du modèle de réflectance de l'eau profonde proposée par **Spitzer et Dirks (1986)** et par **Legouic (1987)**.

Avec les cartes marines, la donnée spatiale devient la base de la carte. Dans les eaux tropicales coralliennes, la grande transparence de la mer permet de déterminer la bathymétrie jusqu'à des profondeurs de vingt mètres et même davantage. (**Loubersac et al., 1989**)

La classification d'une première image suggérait la possibilité de relier la luminance à la bathymétrie (**Seguis, 1991**). L'analyse bathymétrique, à l'aide d'images satellites, a été élaborée dans les années soixante-dix à l'aide d'images MSS de Landsat, puis étendue à l'imagerie HRV de SPOT. (**Krishnamoorthy et al., 1988**)

Le modèle est utilisé de manière opérationnelle en milieu marin à partir des comptes numériques MSS de Landsat et HRV de SPOT. (**Houma, 2009, Morel et Gentili, 2004**).

A cet effet le présent document est constitué de trois chapitres :

Dans le premier chapitre on va présenter un bref aperçu sur notre zone d'étude, Le deuxième chapitre sera consacré pour la partie télédétection et application bathymétrique. Le troisième chapitre sera consacré aux résultats de réflectance obtenus à partir des données numériques des satellites : SPOT et LANDSAT ; par le biais du logiciel SDDS ; leur interprétations respectives et l'extraction de l'image bathymétrique à partir d'un autre logiciel : le PCSATWIN.

Chapitre I

Généralité

1. Zone d'étude

1.1. Situation géographique

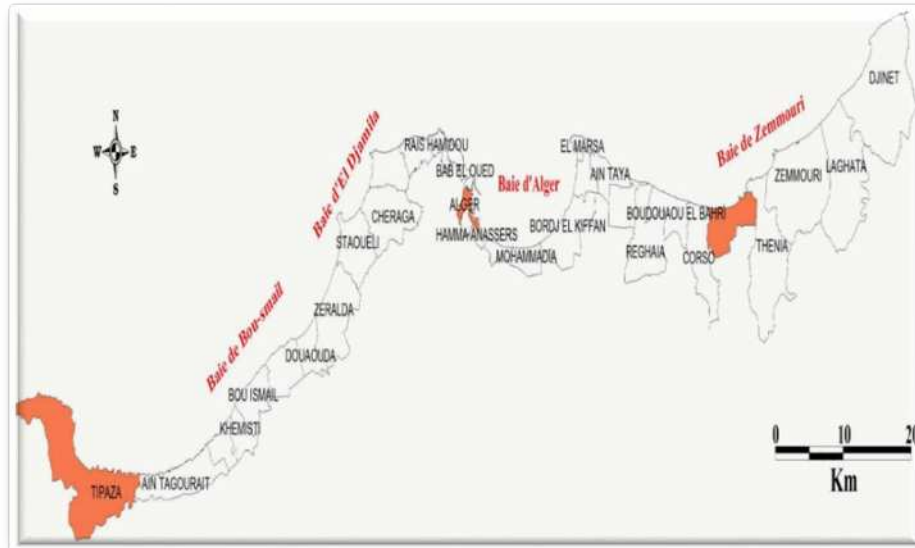


Figure 1: situation géographique de la zone côtier Algéroise

1.2. Description de la zone

1.2.1. La baie d'Alger

1.2.1.1. Description géographique et présentation du site

La baie d'Alger est située dans la partie centrale de la côte algérienne. Elle s'inscrit en creux dans la plaine de Mitidja de forme semi-circulaire d'une superficie approximative de l'ordre de 180 Km^2 , délimitée par deux caps, la Pointe Pescade (Rais Hamidou) à l'ouest et le cap Matifou (Bordj El- Bahri) à l'est. Elle est limitée au nord par la mer Méditerranée avec une longitude Est $03^{\circ}.14'.50$ à $03^{\circ}.00'.40$ et une latitude Nord $36^{\circ}.49'.35$ à $36^{\circ}.49'.50$. (Figure 2)

Le plateau continental est très étroit mais s'élargi au centre de la baie. Ce dernier ne dépasse pas l'isobathe 120 m. En effet, l'isobathe 50m est à 4,1Km de la côte, celui de 100m est à 7,6Km quant à celui 1000 m il ne se trouve qu'à 12,1Km de la côte.

La baie d'Alger se subdivise en trois :

- Zone de Bordj El Kiffan
- Zone de Bordj El Bahri.
- Zone de Mohammedia.

1.2.1.1.1. Zone de Bordj El Kiffan

C'est une zone côtière, elle est située à 20 Km à l'est d'Alger. Bordj-Kiffan possède de larges tendues de plages, s'allongeant sur plus de 6,7 Km (Lido, Bateau cassé, Sirène et Verte Rive).

1.2.1.1.2. Zone de Bordj El Bahri

Elle est située sur la côte Est à 25 Km d'Alger, elle dépend de la circonscription administrative de Dar El Beida, sa superficie est de 799 hectares.

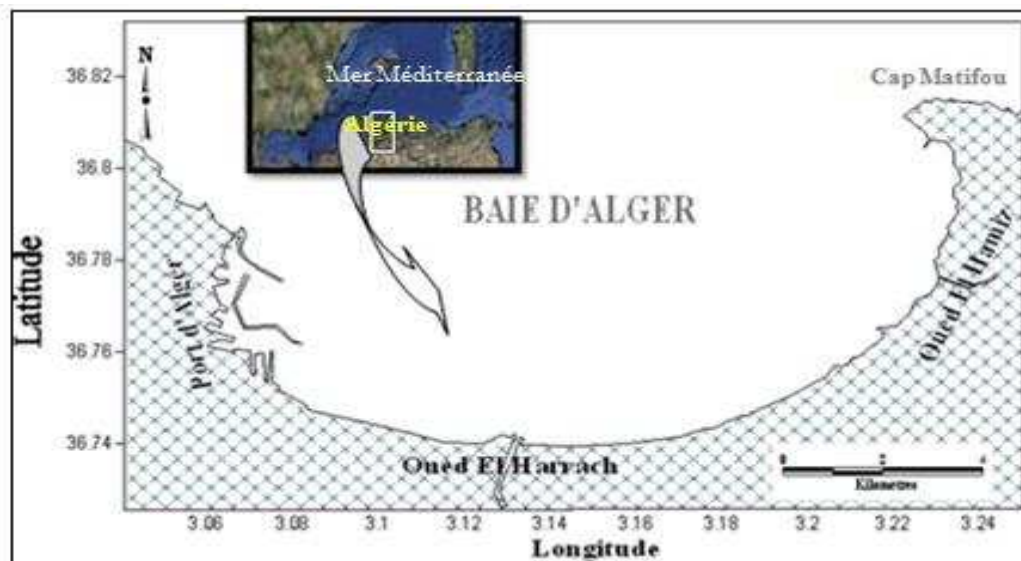


Figure 2: situation géographique de la baie d'Alger

1.2.1.2. Facteurs hydrodynamiques

1.2.1.2.1. La houle

Etant le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, sa direction de propagation est liée à celle du vent et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande

que la longueur d'onde de la houle. Ainsi 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 (Leclaire, 1972)

1.2.1.2.2. Les courants

La mer Méditerranée est connue par son excès d'évaporation par rapport aux apports fluviaux et aux précipitations, ceci est responsable d'une baisse de niveau de la mer estimée à 1m/an, ce déficit est compensé par un flux entrant (de 31600 Km³/an) d'eau atlantique, par le détroit de Gibraltar.

La dérive générale dans la baie d'Alger engendrée par le courant atlantique (contre courant atlantique) tourne dans le sens des aiguilles d'une montre avec une vitesse moyenne en surface de l'ordre de 0,3 km/h.

A proximité du fond la vitesse de ces courants diminue très rapidement et devient pratiquement négligeable (LEM, 1998)

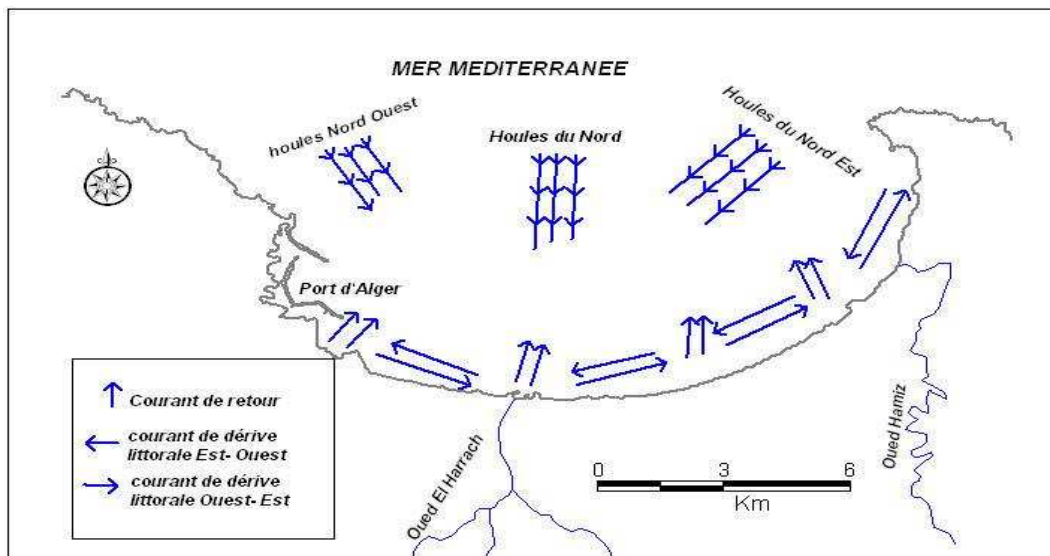


Figure 3: bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998)

1.2.1.3. Nature de fond- couverture sédimentaire

Pour la simulation des données satellites, il est nécessaire de connaître la nature du fond. L'application nécessite la détermination de la sédimentologie de la zone d'étude, en effet, trois faciès sédimentaires existent dans la sédimentologie de la baie d'Alger. (Figure 4).

1.2.1.3.1. Faciès sableux.

Ils se limitent à la bordure littorale entre 10 et 35 m de profondeur au droit des émissaires, et en prolongement des caps où ils s'étendent à des profondeurs plus élevées, et ceci en direction du centre de la baie. (Belkessa, 1999 ; Maouche, 1987)

- **Les sables fins** : sont essentiellement d'origine terrigène occupant les petits fonds.
- **Les sables moyens** : sont limités au secteur littoral de la bordure rocheuse occidentale, ils représentent une bande étroite parallèle au rivage.
- **Les sables grossiers** : sont prédominants dans le secteur est où ils sont mélangés aux faciès pélitiques (du Cap Matifou vers l'embouchure d'Oued El Hamiz)

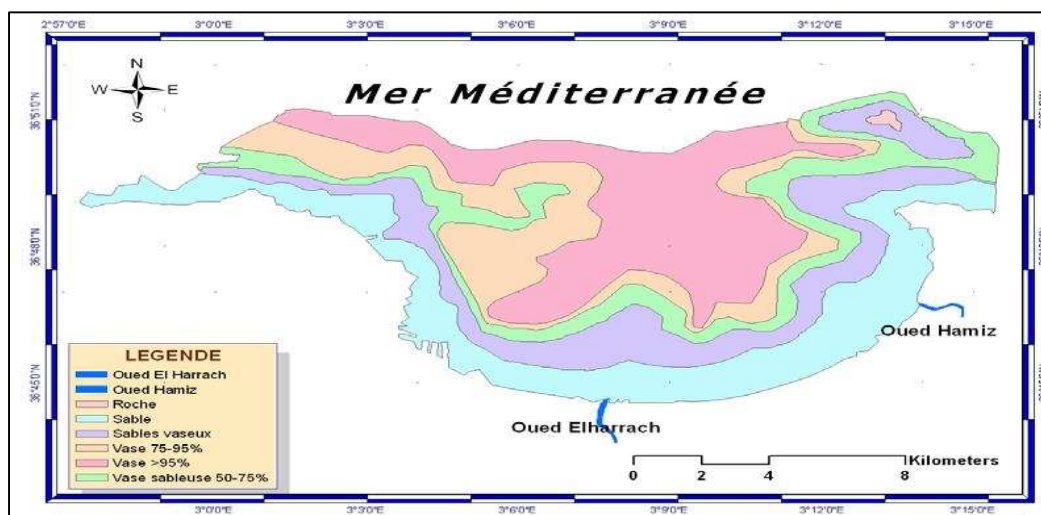


Figure 4: Nature du fond de la baie d'Alger. (Maouche, 1987)

1.2.1.3.2. Faciès carbonatés

On les retrouve dans la bordure ouest jusqu'à des profondeurs de 35 à 50m, et dans la bordure Est à des profondeurs plus élevées, au droit du Cap Matifou. Ils sont limités aux bordures rocheuses, ainsi qu'aux hauts-fonds rocheux de la baie.

1.2.2. La baie d'El Djamilia

1.2.2.1. Description géographique et présentation du site

La baie d'El Djamilia se situe à une trentaine de kilomètres à l'ouest d'Alger, elle

représente le quart oriental de la baie de Bou Ismail. C'est une baie relativement fermée, limitée à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj et à l'Est par Ras Acrata (Figure 5).

Son rivage est orienté Sud-Ouest – Nord Est et ses coordonnées Lambert sont :

2°50'54.744'' Est et 36°45'43.092'' (port de Sidi Fredj)

2°53'42.792'' Est et 36°48'5.796'' (Ras Acrata)



Figure 5: photo représente la situation géographique de la baie d'El Djamilia (Google Earth, 2013)



Figure 6: carte représente la situation géographique de la baie El Djamilia (Bachari, 2009)

1.2.2.2. Bathymétrie.

Les isobathes du centre de la baie sont pratiquement parallèles à la côte, avec une faible pente,

au niveau de Ras Acrata (à l'Est) et Sidi Fredj (à l'Ouest). Un resserrement des isobathes qui se traduit par une pente moins douce qu'au centre de la baie, ceci étant normal vu que les

deux zones sont rocheuses et accidentées.

Plus à l'ouest (Moretti) entre les isobathes 5m et 15m, on a une large zone régulière à pente très douce.

1.2.3. La baie de Bou-Ismaïl

1.2.3.1. Description géographique et présentation du site

La baie de Bou-Ismaïl (ex : Golfe Castiglione) se situe dans la partie centrale du littoral algérien. Elle est délimitée à l'ouest par le cap du Mont Chenoua [$36^{\circ}.37'54.13''N - 2^{\circ}24'13.42''E$] et elle s'étend jusqu'au cap Caxine dans la baie d'El Djamila, où elle est interrompue par la presqu'île de Sidi Fredj à l'est [$36^{\circ}48'15.98''N - 2^{\circ}53'44.16''E$] ayant un plateau continental de 509km², elle est très ouverte et fortement soumise aux influences du large.

La baie couvre une superficie de 350 Km² avec une ouverture de 40 Km orientée du Sud-Ouest au Nord- Est.



Figure 7: situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl

Leclair (1972) a dressé une carte de la couverture sédimentaire de toute la baie de Bou-Ismaïl, il a dégagé ainsi trois zones d'affleurement rocheux, qui sont comme suit :

- Le prolongement du massif de Chenoua lequel rejoint la vallée sous-marine du Ras Nador depuis la cote jusqu'à l'isobathe 180 m en direction Nord Nord-Est

- Entre Bouharoun et Douaouda Marine,
- Depuis les fonds de 110 à 150 m au Nord de Bou-Ismaïl jusqu'à la hauteur de Sidi- Fredj.

1.2.3.2. Bathymétrie de la baie de Bou-Ismaïl.

La courbe bathymétrique 200m est considérée généralement comme la limite de la marge continentale algérienne et le domaine des plaines abyssales, sa largeur moyenne est de 24km, elle atteint 55km au maximum dans la baie de Bou-Ismaïl.

Le plateau continental, étant très étroit, atteint un maximum de 13 km au niveau du Mont Chenoua et un minimum de 3km entre Sidi Fredj et Alger. Il est caractérisé par une pente de l'ordre de 2 à 3% avec une ligne d'inflexion nette autour de l'isobathe 100m. Cette pente est perturbée par quelques pointements rocheux localisés au large du Mazafran et de Bous-Ismaïl.

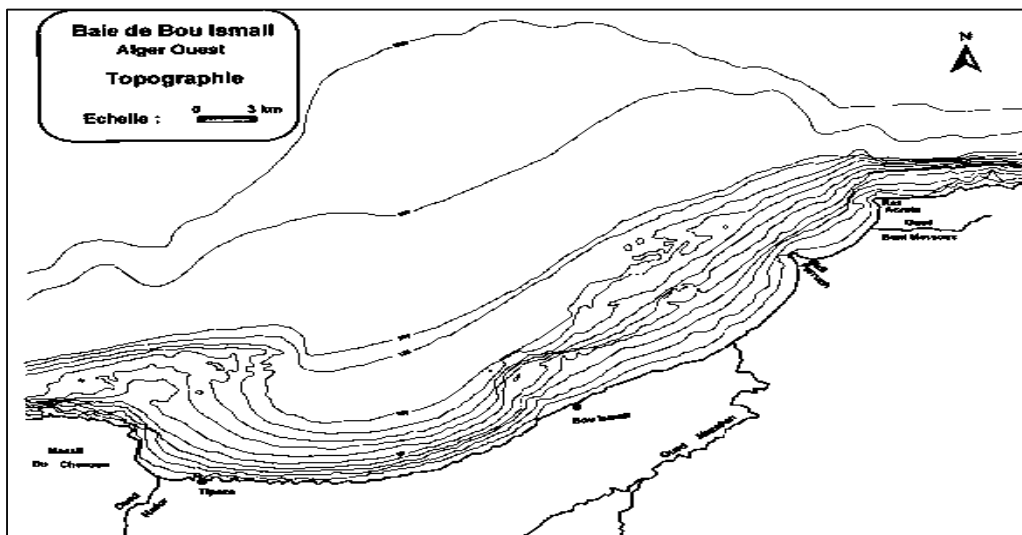


Figure 8: Carte topographique de la baie de Bou-Ismaïl (leclaire,1972)

1.2.3.3. Sédimentologie de la Baie de Bou-Ismaïl.

Vers l'embouchure de oued Mazafran et jusqu'à une profondeur de 25m, les sables grossiers caractérisent la baie. Au-delà de ce dépôt fluvi marin et jusqu'à une profondeur de 10 à 15m, les sables moyens réapparaissent qu'au niveau de Khemisti sur une zone étroite continue jusqu'à Tipaza. (Al Sid Chikh et al. 2009).

Une bande de sable fin apparait au large de Sidi-Fredj et Palm Beach à moins de 2 m de profondeur et tapisse le fond de 15 m à 25 m tout le long de la baie.

Parallèlement à ces faciès, les sables fins vaseux longent la côte entre 25 à 40m de profondeur.

Au large de Sidi-Fredj (2 à 3Km), un dépôt de sable moyen et gravier. (LEM, 1998).

L'analyse des sédiments de la baie de Bou-Ismaïl a permis de mettre en évidence la grande diversité sur le plan sédimentaire des fonds de cette baie, neuf faciès, identifiés : les sables fins, les sables envasés, les vases sableuses, les sables graveleux, les graviers envasés, les sables grossiers et fins graviers, les vases pures et le faciès rocheux.

La répartition de ces faciès n'est pas identique, ainsi deux régions apparaissent :

La région est ou orientale et la région ouest ou occidentale. Chaque région présente des caractéristiques sédimentologique propres, fut déjà signalé par Belkessa (1999). Les vases pures sont très développées dans la région Ouest et forment ainsi une importante vasière littorale, tandis que les graviers envasés sont dans la région Est.

Le faciès des sables grossiers et des fins graviers, le faciès des sables graveleux n'est présent que dans la région orientale ; les sables graveleux se limitent au secteur oriental.(LEM ,1998)

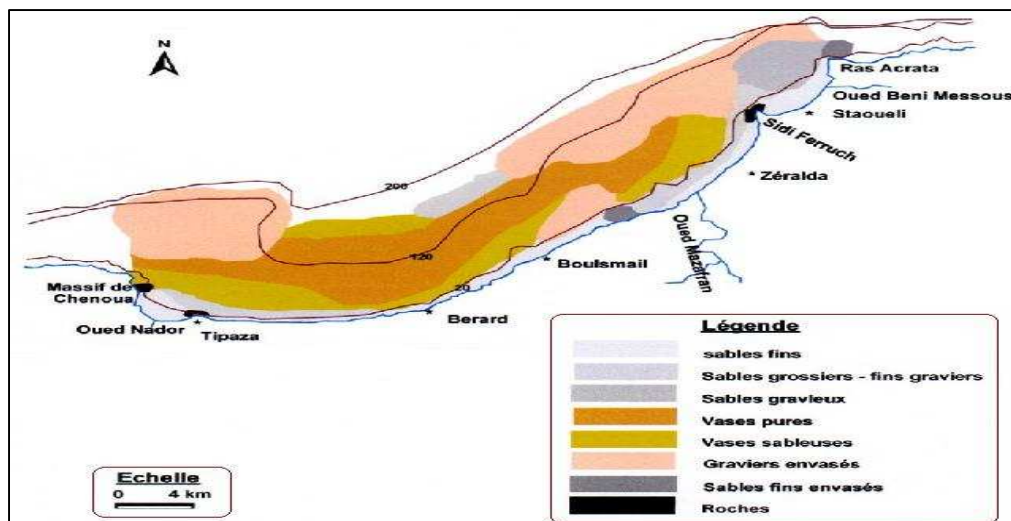


Figure 9: carte sédimentologies de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998)

2. Analyse et mesure des paramètres physico-chimiques

2.1. Transparence de l'eau

Pour une description complète et satisfaisante d'une masse d'eau, la mesure de la transparence du milieu est indispensable, c'est-à-dire la pénétration de la lumière (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**). La connaissance de ce facteur a une double importance, il détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface, donc l'épaisseur de la couche photosynthétique productive, où s'élabore la matière vivante grâce à la photosynthèse.

Il permet également une approche de la quantité de particules en suspension (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**).

Son principe repose sur la mesure de la profondeur de disparition du disque de *Secchi*, ce dernier détermine la "profondeur de Secchi" (**Rodier, 2005**). Cette méthode sert à évaluer la profondeur de pénétration verticale de lumière dans l'eau.

Ainsi la transparence permet de définir la turbidité du milieu, qui selon la norme ISO7027 (**Aminot et Chausse-Pied, 1983**) c'est la réduction de transparence d'un liquide due à la présence de substances non dissoutes

2.2. Turbidité (Tu)

La turbidité minérale se définit comme "l'expression de la propriété optique qui fait que la lumière est dispersée et absorbée plutôt que transmise en ligne droite à travers un échantillon," cette dispersion étant provoquée par l'interaction de la lumière avec les particules en suspension dans l'échantillon. La turbidité varie inversement avec la limpidité, elle croît et décroît selon que la concentration de solides en suspension augmente et diminue

Cependant, la quantité et la couleur de la lumière dispersée par chaque particule dépendent de la taille, de la forme, de la composition et de l'indice de réfraction de ces dernières. Des solutions de concentrations égales de solides en suspension, mais de composition différente, ne dispersent pas forcément la même quantité de lumière.

De ce fait, la turbidité est liée aux solides en suspension. La mesure s'effectue à l'aide d'un turbidimètre terrain qui donne la turbidité ou la NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*). (**Halmann, 1996**)

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : Argiles, limons, grains de silice, matière organiques, etc. (**Rodier, 1996**). La description d'une masse d'eau ne saurait être satisfaisante sans une référence à la transparence du milieu, c'est à dire à la pénétration de la lumière.

La connaissance de ce facteur a une double importance :

- ◆ Il détermine l'intensité lumineuse pénétrant sous la surface.
- ◆ Il permet également une approche de la quantité de particules en suspension

2.3. Matières en suspension (MES)

D'après **Ivanoff, 1972**, en plus des substances dissoutes, l'eau de mer contient des matières en suspension d'origines minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature biogénique, terrigène, éolienne ou météoriques. Les matières en suspension dans les eaux de mer sont donc de dimensions très variables.

Elles comportent tous les composés ayant un diamètre supérieur à 0.45 μm et elles peuvent être un indice de pollution.

Elles sont transportées au sein de la masse d'eau qu'elle soit douce, marine ou résiduaire. (**Aminot & Chausse-Pied, 1983**).

D'une part, les particules réduisent la transparence de l'eau de ce fait la production primaire photosynthétique, d'autre part elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques ou biologiques avec l'eau de mer. (**Mertes et al., 1993**).

Des teneurs élevées en matières en suspension peuvent empêcher la pénétration de la lumière, diminuent l'oxygène dissous et limitent alors le développement de la vie aquatique en créant des déséquilibres entre diverses espèces.

Elles peuvent être aussi considérées comme des transporteurs importants des polluants, fertilisants, toxiques et biologiques (**Lacaze, 1996(a)**).

Dans les océans, la concentration en matières en suspension est faible : elle diminue de la surface jusqu'au fond. Par contre, les plus importantes teneurs en matières en suspension sont aux niveaux des milieux côtiers et estuariens.

2.4. Couleur de l'eau et paramètre biologique

Les eaux côtières sont en général verdâtres. Il y a deux facteurs contribuant à la couleur bleue de l'océan aux faibles latitudes, lorsqu'il y a peu de production biologique. En eau profonde, lorsque l'on regarde sous l'eau, la lumière que l'on voit est celle diffusée par les molécules d'eau. La diffusion étant plus importante pour les petites longueurs d'onde que pour les grandes longueurs d'onde (principe de Rayleigh), l'eau paraît bleue.

Tableau 1: couleur de l'eau en fonction des particules présentes (Hoareau, 2005)

Substance dans l'eau	Couleur absorbée	Apparition de l'eau
Matière jaune (Gelbstoff)	Le bleu	Jaunâtre
MOP	Le bleu	Jaune
Chlorophylle	Les deux extrémités du spectre (rouge et violet)	Verte

De plus les composantes rouges et jaunes de la lumière solaire sont absorbées en quelques mètres, la seule composante susceptible d'être diffusée est donc le bleu. Dans les régions où la productivité biologique est importante, la chlorophylle contenue dans le phytoplancton absorbe la composante bleue et la lumière se décale vers le vert.

L'analyse de cette couleur de l'eau se fait à l'aide de capteurs placés sur des plateformes satellitaires en orbite autour de la Terre (Antoine et al., 2008).

Ces capteurs mesurent l'intensité des rayonnements par la surface des océans (water-leaving radiance) dans différentes gammes de longueurs d'onde (bandes). La radiance de l'eau ainsi mesurée tient compte des interactions avec la colonne d'eau et Les particules.

Chaque composant ayant une signature spectrale qui lui est propre, il est possible, à partir de ces mesures, d'en déterminer la concentration.

2.5. Chlorophylle

La chlorophylle est un composé chimique indispensable à la photosynthèse (figure 9). Sa présence dans tous les organismes végétaux, associée à l'énergie solaire, lui permet de synthétiser ses propres matières organiques carbonées à partir du carbone minéral. Dans les milieux aquatiques, les algues possèdent une diversité de pigments dont les plus importants

sont les chlorophylles *a*, *b*, *c1*, *c2* et *d*. La chlorophylle *a* est le pigment photosynthétique principal du phytoplancton qui est considéré comme étant un bon indicateur de la santé de l'océan et de son niveau de productivité et de la biomasse phytoplanctonique (**Aminot et Chaussepied, 1983**).

La concentration de chlorophylle est utilisée pour l'estimation de la production primaire (**Eppley et Peterson, 1979**).

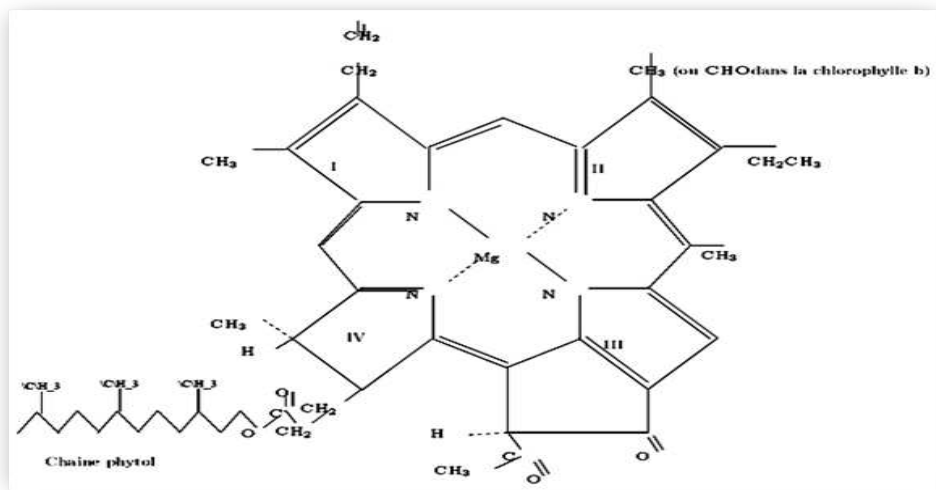


Figure 10: structure chimique de la chlorophylle

Chapitre II :

Téledétection et étude bathymétrique

1. Principes de la télédétection

1.1. Définition de la télédétection

« La télédétection est l'ensemble des techniques qui permettent, par l'acquisition d'images, d'obtenir de l'information sur la surface de la Terre (y compris l'atmosphère et les océans), sans contact direct avec celle-ci. La télédétection englobe tout le processus qui consiste à capter et enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et analyser l'information qu'il représente, pour ensuite mettre en application cette information.».

1.2. Eléments essentiels en Télédétection

- **Plate-forme** pour tenir l'instrument.
- **L'objet** : cible à observer.
- **Instrument** ou **capteur** pour observer la cible.
- **L'information** obtenue à partir des données de l'image et la manière dont cette Information est exploitée et stockée.

1.3. Systèmes de télédétection

1.3.1. Capteurs passifs

En télédétection, on utilise de nombreux capteurs, présentant des sensibilités diverses au rayonnement dans les différentes longueurs d'ondes du spectre électromagnétique. En général, les capteurs qui utilisent une source d'énergie externe pour observer les objets (par exemple qui utilisent la lumière solaire pour observer la Terre) sont appelés "**capteurs passifs**".

1.3.2. Capteurs actifs

Le principal inconvénient des capteurs passifs est que, si le ciel est nuageux ou s'il fait sombre, on ne peut plus les utiliser. Par conséquent, un autre type de capteur doit être utilisé, il s'agit des Capteurs dit « actif ». On les appelle **capteurs actifs** car ils émettent eux-mêmes les rayonnements pour « illuminer » les objets de manière à ce que l'énergie réfléchie puisse être mesurée.

1.4. Bases physiques de la télédétection

1.4.1. Le rayonnement électromagnétique

Les propriétés physiques des objets, en particulier, les propriétés optiques nous permettent d'acquérir l'information sous forme de données images sur leurs natures. En télédétection, le rayonnement électromagnétique est utilisé comme véhicule de cette information.

Le rayonnement électromagnétique se comporte de façon prévisible, selon la théorie des ondes.

1.4.2. Propriétés des ondes électromagnétiques

Le rayonnement électromagnétique est constitué d'un champ électrique E et d'une induction magnétique B . (**Figure10**), Ces deux champs sont orthogonaux entre eux et orthogonaux à la direction de propagation C ;

Ils se déplacent à la vitesse de la lumière. Le rayonnement électromagnétique est caractérisé par cinq quantités dépendant du temps et susceptibles d'apporter une partie de l'information recherchée :

- Direction de propagation C
- Intensité I_0
- Longueur d'onde λ , (ou fréquence $\nu = c / \lambda$ ou nombre d'onde $a = 1 / \lambda$, c : vitesse de La lumière).
- Polarisation (parallèle ou perpendiculaire)
- Phase

La quantité d'énergie transportée par un photon est inversement proportionnelle à la longueur d'onde :

$$q = (h \times c) / \lambda = h \times \nu \dots\dots\dots(1)$$

Avec h : la constante de Planck ($6,625 \times 10^{-35}$)

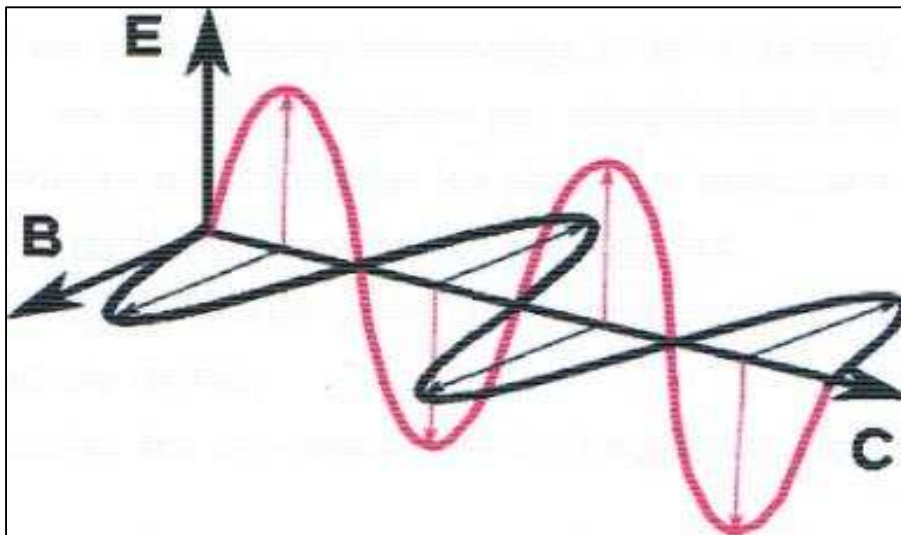


Figure 11: ondes électromagnétiques. (Stéphane, 2008)

1.4.3. Le spectre électromagnétique

C'est le résultat de la composition du rayonnement électromagnétique en ses fréquences constituantes. Il s'étend des courtes longueurs d'onde (dont font partie les rayons Gamma et les rayons X) aux grandes longueurs d'onde (micro-ondes et ondes radio).

L'ensemble des fenêtres de toutes les longueurs d'ondes est appelé « spectre électromagnétique »

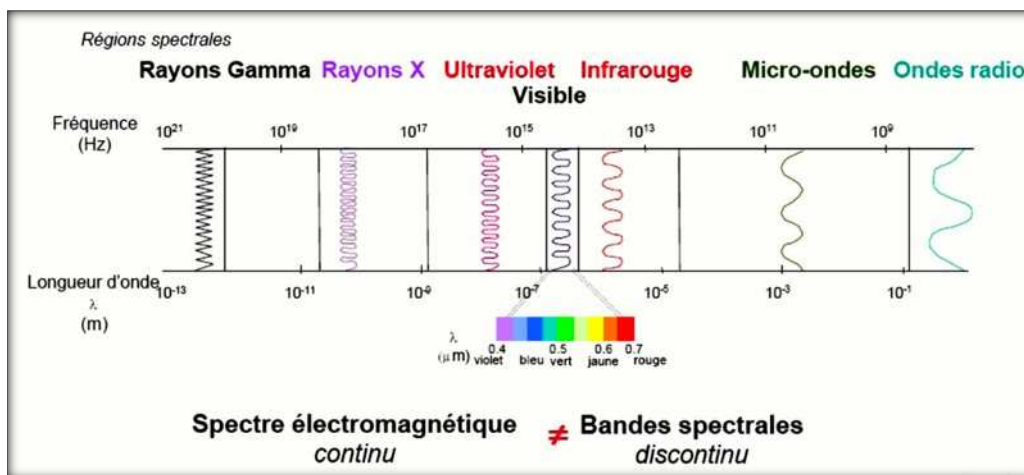


Figure 12: Détails des domaines spectraux

La télédétection utilise plusieurs régions du spectre électromagnétique. En télédétection, les capteurs des instruments embarqués sur les satellites et avions mesurent la quantité de REM renvoyée par une portion d'espace terrestre, les capteurs embarqués sur les satellites peuvent enregistrer les ultraviolets (rare), le visible, le proche-infrarouge, l'infrarouge moyen, l'infrarouge thermique, l'infrarouge lointain et les hyperfréquences.

1.5. Les perturbations atmosphériques

Le signal électromagnétique détecté par le capteur embarqué à bord d'un satellite ne parvient qu'après traversée intégrale des couches atmosphériques ; l'analyse des données de télédétection exige donc la prise en compte des interactions rayonnement-atmosphère.

Les phénomènes physiques fondamentaux intervenant dans les interactions rayonnement-atmosphère sont :

- **L'absorption** par les grosses molécules de l'atmosphère (ozone, bioxyde de Carbone et vapeur d'eau) liée à la longueur d'onde, au type de molécules et leurs propriétés. (**Girard, 1989**)
- **La diffusion** par les molécules de gaz et les particules (gouttelettes d'eau, poussières, fumées...) dont le niveau dépend de la longueur d'onde, de la densité des particules et de molécules et de l'épaisseur de l'atmosphère.
- **réfraction** qui est la distorsion géométrique du trajet des ondes, due à la variation de l'indice de réfraction.

Les principales fenêtres atmosphériques sont les parties du spectre électromagnétique où l'atmosphère est transparente au rayonnement ce sont donc des zones du spectre dans lesquelles les mesures en télédétection sont possibles (**Tableau 2**).

Tableau 2 : les principales fenêtres atmosphérique

Fenêtre	de	A
Ultraviolet et visible	0.35 mm	0.075 μm
Proche infrarouge	0.77 mm	0.91 μm
	1.0 mm	1.12 μm
	1.019 mm	1.34 μm
	1.55 mm	1.75 μm
Infrarouge	2.05 mm	2.04 μm
	3.35 mm	4.16 μm
Infrarouge thermique	4.5 mm	5.0 μm
	8.0 mm	9.2 μm
	10.2 mm	12.4 μm
	17.0 mm	22.0 μm
	2.06 mm	2.22 mm
Hyperfréquences	3.0 mm	3.75 m
	7.5 mm	11.5 mm
	20.0 mm	Et au-delà

L'énergie électromagnétique qui rencontre la matière liquide solide ou gazeuse est appelée **rayonnement incident**, l'interaction avec cette matière peut changer ses caractéristiques (direction, longueur d'onde, polarisation, phase), (a télédétection détecte et enregistre ces changements).

1.6. Interaction avec la matière

1.6.1. La réflexion

Tout corps qui reçoit une certaine quantité d'énergie rayonnante d'une source extérieure peut en réfléchir une partie. Le rapport entre l'énergie réfléchie et l'énergie incidente est appelé le coefficient de réflexion ou réflectance. La réflexion peut être spéculaire (dirigée entièrement dans une seule direction), ou diffuse (dirigée dans toutes les directions).

1.6.2. L'absorption

Tout corps qui reçoit une quantité de rayonnement électromagnétique peut en absorber une partie. Le rapport entre l'énergie absorbée et l'énergie reçue est appelé coefficient d'absorption ou absorptance.

1.6.3. La transmission

Tout corps qui reçoit une quantité de rayonnement électromagnétique peut en transmettre une partie. Le rapport entre l'énergie transmise ou réfractée et l'énergie incidente est appelé coefficient de transmission ou transmittance. Une surface d'eau pure est un exemple de surface susceptible de transmettre une partie du rayonnement électromagnétique.

1.6.4. La diffusion

Des particules microscopiques comme celles contenues dans l'atmosphère, amènent la diffusion dans toutes les directions d'une partie de l'énergie émise par la source qui, traversant ce milieu peut alors être considérablement transformée.

1.6.5. L'émission

Tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C) émet un rayonnement électromagnétique. La source peut être le soleil, le satellite (Radar) ou encore la cible (infrarouge thermique).

En effet selon le premier principe de la thermodynamique (conservation d'énergie), la somme des énergies réfléchies absorbées et transmises est égale à l'énergie incidente et la somme des coefficients de ces différentes énergies est égale à 1.

Tous les corps réfléchissent ou émettent des flux énergétiques sous forme de rayonnement, la variation relative de l'énergie réfléchie ou émise en fonction de la longueur d'onde constitue ce qu'on appelle « la signature spectrale » elle qui correspond à deux grandeurs physiques :

La réflectance et la luminance. Ainsi, à un objet donné dans un état donné doit correspondre un spectre unique qui peut être utilisé pour l'identifier et déterminer son état.

La réflectance (R) : La réflectance est le rapport entre l'énergie réfléchie par l'objet et l'énergie reçue, elle s'exprime en pourcentage.

La luminance (L) : La luminance correspond à ce que reçoit le capteur qui intègre les divers effets atmosphériques

1.7. Interaction rayonnement bathymétrie

La télédétection permet au gestionnaire de l'environnement d'accéder relativement rapidement à la reconnaissance des objets au sol, à une modélisation des conditions de la dynamique côtière et à une première approche de la bathymétrie et surtout d'opérer un suivi des évolutions et des modifications des milieux

De nombreuses études ont été menées à ce jour tant sur les données LANDSAT que SPOT, pour définir les conditions dans lesquelles la bathymétrie de l'environnement côtier peut être perçue au travers de l'image satellitaire (**Millard, 1986**).

Hydrographique et océanographie de la marine, ont montré que l'estimation de la bathymétrie est réservée aux eaux claires et peu profondes dans une situation presque idéale ,40 m de pénétration pour la bande XS-1(500-590) ,8m pour la bande XS-2 (610-680) et 0,5m au maximum pour la bande XS-3(790-890nm).

1.7.1. Radiométrie et bathymétrie locale

Le signal reçu par le capteur embarqué à bord du satellite (radiomètre) dépend des interactions du rayonnement solaire incident avec l'atmosphère, l'eau, les particules en suspension dans l'eau et même le fond de l'océan si la profondeur est fiable .

Le schéma ci-joint illustre les interactions possibles entre rayonnement solaire et matière

La variété de ces interactions incite à faire preuve d'une grande prudence dans l'interprétation

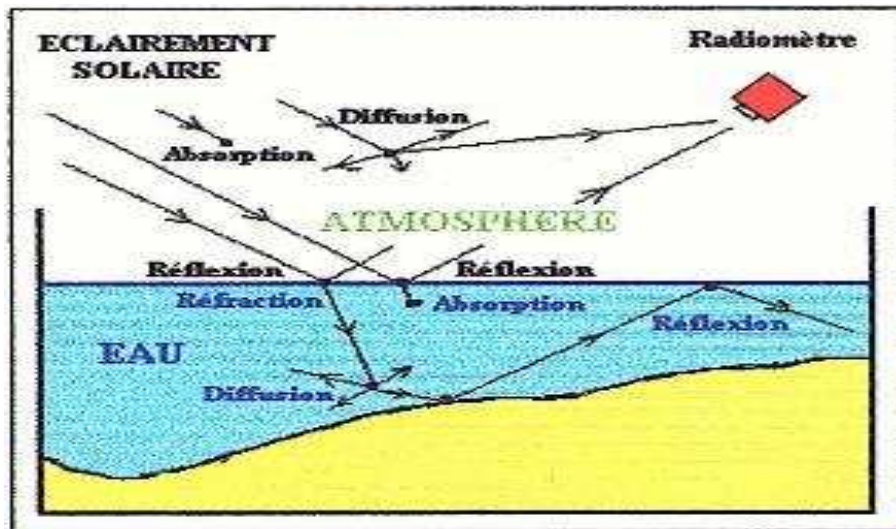


Figure 13 : interaction rayonnement-matière (Harbi R et al., 2009)

1.8. Les effets de la profondeur

Les capteurs permettent d'obtenir l'intensité du rayonnement solaire réfléchi par le sol et le fond des mers à travers la couche d'eau ; c'est la radiométrie mesurée par le capteur. Ces mesures sont effectuées dans le spectre du visible pour des bandes de fréquences bien précises.

À première vue, il est possible de différencier les types de fonds, par ailleurs, la réflectance du fond subit une atténuation sélective au cours de son ascension vers la surface. Tout cela a pour effet « un écrasement de la réponse spectrale du fond qui rend les discriminations difficiles dès que la profondeur augmente ». C'est à dire qu'au-delà d'une certaine profondeur, on aura le même enregistrement, et le canal du satellite n'apporte plus d'information.

2. Les satellites

Un satellite est un objet spatial qui tourne autour de la terre destinée à recueillir des informations sur celle-ci. Les satellites sont équipés de radiomètres qui captent les valeurs d'énergie restituées par la surface de la terre ou l'atmosphère.

La télédétection de la terre s'exerce à partir de deux types de satellites généraux :

2.1. Géostationnaires et à bas défilement

Dans cette étude, on s'intéresse seulement aux satellites à bas défilement

2.2. Les satellites à bas défilement

Ils permettent une observation cyclique de la terre ; ils sont habituellement héliosynchrones,

c'est-à-dire qu'ils passent au-dessus d'une même zone quand ils traversent l'équateur à la même heure (**Girard, 1989**).

Ce type d'orbite est appelé orbite quasi polaire à cause de l'inclinaison de l'orbite par rapport à une ligne passant par les pôles Nord et Sud de la terre. Animés d'un mouvement relatif important par rapport à la terre, ils évoluent à une basse altitude (200 à 1500 Km) et d'une période inférieure à deux heures. Il y résulte un freinage du satellite par l'atmosphère de la terre, ce qui oblige à corriger les paramètres d'orbite périodiquement.

Le satellite SPOT fait partie de cette catégorie ainsi que la série LANDSAT (**Bonn et Rochon, 1996**)

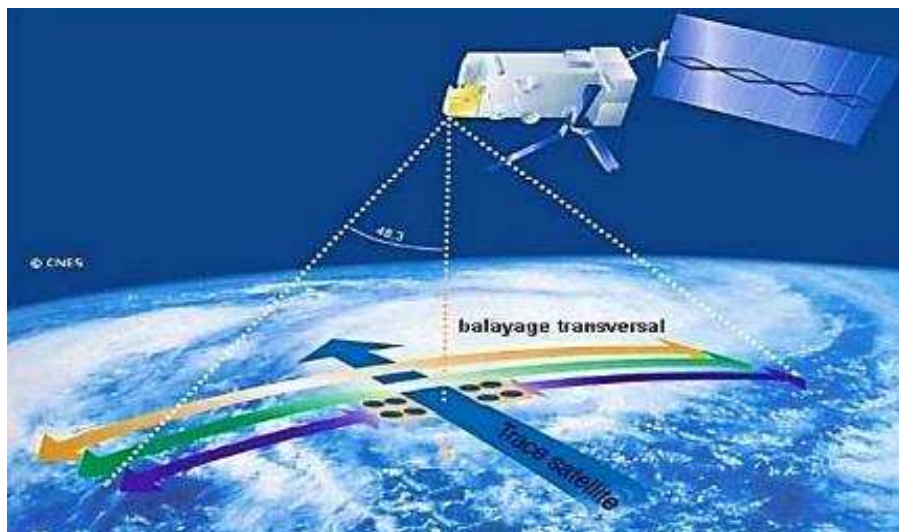


Figure 14: satellite défilant ou héliosynchrone

2.2.1. Le Satellite LANDSAT

La première génération de satellites, composée des satellites Landsat 1, 2 et 3 a été lancée entre 1972 et 1985. Les données enregistrées par cette génération de satellites, conçus pour la cartographie de la végétation, apportent peu d'information dans les domaines du spectre électromagnétique discriminatoire des minéraux.

Actuellement seuls les satellites Landsat 4, 5 et 7 de la seconde génération lancés entre 1982 et 1997, sont encore en fonction. Ces satellites fournissent des données d'une même surface à différentes dates, sur toute la surface terrestre exceptée pour les régions polaires. Les données des capteurs

Thematic Mapper (TM) à bord de Landsat 4 ou 5 sont utilisées pour plusieurs applications comme la gestion des ressources, la cartographie, la surveillance de l'environnement et la détection des changements anthropiques ou naturels à la surface de la terre.

Tableau 3 caractéristique et applications des bandes spectrales du capteur TM

Bandes	Domaine spectral (μm)	Résolution	Application
TM 1	0,45 - 0,52 (bleu)	30 m	Discrimination entre le sol et la végétation, bathymétrie/cartographie côtière; identification des traits culturels et urbains.
TM 2	0,52 - 0,60 (vert)	30 m	Cartographie de la végétation verte (mesure le sommet de réflectance); identification des traits culturels et urbains.
TM 3	0,63 - 0,69 (rouge)	30 m	Discrimination entre les espèces de plantes à feuilles ou sans feuilles; (absorption de chlorophylle); identification des traits culturels et urbains.
TM 4	0,76 - 0,90 (proche IR)	30 m	Identification des types de végétation et de plantes; santé et contenu de la masse biologique; délimitation des étendues d'eau; humidité dans le sol.
TM 5	1,55 - 1,75 (IR de courte longueur d'onde)	30 m	Sensible à l'humidité dans le sol et les plantes ; discrimination entre la neige et les nuages.
TM 6	10,4 - 12,5 (IR thermique)	120 m	Discrimination du stress de la végétation et de l'humidité dans le sol relié au rayonnement thermique; cartographie thermique
TM 7	2,08 - 2,35 (IR de courte longueur d'onde)	30 m	Discrimination entre les minéraux et les types de roches; sensible au taux d'humidité dans la végétation.

Ils donnent tous des images de 180km x 180km. La répétitivité est de 18 jours pour les trois premiers (altitude 915 km) et 16 jours pour les numéros 4 et 5 (altitude de 705km).

Sur Landsat I, 2et3, il y a un capteur RBV (Return Beam Vidicon) qui donne les trois bandes spectrales de visible et un capteur MSS (Multi spectral Scanning System), qui donnent quatre bandes spectrales, la résolution est de 56m x 79m.

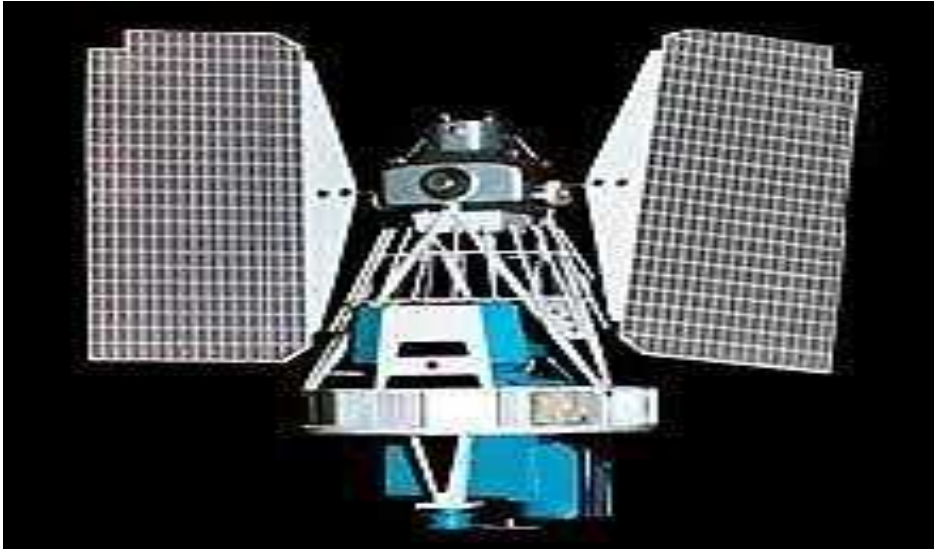


Figure 15: Satellite LANDSAT

2.2.2. Le Satellite SPOT

Le programme SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) a été lancé en 1978 à l'initiative du CNES, et réalisé par la France en collaboration avec la Belgique et la Suède. Le but de ce programme est de réaliser des prises de vues de hautes résolutions de la surface du globe. Le premier satellite SPOT-1 a été lancé en 1986, SPOT-2 en 1990 et SPOT-3 en 1996 SPOT-4 et SPOT-5 sont en cours d'étude et de réalisation. Chaque satellite est équipé de deux systèmes d'acquisition HRV (Haute résolution visible) indépendants et autonomes. Le HRV permet d'acquérir indifféremment des images en mode Panchromatique (P) ou Multispectral (XS).



Figure 16: satellite spot

2.2.2.1. Caractéristiques des capteurs du satellite

Le système SPOT utilise deux capteurs qui effectuent des observations dans les bandes spectrales suivants

Tableau 4: Caractéristiques des capteurs du satellite SPOT

	Mode Multi-spectral	Mode panchromatique
Résolution	20 m	20 m
Fauchée largeur scène	60 km	60 km
visée verticale	20*20m	10*10m
Pixel	3000	6000
Nombre de pixel par ligne	XS1 : 0,5 à 0,59 μm (jaune-vert) XS2 : 0,61 μm à ,68 μm (rouge) XS3 : 0,79 μm à 0,89 μm (proche infrarouge)	

3. Etude bathymétrique des zones côtières

La télédétection multispectrale apporte une solution avantageuse aux problèmes posés par l'étude bathymétrique, elle a été élaboré dans les années soixante-dix à l'aide d'image MSS de Landsat, puis étendue à l'imagerie HRV et Spot. On regroupe généralement les algorithmes d'analyse bathymétrique en trois catégories selon le nombre de canaux spectraux utilisés : Méthode à un canal spectral, méthode de rapport de deux canaux spectraux, méthode multi-canal. (**Ferdinand, 1996, Houma 2010**)

3.1. Propriétés optiques des eaux de mer

L'eau présente un certain nombre de propriétés qui vont influencer de façon significative sur le transfert du rayonnement électromagnétique en son milieu.

La (Figure17) représente la complexité de l'interaction du rayonnement électromagnétique avec la masse d'eau. L'éclairement solaire incident (E_s) et le rayonnement diffus provenant du ciel (E_c) pénètrent la masse d'eau à un angle zénithal solaire GO , une partie est réfléchi de façon spéculaire ($r\theta_0$) et une autre est transmise à la masse d'eau.

La partie transmise dans l'eau avec un angle de réfraction (θ_w), est diffusée selon un angle de diffusion (θ_s) ou absorbée par ses composantes.

Le signal retourné au capteur est donc fonction des propriétés optiques apparentes qui sont influencées par des propriétés optiques inhérentes à la masse d'eau (Dekker, 1991 in Ferdinand, 1996)

3.1.1. Propriétés optiques inhérentes

Les propriétés optiques inhérentes sont attribuables tant à la nature intrinsèque de la masse d'eau pure qu'aux particules en suspension ou en solution qu'elle contient. Ces propriétés sont caractérisées par différents coefficients : le coefficient d'absorption, le coefficient de diffusion, le coefficient de rétrodiffusion, le coefficient d'atténuation totale et l'albédo de diffusion. Tous ces coefficients varient de façon significative en fonction de la longueur d'onde d'observation. (Ferdinand, 1996)

3.1.2. Propriétés optiques apparentes

Les propriétés optiques apparentes sont dépendantes des propriétés optiques inhérentes et de réclairement ambiant. Les propriétés optiques apparentes de la masse d'eau sont les différentes mesures d'éclairement, de luminance, de réflectance et d'atténuation diffuse. Les deux coefficients que l'on retrouve généralement dans les écrits sur le sujet sont la réflectance volumique (R) et le coefficient d'atténuation diffuse (K_d). (Ferdinand, 1996)

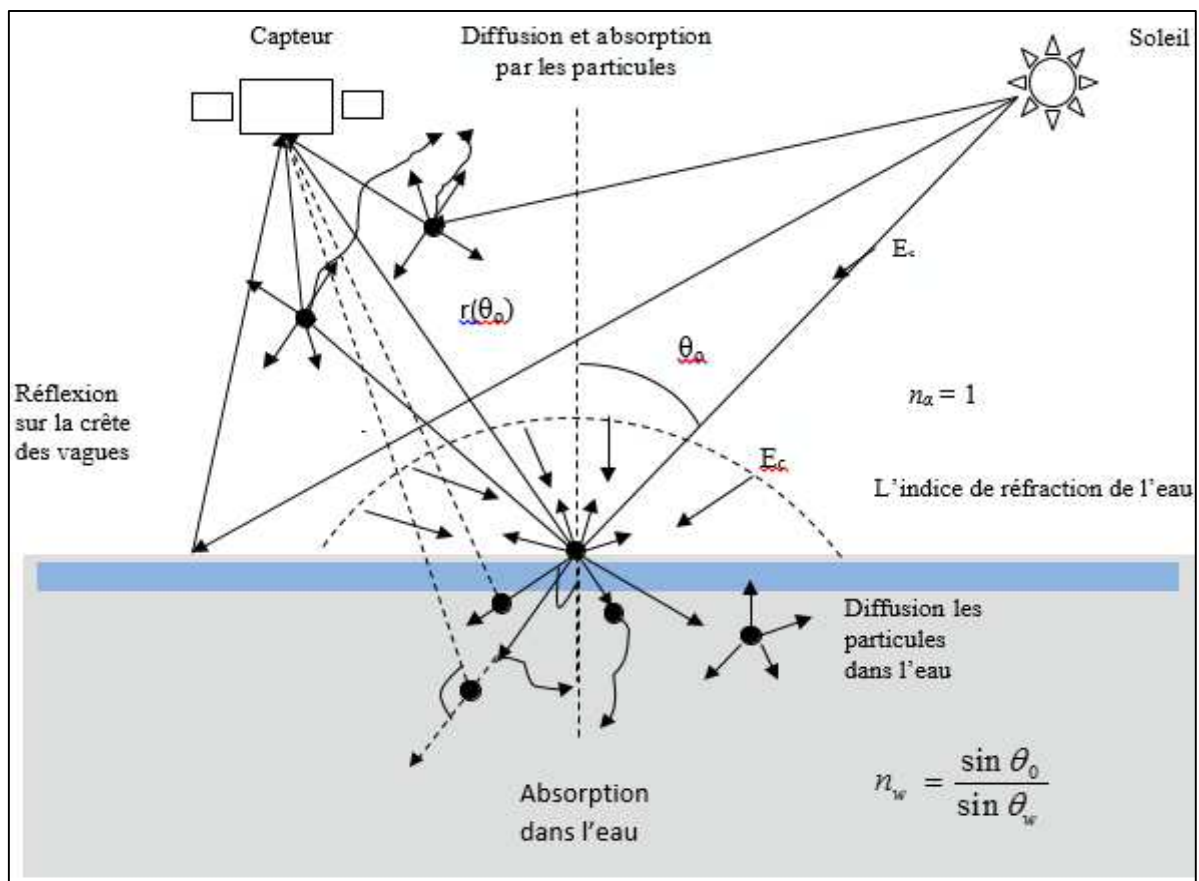


Figure 17: Schéma du rayonnement solaire dans la masse d'eau

3.2. Propriétés optiques de l'eau dans le domaine des courtes longueurs d'onde

Lorsque le rayonnement solaire atteint une surface d'eau, une fraction importante de l'éclairement incident est réfléchi spéculairement sans être affectée spectralement, la réflexion spéculaire ne produit donc qu'un déplacement global du niveau de réflectance sans affecter sa variation en fonction de la longueur d'onde.

L'éclairement qui n'est pas réfléchi par la surface de l'eau est réfracté et dirigé vers le bas. Une partie du flux réfracté est absorbée par l'eau, l'autre est rétrodiffusée.

3.2.1. Le coefficient d'absorption

L'énergie du flux lumineux absorbé par unité de distance représente le coefficient d'absorption de l'eau. Lorsqu'un flux de lumière parallèle $\phi(\lambda)$ traverse une lame d'eau d'épaisseur dx , une fraction $d\phi(\lambda)$ du flux incident, proportionnelle à dx et à $\phi(\lambda)$ est absorbée.

On définit ainsi le coefficient d'absorption de l'eau $a_w(\lambda)$ tel que :

$$d\phi(\lambda) = -a_w(\lambda)\phi(\lambda)dx \dots\dots\dots(2)$$

$a_w(\lambda)$: a pour dimension l'inverse d'une longueur (m^{-1}). Si à la distance $x=0$, le flux incident est égal à $\phi_0(\lambda)$, le flux qui sera absorbé à la distance x est alors donnée par :

$$\phi(\lambda) = \phi_0(\lambda)\exp(-a_w(\lambda)x) \dots\dots\dots(3)$$

3.2.2. Le coefficient de diffusion

De la même manière, on définit un coefficient de diffusion total $b_w(\lambda)$ tel que :

$$\phi(\lambda) = \phi_0(\lambda)\exp(-b_w(\lambda)x) \dots\dots\dots(4)$$

Il est caractérisé par la somme des diffusions ayant lieu à l'intérieur de la masse d'eau.

3.2.3. L'Albédo de diffusion

L'albédo de diffusion est une valeur scalaire provenant du ratio du nombre d'interactions diffusées sur le nombre d'interactions totales (diffusées et absorbées). Nous retrouvons ce ratio dans l'équation suivant : $\omega_0 = b/c = b/(a+b)$

- Où a : est l'absorption totale (m^{-1})
 b : est le coefficient de diffusion
 $c = a + b$: est le coefficient d'atténuation totale

3.2.4. Le coefficient d'atténuation dans l'eau

Dans un milieu naturel, l'absorption et la diffusion interviennent de façon simultanée à l'intérieur de la masse d'eau et il est plus aisé de mesurer un paramètre global, soit le coefficient d'atténuation. Le coefficient d'atténuation totale C_w est défini comme la somme des coefficients d'absorption et de diffusion (**Ferdinand. B, 1996**)

$$c_w(\lambda) = a_w(\lambda) + b_w(\lambda) \dots\dots\dots(5)$$

L'étude de la variation de $c_w(\lambda)$ POUR l'eau de mer pure de 0,186 à 2,65 μm , montre que l'atténuation est minimale (ou la transmission maximale) dans le visible vers 0,5 μm , et dans l'infrarouge thermique, l'émissivité de l'eau est très élevée. Elle varie entre 10 et 12,5 μm .

Ce domaine spectral est donc particulièrement bien adapté à la mesure de la température des surfaces d'eau car il correspond au maximum de transmission de l'atmosphère dans la fenêtre de l'infrarouge thermique. L'émissivité moyenne pour l'eau de mer est de 0,975 entre 8 et 14 μm . (**Bricaud, 1981**).

3.3. Propriétés optiques des surfaces d'eau

La réflectance et l'émissivité des surfaces d'eau dépendent des propriétés optiques de l'eau ainsi que de celles des substances dissoutes ou en suspension. Celles-ci peuvent être séparées en 3 catégories principales :

- Le phytoplancton vivant et les détritits biogènes qui lui sont associés.
- Les particules minérales en suspension.
- La matière organique dissoute (substance jaune).

Les particules minérales et les détritits biogènes sont parfois englobés sous le terme général de tripton (particules non vivantes) (**Tassan., 1988**)

3.3.1. Substances dissoutes ou en suspension

3.3.1.1. Propriétés optiques du phytoplancton vivant et des détritiques biogènes associés

Dans les conditions naturelles, il est très difficile de séparer les effets du phytoplancton et des détritiques biogènes sur le coefficient d'absorption de façon globale.

Le coefficient d'absorption spécifique du phytoplancton varie très largement en fonction de la longueur d'onde et du type d'algues considérées. Les cellules du phytoplancton et les particules correspondant aux détritiques biogènes provoquent une diffusion de Mie de la lumière. La seule partie de la diffusion qui intervient dans la réflectance des surfaces d'eau est la rétrodiffusion, c'est-à-dire celle pour laquelle les rayons diffusés font un angle compris entre 90 et 180° avec le rayon incident. (Houma., 2005)

Les particules minérales en suspension sont constituées par les particules terrigènes apportées par les fleuves et par les sédiments remis en suspension par les courants, les vagues et les houles.

Leur influence est prépondérante dans de nombreuses zones côtières, sur les plateaux continentaux et dans les panaches fluviaux. La variation du coefficient d'absorption des particules non chlorophylliennes en fonction de la longueur d'onde, montre que l'absorption est très forte dans le bleu et présente par contre un minimum entre 500 et 600 nm (Priour et Sathyendranath., 1981).

3.3.1.2. Propriétés optiques de la substance jaune

La matière organique dissoute ou substance jaune provient essentiellement du lessivage des terres et elle est due à la décomposition des végétaux. Elle est présente en concentration élevée dans les zones où les apports d'eaux douces sont importants. Une partie de la substance jaune provient également, en quantité beaucoup plus faible, de la dégradation du phytoplancton in situ. (Priour, 1981)

L'absorption de la lumière par la substance jaune varie exponentiellement avec la longueur d'onde. La diffusion moléculaire due à cette substance est négligeable devant celle de l'eau pure. (Priour, 1975)

3.4. Réflectance des surfaces marines

3.4.1. Spectre de réflectance des surfaces marines

La réflectance diffuse des surfaces marines dépend des propriétés optiques de l'eau de mer ainsi que celle des substances dissoutes ou en suspension. Elle est fonction du coefficient de rétrodiffusion global de la mer et de son coefficient d'absorption.

3.4.2. Influence du fond sur la réflectance de la mer

La réflectance du fond peut affecter de façon sensible la réflectance de surfaces d'eau peu profondes (zones côtières par exemple). L'évaluation de cet effet est non seulement importante pour permettre une estimation correcte de la concentration en matériaux dissous ou en suspension, mais elle peut également servir au développement de méthodes de téledétection destinées à cartographier les types de fonds marins et la profondeur de l'eau (**Smith et Baker, 1981**)

3.5. Problèmes posés par l'étude bathymétrique

L'eau présente un certain nombre de propriétés qui influent de façon significative sur le transfert du rayonnement électromagnétique en son milieu et chaque bande spectrale possède un pouvoir de pénétration différent. Il est donc nécessaire de soulever ces problèmes. Les conditions d'observation peuvent changer de façon significative l'aptitude d'un capteur à observer le fond. La qualité de l'eau est une des facteurs primordiaux. Plus l'eau sera riche en éléments nutritifs et en matières en suspension, plus l'analyse bathymétrique sera rendue difficile.

Les conditions atmosphériques peuvent interférer de deux façons sur le signal. Tout d'abord, la présence d'un voile atmosphérique réduira les composantes descendante et ascendante du signal électromagnétique dans l'atmosphère ; ensuite les perturbations engendrées à l'interface air-eau réduiront le pouvoir de transmission du rayonnement.

Finalement, l'angle d'incidence du rayonnement solaire, fonction de la période d'observation, modifiera lui aussi sensiblement son pouvoir de transmission (**Tanre et al., 1990**)

Tableau 5: Tableau synoptique des composantes de l'atténuation (Jerlov, 1964)

Constituant	Absorption		Diffusion	
	Caractère	Dépendance de λ	Caractère	Dépendance de λ
Molécule d'eau	Invariable à température et à pression constante	Très forte	Invariable, petite comparée à l'absorption	λ^{-4} (Loi de Rayleigh)
Sels minéraux dissous	Négligeable dans le visible	Croissante avec la diminution de λ		
Substances jaunes	Variable	Croissante avec la diminution de λ		
Particules fines (0.5 à 100 μm)	Variable, petite comparée à la diffusion	Croissante avec la diminution de λ	Variable	Généralement indépendante de λ
Grosses particules (100 μm à 1 mm)	Très petite comparée à la diffusion		Très forte	indépendante de λ

Si l'absorption est surtout provoquée par les eaux et les solutés (sels minéraux et substances jaunes), la diffusion est essentiellement due aux particules en suspension. Son caractère est influencé par la taille des corps diffuseurs.

Les particules en général, les flocculats surdimensionnés ou les individus des planctons en particuliers, constituent des obstacles géométriques au milieu desquels la lumière ne peut se propager qu'au prix d'un trajet complexe imposé par les diffusions multiples. Au cours de ce trajet, l'énergie des photons est progressivement absorbée.

Ainsi les effets conjugués de l'absorption et de la diffusion déterminent une atténuation sélective du rayonnement solaire, dont l'intensité et la qualité varient en fonction de la composition de l'eau. (Bachari., 1999)

3.5.1. Eclairage au-dessous de l'eau

L'éclairage peut être défini comme la différence entre la quantité d'énergie incidente à la surface, et la quantité d'énergie perdue au cours du cheminement des rayons lumineux.

$$E(\lambda) = I_0(\lambda) - [a(\lambda) + d(\lambda)] \dots \dots \dots (6)$$

Avec : φ_i : Intensité de rayon à la surface.

φ_r : Pertes dues à la réflexion spéculaire.

φ_a : Pertes dues à l'atténuation. (**Ferdinand, 1996**)

λ : Longueur d'onde

3.5.2. Les composantes du signal radiométrique

3.5.2.1. Première approche

Le signal total S , reçus par un capteur opérant à haute altitude au-dessus de l'eau peut être décomposé dans un premier temps, en deux termes : $S_t = S_a + S_e$ « Avec S_a : Composante atmosphérique et S_e : Composante eau.

En général, pour les enregistrements effectués à haute altitude, la composante atmosphérique est prédominante. Dans le cas particulier des données de satellite, la composante atmosphérique peut être affectée d'un facteur 10 et la composante eau d'un facteur 1, ce qui signifie qu'une incertitude de 1 % sur le signal total peut provenir d'une erreur de 10 % dans l'estimation de la composante eau.

Dans un deuxième temps, il est possible d'analyser la composante eau mesurée près de la surface.

$$S_e = S_s + S_d + S_f \dots\dots\dots(7)$$

Avec S_s : Réflexion spéculaire à la surface.

S_f : Réflectance du fond dans les eaux peu profondes

S_d : Composante due à la réflexion diffuse par la surface, la rétro- diffusion par les molécules d'eau, les solutés et les particules en suspension.

3.5.2.2. Radiance atmosphérique

L'intensité de la rétrodiffusion atmosphérique est la proportionnelle à la densité des aérosols (nucléi-hydroscopiques) et des poussières en suspension dans l'air, qui croit en se rapprochant de la surface terrestre. Les nucléi-minéraux sont répartis de façon à peu près homogène au-dessus des océans avec toutefois une concentration plus élevée au-dessus du littoral.

Leur influence est petite devant celle de la vapeur d'eau. Par contre, les voiles de brouillard ont une distribution très irrégulière, ils sont fréquents près des côtes et ils réduisent considérablement les possibilités d'observation car leur forte réflectance perturbe les nuances du signal de l'eau.

3.5.2.3. Couleur de la mer

La répartition spectrale du rayonnement diffus réfléchi ; celle de la rétrodiffusion par les composants de l'eau de mer et celle de la réflectance du fond contribuent à la couleur de l'eau. Particulièrement lorsque le ciel est pur, le rayonnement diffus renforce la couleur bleue de la mer. Lorsqu'il est couvert, on observe un glissement de la longueur d'onde dominante vers la région du spectre comprise entre 0.5 et 0.57 μm .

Par ailleurs, la répartition spectrale de l'émission atmosphérique varie avec l'angle d'élévation solaire, la couleur de la mer se modifie au cours de la journée avec le mouvement du soleil.

Pour définir une couleur de la mer indépendante de l'état de ciel, il ne faut considérer que la répartition spectrale de la rétrodiffusion par l'eau à laquelle s'associe, dans les eaux peu profondes, celle de la réflectance du fond. La première varie surtout en fonction de la concentration des turbidités terrigènes et de l'activité biologique, tandis que la seconde est influencée par la nature du fond. (Bachari et al., 2004)

3.6. Etude du rayonnement sur le trajet sol atmosphère satellite

Nous venons de voir comment le rayonnement solaire est influencé par l'atmosphère sur le trajet soleil - sol ; la deuxième partie du modèle (sol - satellite) que nous allons développer, consiste à

évaluer le rayonnement qui parvient au satellite. Ce rayonnement est la résultante du rayonnement réfléchi par le sol et de celui diffusé par l'atmosphère.

3.6.1. Radiation réfléchie par la surface d'eau

Le rayonnement atteignant la surface de l'eau, va être réfléchi vers le capteur du satellite ; la quantité réfléchie dépend de la nature et des propriétés de l'eau et donc de sa réflectance. L'éclairement global à la surface G), pénètre la masse d'eau, une partie est réfléchie de façon spéculaire.

3.6.2. Radiation diffusée d'un volume d'eau

La partie transmise dans la masse d'eau est diffusée ou absorbée par ces composantes. La quantité de la radiation réfléchie par un volume d'eau s'écrit sous la forme suivante :

$$I = (G_{\lambda} - I_1 - I_2) \omega_0 \dots \dots \dots (8)$$

Avec : G_{λ} : radiation globale atteignant la surface.

I_1 : radiation réfléchiée spéculairement à la surface.

I_2 : radiation réfléchiée par le fond.

ω_0 : albédo de diffusion de l'eau.

3.6.3. Radiation diffusée du fond

Une partie du rayonnement qui atteint le fond de la mer peu profonde peut être réfléchi à son tour. Cette quantité est décrite par la formule suivante :

$$I_2 = (G_{\lambda} - G_{\lambda} \rho_s) \exp(-k \cdot z) \cos(\vartheta_z) R_a \exp(-k \cdot z) \cos(\vartheta_v) \dots \dots \dots (9)$$

Avec R_a : réflectance du fond ;

e^{-kz} : transmittance de l'eau ;

k : coefficient d'atténuation.

Z : la profondeur ;

f : est un facteur géométrique qui tient compte de la longueur d'onde du chemin traversant l'eau

$f = \cos \vartheta_z$: cas du trajet soleil-cible

$f = \cos \vartheta_v$: cas du trajet cible-satellite

4. L'imagerie satellitaire

Celle-ci est définie comme étant un ensemble d'informations captées par le satellite, une image satellitaire est à la base composée de pixel, c'est la plus petite unité composant une image (ayant un caractère numérique). Ainsi le pixel définit la résolution d'une image : plus la résolution est grande, et plus l'image est de meilleure qualité. En plus du pixel et de la résolution ; l'image numérique est caractérisée par la dimension, le contraste, le bruit, la luminance...etc. On attribue à chaque pixel une nuance de gris plus ou moins intense suivant le nombre reçu. La valeur "0" correspond à du noir et "255" à du blanc. Tous ces petits pixels juxtaposés les uns à côté des autres contribuent à la réalisation de l'image. Un satellite ne "voit" le sol que dans une longueur d'onde (ou tout du moins une bande très étroite de longueurs d'onde). On dit qu'il travaille dans un canal. Une image satellite est donc forcément monochromatique. Mais certains satellites possèdent des images colorées, ce là est dû au fait qu'ils possèdent des radiomètres capables de "voir" dans plusieurs longueurs d'onde. Ils peuvent donc envoyer plusieurs images de la même région

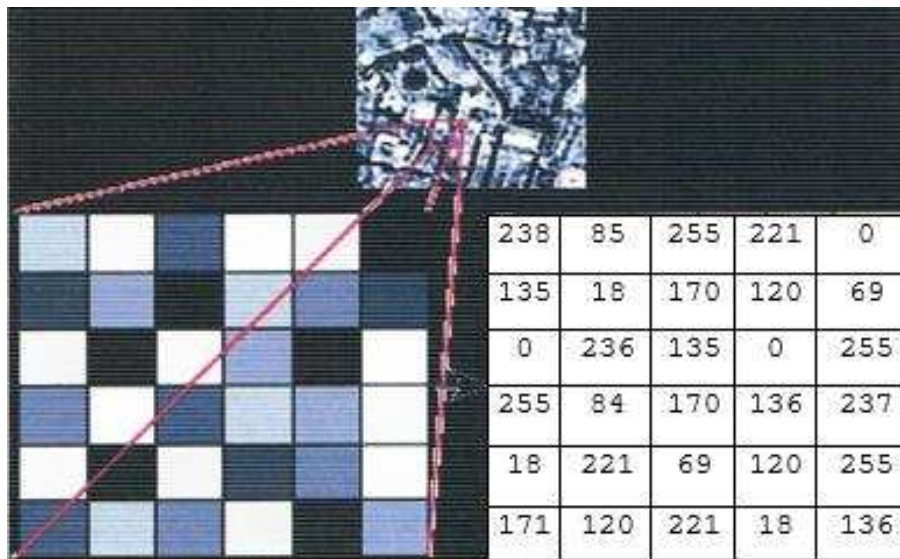


Figure 18 : le pixel dans l'image numérique

4.1. Traitement numérique des images

Actuellement, toutes les images étant enregistrées en format numérique, presque toutes les interprétations et analyses de celles-ci requièrent une partie de traitement numérique. Le traitement numérique des images peut recourir à divers procédés dont le formatage et la correction des données,

le rehaussement numérique pour faciliter l'interprétation visuelle ou même la classification automatique des cibles et des structures entièrement par ordinateur. Il exige que les données soient enregistrées et disponibles dans un format numérique convenable pour l'entreposage sur disques ou sur cassettes informatiques, Il nécessite évidemment un système informatique (ou **système d'analyse d'images**) ainsi que l'équipement et les logiciels pour traiter les données. Plusieurs systèmes de logiciels commerciaux ont été développés spécifiquement pour le traitement et l'analyse des images de télédétection. Les fonctions de traitement des images communément disponibles en analyse d'images sont en quatre catégories :

- Prétraitement
- Rehaussement de l'image
- Transformation de l'image
- Classification et analyse de l'image

CHAPITRE III

Résultats et discussion

1. Variation des paramètres physico-chimiques et indice de pollution

1.1. Baie d'Alger

1.1.1. Distribution spatiale de MES

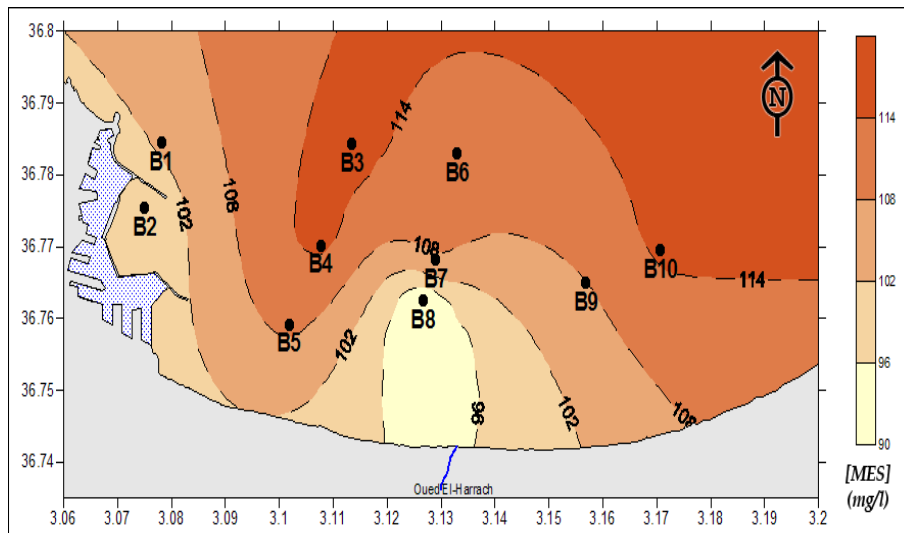


Figure 19 : Distribution spatiale de MES à la surface de la baie d'Alger.

Les teneurs les plus élevées en MES dans la baie d'Alger le plus au large de la baie et aussi à son Est.

On remarque que les stations « côtières » refferment les teneurs les moins importantes. Mais dans l'ensemble la teneur en MES dans la totalité des stations de prélèvement est assez homogène.

1.1.2. Distribution spatiale de la turbidité

La valeur moyenne de la turbidité mesurée dans la baie d'Alger à la surface de l'eau a été de 2,77 NTU avec un écart-type de 1,68 NTU, un minimum de 1,1 NTU et un maximum de 6,64 NTU. La figure 20 montre la distribution spatiale de ce paramètre

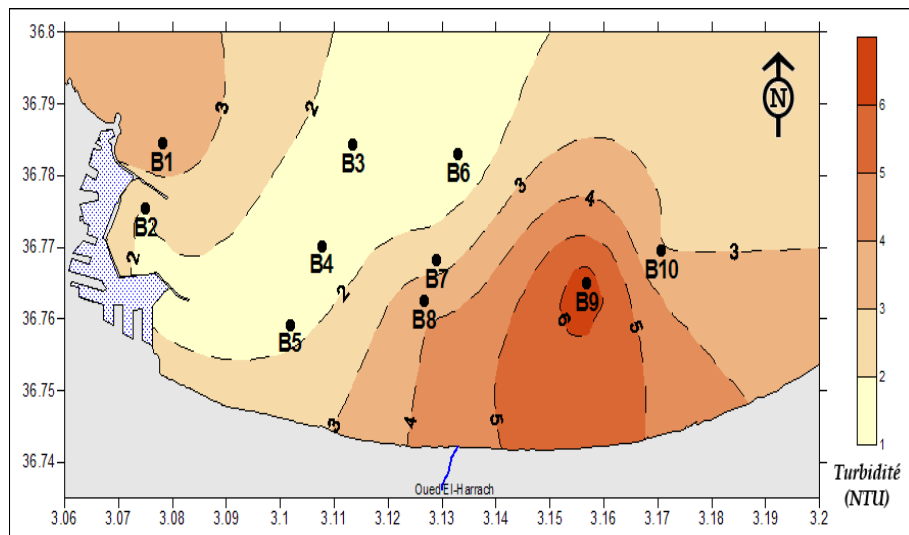


Figure 20 : Distribution spatiale de la turbidité à la surface de la baie d'Alger.

Les eaux les plus turbides se trouvent en face de l'oued El Harrach et au Nord du port d'Alger. Entre ses deux stations la turbidité évolue en un gradient négatif pour atteindre sa plus faible valeur dans la station B3.

1.1.3. Distribution spatiale de la teneur en chlorophylle

La teneur moyenne en chlorophylle a totale mesurée dans la baie d'Alger à la surface de l'eau a été de $0,868 \mu\text{g/l}$ avec un écart-type de $0,228 \mu\text{g/l}$, un minimum de $0,514 \mu\text{g/l}$ et un maximum de $1,247 \mu\text{g/l}$. La figure 5.24 montre la distribution spatiale de ce paramètre.

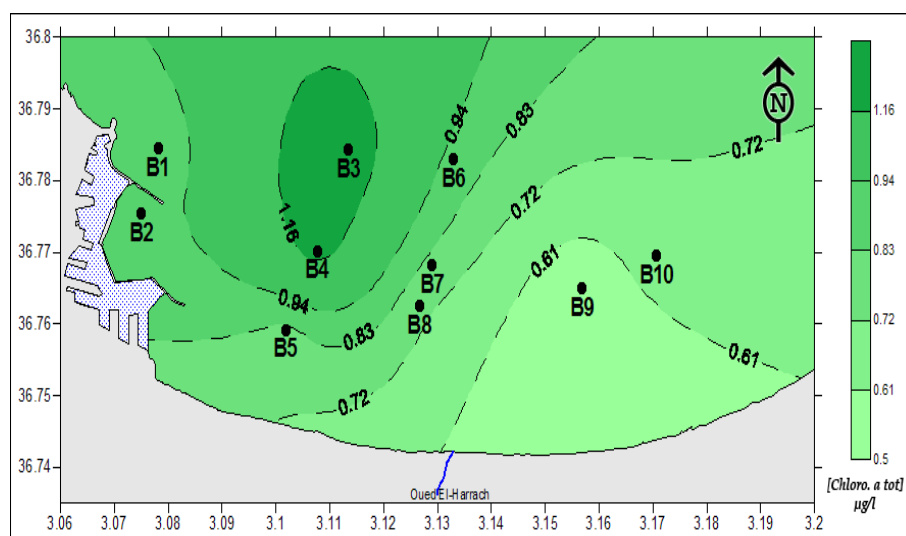


Figure 21: Distribution spatiale de la teneur en chlorophylle a totale à la surface de la baie d'Alger.

1.2. Baie de Bou-Ismail

1.2.1. Distribution spatiale de MES

La distribution de MES dans l'eau de mer dépend essentiellement de l'état de la mer, des courants et de l'agitation. Pour réaliser une étude spatiale de la MES nous avons présenté les teneurs en MES dans 15 stations qui couvrent la totalité de la baie.

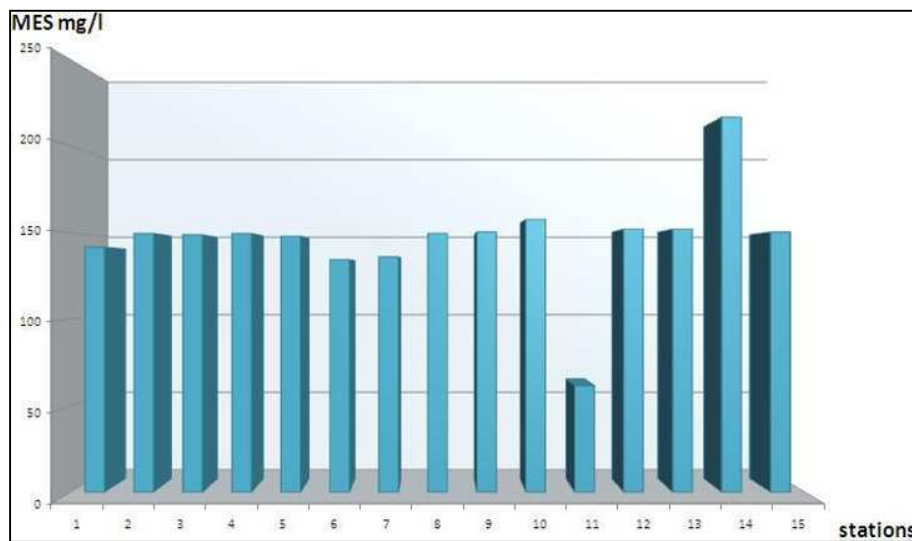


Figure 22: variation des MES dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismail

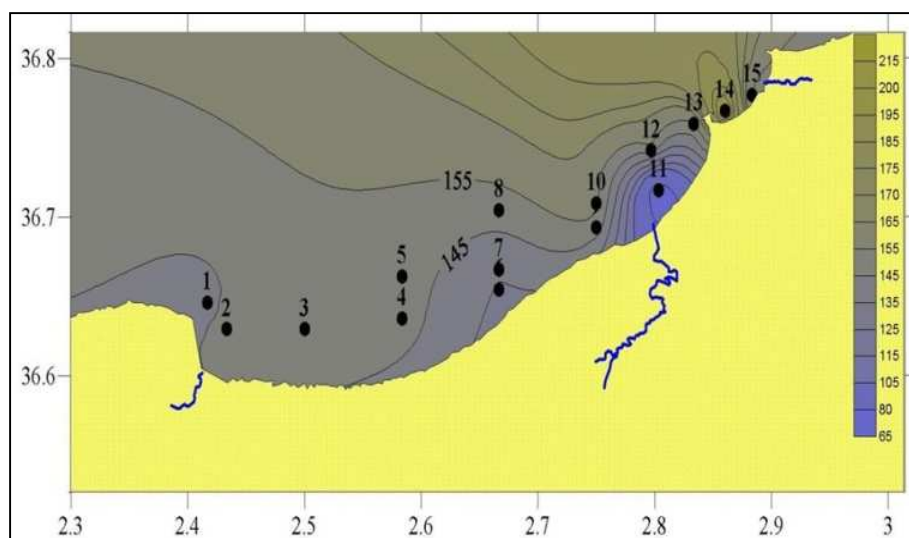


Figure 23 : spatialisations de MES dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismail.

Les valeurs de MES sont comprises entre 61.6 et 216.8 mg/l avec une moyenne de 146.56 mg/l et un écart-type de 3.1 mg/l, la distribution spatiale de MES montre une distribution hétérogène où on note des fortes valeurs au niveau des embouchures d'oued Beni-Messous et Oued Nador, cela est dû à l'influence des rejets domestiques des eaux usées (forte urbanisation) et la mise en suspension des éléments fins par les courants surtout au niveau des faibles profondeurs. On remarque aussi que les valeurs maximale de MES se situent face aux ports (sidi-Fredj) qui sont de l'ordre de 216.8 et 150.4 mg/l respectivement.

1.2.2. Salinité

La figure 24 montre la distribution spatiale à la surface de la salinité en P.S.U dans la baie de Bou-Ismaïl.

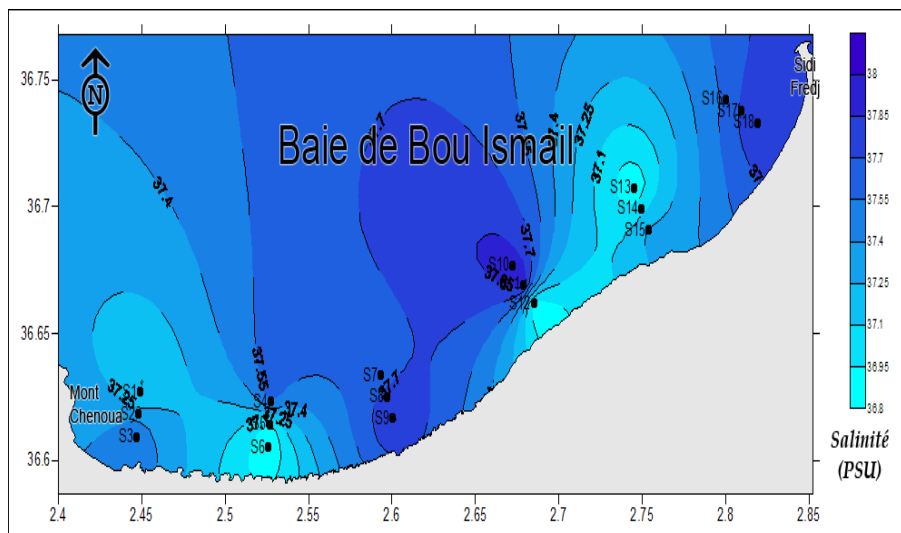


Figure 24 : Distribution spatiale de la salinité à la surface de la baie de Bou-Ismaïl.

1.2.3. Pourcentage de saturation en oxygène

La figure 25 montre la distribution spatiale à la surface du pourcentage de saturation en oxygène dans la baie de Bou Ismaïl.

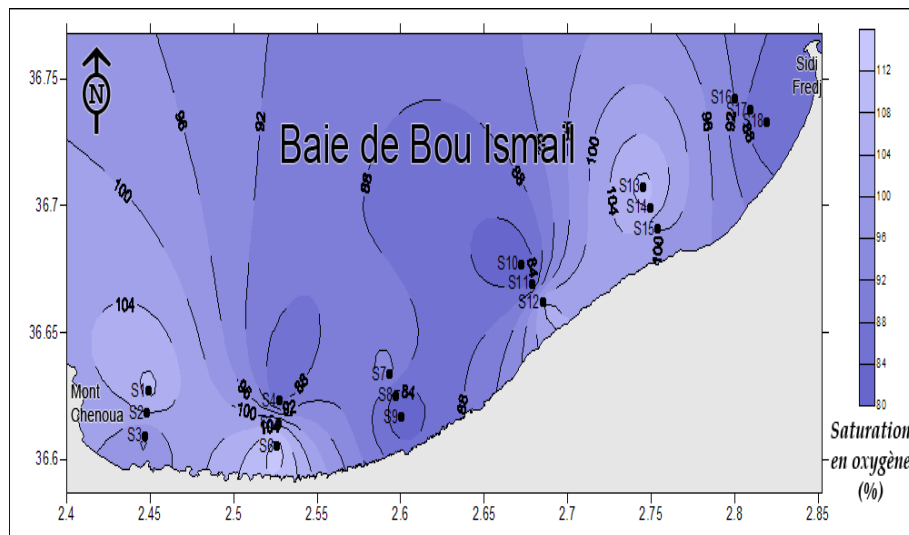


Figure 25: Distribution spatiale du pourcentage de saturation en oxygène à la surface de la baie de Bou-Ismaïl.

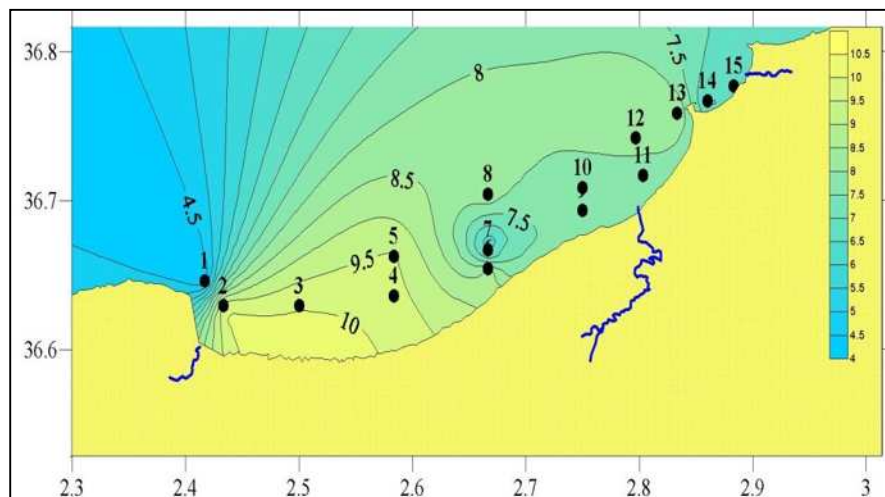


Figure 26: spatialisation de l'O₂ dissous dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismaïl

La teneur minimale en oxygène dissous enregistrée est de 4 mg/l. Cette faible concentration indique une intense consommation d'oxygène par l'oxydation de la matière organique. La plus forte teneur en oxygène dissous se trouve au niveau de la station 2 qui est de l'ordre de 10 mg/l. A cet endroit, les eaux sont relativement bien oxygénées. Ces eaux sont en contact permanent avec celles de la baie et ce qui permet leur renouvellement continu.

Le problème de la limitation de l'oxygène moléculaire dans les couches superficielles des colonnes d'eau est inexistant, Théoriquement, 3,5 g d'oxygène sont nécessaires pour l'oxydation complète de 1 g de pétrole ; Zobell (1969), a calculé que la quantité d'oxygène dissoute dans 320m³ d'eau de mer est nécessaire pour l'oxydation de 1 litre de pétrole brut

2. Détermination de la bathymétrie par simulation

Dans cette étude, nous nous intéressons à suivre la variation des quantités luminance et réflectance en fonction des profondeurs des stations étudiées dans les différents canaux des satellites SPOT, TM Landsat et MSS.

Nous définissons les bandes spectrales nécessaires qui peuvent être utilisées pour déterminer la bathymétrie, en transformant des images satellites brutes en images indicatrices de bathymétrie par l'application des droites d'ajustement obtenues à partir des meilleures régressions et les valeurs des coefficients de corrélation calculés.

2.1. Présentation du logiciel SDDS

Le calcul de luminance et de réflectance nécessite le développement d'un modèle de simulation du transfert radiatif à travers l'atmosphère dans des conditions réalistes, qui permet d'évaluer l'importance des effets de l'atmosphère et des conditions de prise de vue sur les images satellitaires. Nous avons utilisé le logiciel de « Simulation des données satellitaires » SDDS (figure 19.) développé en langage 'Visual Basic 4', sa principale fonction est le calcul de la radiance spectrale réfléchie par la cible au niveau du capteur et la détermination du rayonnement diffus par une masse d'eau. (Bachari, 1997)



Figure 27: Présentation du logiciel « SDDS » d'application de la simulation des données satellites.

Pour déterminer les différentes radiations au sol, les données d'entrées sont des paramètres astronomique, géographique et atmosphérique. Une banque des signatures spectrales est introduite, elle englobe les principaux objets au sol s une réflectance dans la bande du visible. Les résultats de simulation dépendent du des paramètres d'entrées. Le logiciel permet de montrer l'influence des effets des différents paramètres et les caractéristiques géométriques des structures sur le signal qui atteint les capteurs embarqués à bord des satellites Spot et Landsat.

2.1.1. Données astronomiques

- * Jour : valeur entre 1 pour le 1er Janvier et 365 pour 31 Décembre.
- * Heure : heure du prélèvement.
- * Latitude : valeur entre 0 et 360°.
- * BétaO : caractérise l'inclinaison de la surface par rapport à l'horizon, entre 0° et 90°.
- * Phi : L'angle Azimutal solaire entre -90° et +90°.
- * Z : Altitude du lieu en Km.

2.1.2. Données atmosphériques

- * Ozone : quantité d'ozone présente dans l'atmosphère, entre 0 et 0.5.
- * Humidité relative : entre 0 et 1.
- * Température : en degré Kelvin $T = T^{\circ}\text{C} + 273$.
- * Visibilité : en kilomètres.
- * Altitude de l'ozone : caractérise la position du centre de gravité de la couche d'Ozone.
- * Alpha : relié à la distribution et le diamètre de la particule d'aérosol généralement, valeur entre 0.5 et 2.5.(unité)
- * Fc : facteur qui dépend des dimensions des particules, de leur nature et de la longueur d'onde entre 0 et 1.
- * Wo : dépend de la nature de la matière, des aérosols, ses dimensions et ses propriétés optiques ; il varie entre 0.7 et 1.

Les données astronomiques, atmosphériques et géographiques sont regroupées dans le tableau suit :

Tableau 6: Paramètre d'entrées pour le SDDS

Paramètres atmosphériques		Paramètres astronomiques		
Ozone Cm	0.5	Jour	102	
Humidité relative %	75	Heure	12.00	
Température K	T°C+273	Latitude	36°45'48.49''	
Visibilité Km	18	Longitude	2°50'56.77''	
Altitude d l'ozone	200	β_0	0	
Alpha (α)	1.4	Θ_v	15°	
Fc	0.6	φ	45°	
ω_0	0.8	Ψ	60°	

Ces paramètres correspondent à une atmosphère claire de pression normale au niveau de la mer.

En ce qui concerne les données géographiques, elles sont en relation directe avec les stations d'application. (Figure 28)

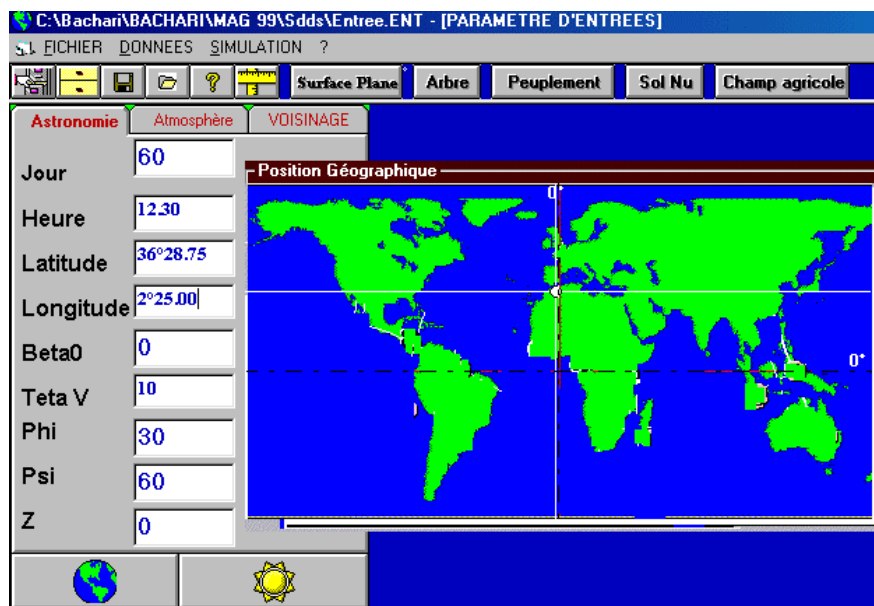


Figure 28: Application de SDDS, les paramètres d'entrée sont des données atmosphériques

2.2. Analyse de la variation de la luminance

Nous nous intéressons dans cette partie à suivre la variation des quantités luminances et réflectances en fonction de la profondeur des stations dans les différents canaux des satellites.

Le capteur embarqué à bord d'un satellite mesure le rayonnement solaire réfléchi par le système sol-atmosphère dans une bande spectrale déterminée. Cette mesure dépend des conditions de prise de vue (éclairage, inclinaison..), de la profondeur, de la nature du fond et de la qualité de l'eau. Une fois que les données nécessaires au lancement du logiciel sont validées, Les luminances correspondant à chaque station d'étude sont affichées sous forme de tableaux.(Figure 21) Notre étude bathymétrique se focalise sur les images multibandes sur plusieurs canaux des satellites balayant tout le spectre électromagnétiques des capteurs du satellite SPOT et les capteurs TM et MSS du satellite LANDSAT dans la partie visible du spectre.

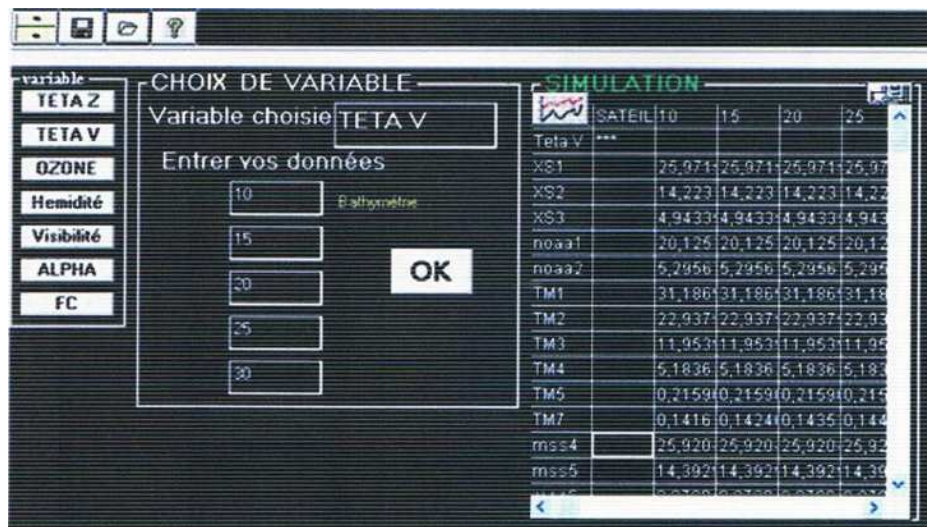


Figure 29: Variation de la luminance sur les différents canaux satellitaires par station

2.3. Applications aux stations

Les résultats de la luminance obtenus par le logiciel :

Tableau 7 : Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les trois canaux du satellite Spot (Baie Bou-Ismaïl)

Téta V	10			30		
	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3
1	56,665	38,925	11,966	55,799	38,426	11,866
5	45,86	15,504	4,269	45,275	15,455	4,269
20	32,202	13,017	4,266	31,985	13,017	4,266

Tableau 8: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les six canaux du satellite Landsat-TM (Baie Bou-Ismaïl)

TétaV	10						30					
prof	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6
1	61,866	53,152	29,104	12,256	1,909	0,648	60,931	52,339	28,788	12,155	1,892	0,643
5	55,798	38,303	11,816	4,492	0,156	0,043	55,038	37,863	11,798	4,492	0,156	0,043
20	43,105	25,443	10,817	4,489	0,155	0,042	42,709	25,338	10,817	4,489	0,155	0,042

Tableau 9: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les quatre canaux du satellite Landsat-MSS (Baie Bou-Ismaïl)

Téta V	10				30			
Prof	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,582	37,415	15,241	9,52	55,716	36,935	15,108	9,423
5	45,613	15,747	7,209	3,23	45,032	15,693	7,209	3,23
20	32,14	13,196	7,183	3,228	31,924	13,196	7,183	3,228

2.4. Effet de la profondeur

Les capteurs permettent de mesurer la radiométrie, cela veut dire l'intensité du rayonnement solaire réfléchi par le sol et les fonds marins à travers la couche d'eau. Cette intensité est mesurée dans le spectre visible pour des bandes de fréquence bien précises. **(Dridi et Meziani, 2003)**

A la première impression, il est possible de différencier les types de fond, par ailleurs la réflectance du fond, au cours de son ascension vers la surface subit une atténuation sélective. Tout cela a pour effet un écrasement de la réponse spectrale du fond qui rend les discriminations difficiles dès que la profondeur augmente. **(Houma, 2009)**

Des stations ont été sélectionnées en dépit des autres pour mieux apprécier la variation, car dans notre cas les stations sont plutôt nombreuses.

Les courbes représentant l'ensemble des stations sont représentées en annexes.

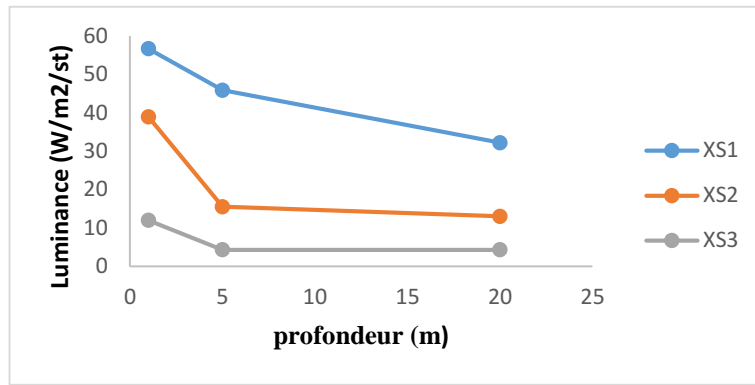


Figure 30: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SOPT) pour Téta v=10

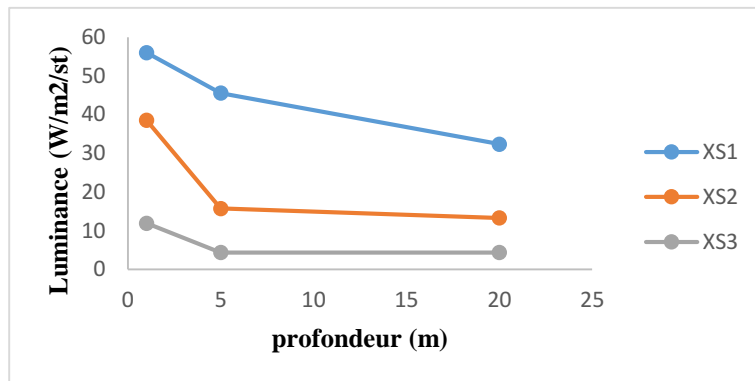


Figure 31: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SOPT) pour Téta v=30

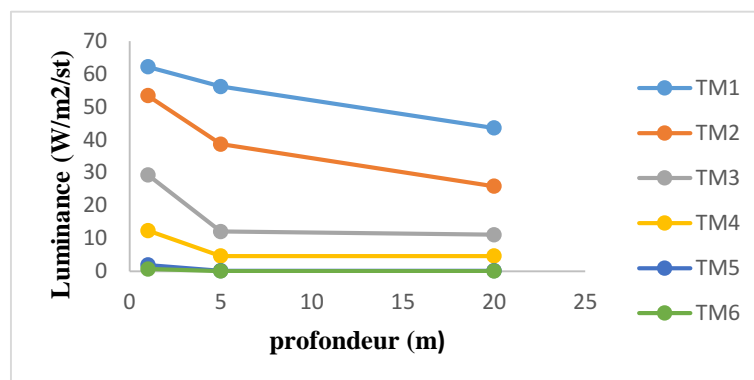


Figure 32: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM) pour Téta v=10

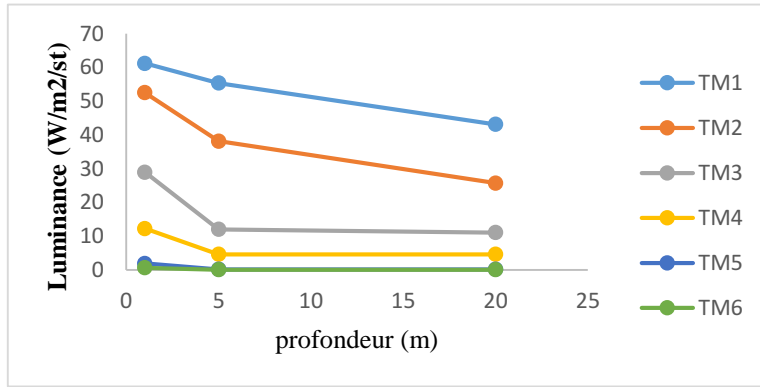


Figure 33: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM) pour Téta $\nu=30$

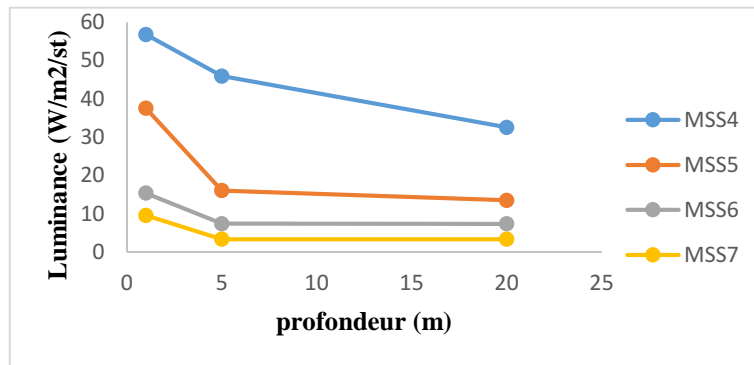


Figure 34: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-MSS) pour Téta $\nu=10$

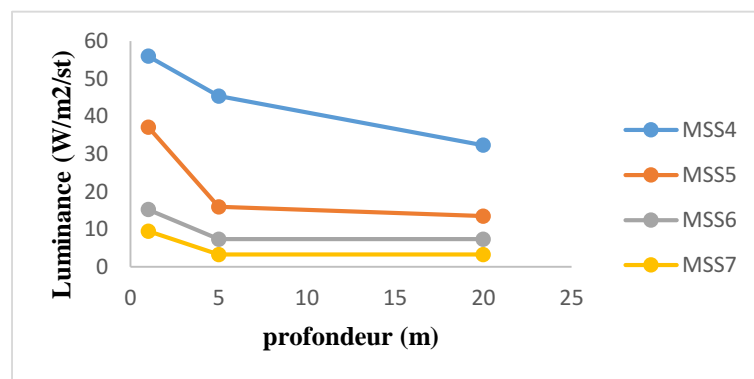


Figure 35: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-MSS) pour Téta $\nu=30$

En observant les graphes des variations de la radiation en fonction de la profondeur, La résolution spectrale permet d'observer dans les eaux de la baie Bou-Ismaïl le fond de façon satisfaisante jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre 20m sur les canaux (XS1, TM1, TM2, MSS4) et jusqu'à des fonds de 5 à 7m sur les canaux (XS2, TM3, MSS5).

quant aux Les canaux (XS3 , TM4, TM5, TM6, MSS6, MSS7) ils n'apportent aucune information bathymétrique puisque la mer présente une réflectance nulle dans le canal infrarouge, le signal enregistré correspond uniquement à l'effet de l'atmosphère.

Sur les graphes de luminance, nous remarquons que plus la profondeur est grande, plus le rayonnement est absorbé et plus le niveau de radiométrie mesuré est faible jusqu'à une certaine profondeur au de-là on aura le même enregistrement, et le canal de satellite n'apporte plus d'information.

2.5. Conversion en réflectance des données satellitaires brutes

La première étape pour obtenir les valeurs de réflectance provenant de l'ensemble mer - atmosphère est obtenue par une simple transformation des luminances en comptes numériques.

Notons que le compte numérique représente une quantité d'énergie d'une valeur comprise entre 0 et 255 que contient le pixel. La relation entre le compte numérique d'un pixel et sa luminance au niveau du capteur peut s'écrire comme suit :

$$L = a. CN + b$$

La réflectance est aussi en relation avec le compte numérique :

$$\text{Réf} = c. CN + d$$

Tel que : **L** : luminance donnée par le SDDS après simulation ($\text{w/m}^2/\text{sr}$).

Réf : réflectance.

CN : compte numérique.

a, b, c et d : Coefficients de calibration.

Il est donc nécessaire de transformer les valeurs de luminance connues pour chaque canal satellitaire en comptes numériques puis en réflectance.

Les équations de conversion et les coefficients de calibration sont proposés par le guide des utilisateurs SPOT et sont données dans le tableau ci-dessous.

Tableau 10 : relation de conversion en comptes numérique et en réflectances dans les différents canaux satellitaire

Canaux	Comptes numériques	Réflectance
XS1	$CN=1,23L + 0,22$	$Réf=3,0604.10^{13}CN-0,3418$
XS2	$CN=1,24L-0,08$	$Réf = 3,2166.10^{13}CN - 0,2676$
XS3	$CN = 1,32 L - 0,59$	$Réf = 4,7972. 10^{13} CN - 0,2136$
TM1	$CN= 1,661 IL + 2,4917$	$Réf = 2,3320. 10^{13} CN - 0,3904$
TM2	$CN = 0,8547 L + 2,3932$	$Réf = 4,3850. 10^{13} CN - 0,3307$
TM3	$CN = 1,2407 L + 1,4888$	$Réf = 3,4250. 10^{13} CN - 0,2654$
TM4	$CN = 1,227 L + 1,8405$	$Réf = 4,1144.10^{14} CN - 0,2801$
TM5	$CN = 95,525 L + 3,4234$	$Réf = 5,0293. 10^{13} CN - 0,2285$
TM7	$CN = 177,55 L - 21,9809$	$Réf = 4,9826.10^{13} CN - 9,5667$
MSS4	$CN = 4,792 L - 1,437$	$Réf = 8,0244. 10^{14} CN - 0,3496$
MSS5	$CN = 7,216 L - 2,164$	$Réf = 3,6758.10^{-4} CN - 0,2717$
MSS6	$CN = 8,881 L - 4,4405$	$Réf = 3,9660. 10^{14} CN - 0,2436$
MSS7	$CN = 10,583 L - 3,175$	$Réf = 4,5686. 10^{-4} CN - 0,2246$

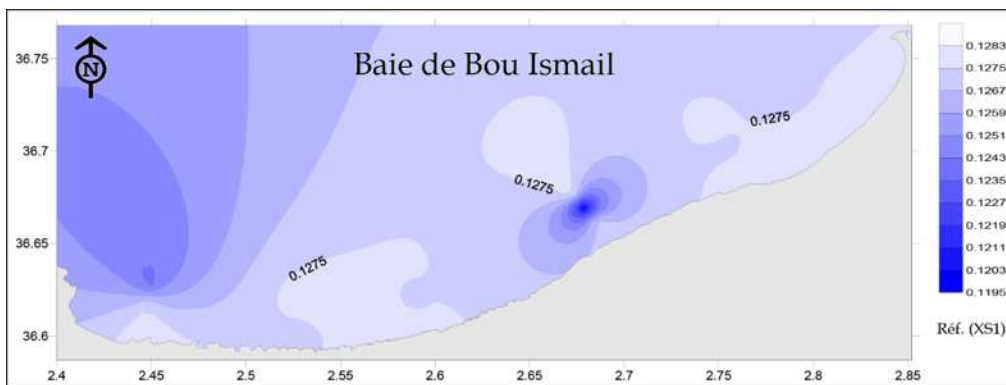


Figure 36: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS1)

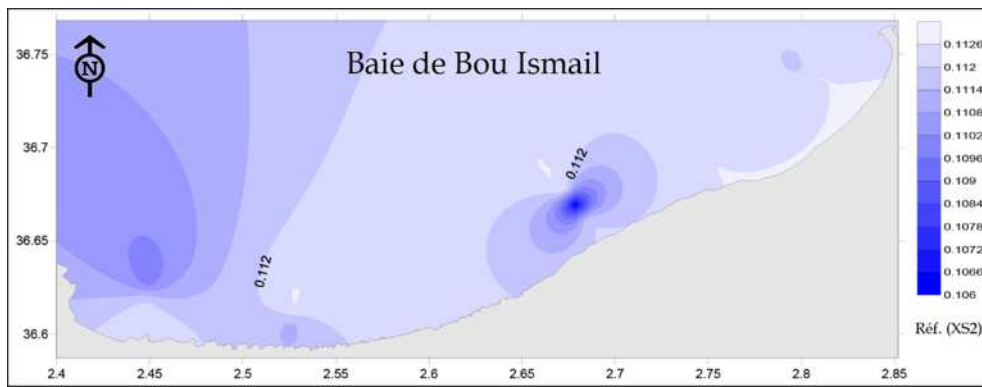


Figure 37: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS2)

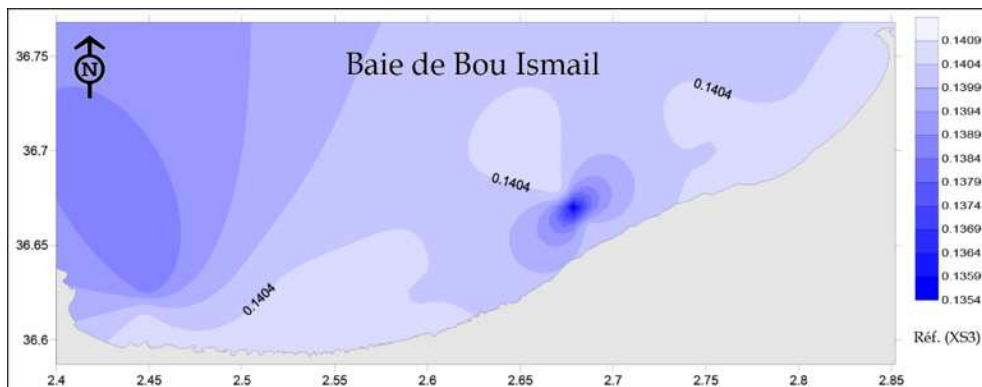


Figure 38: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS3)

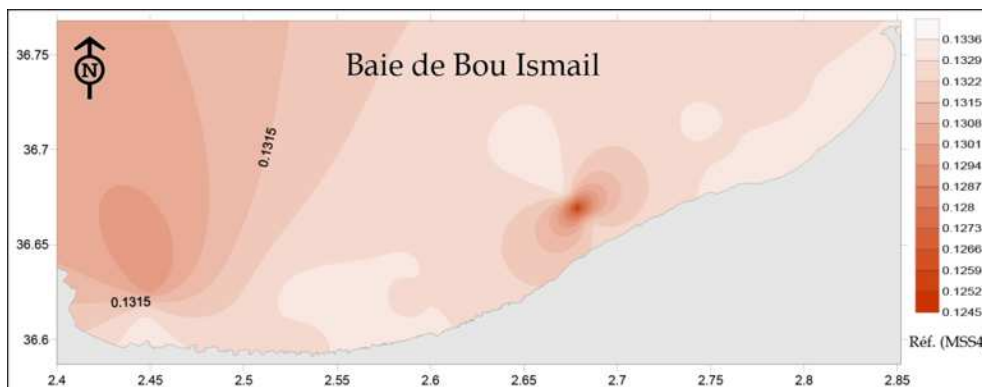


Figure 39: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS4)

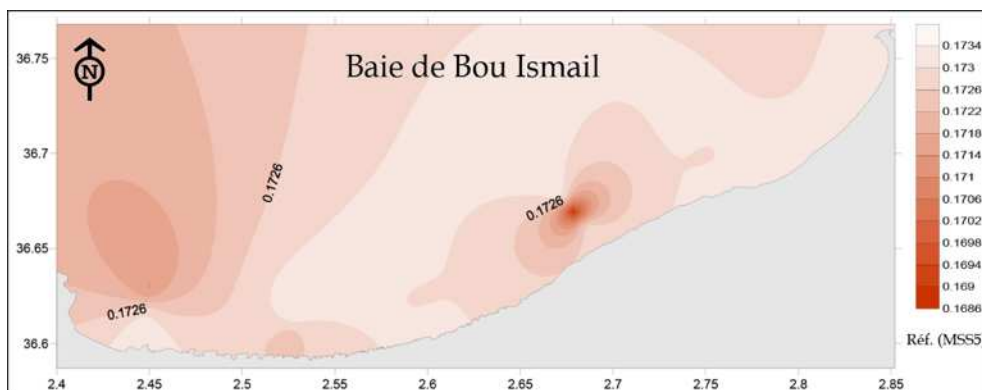


Figure 40: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS5)

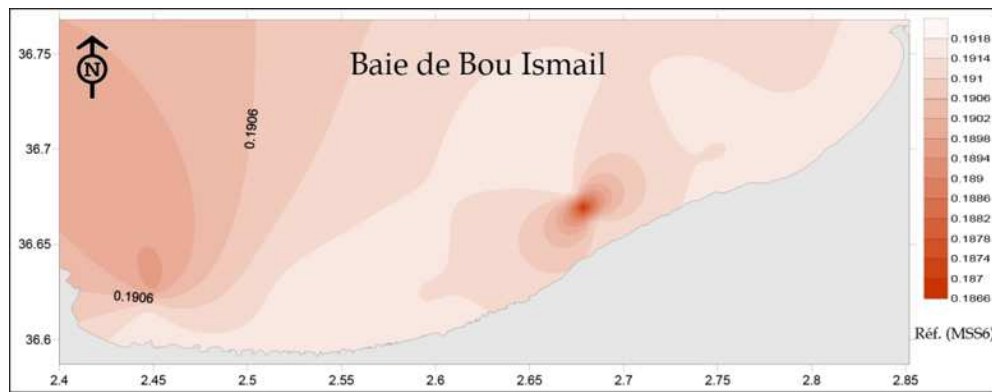


Figure 41: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS6)

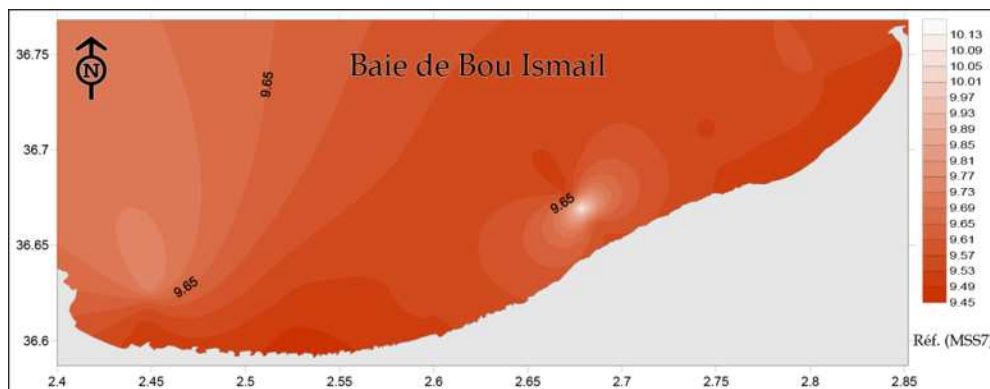


Figure 42: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS7)

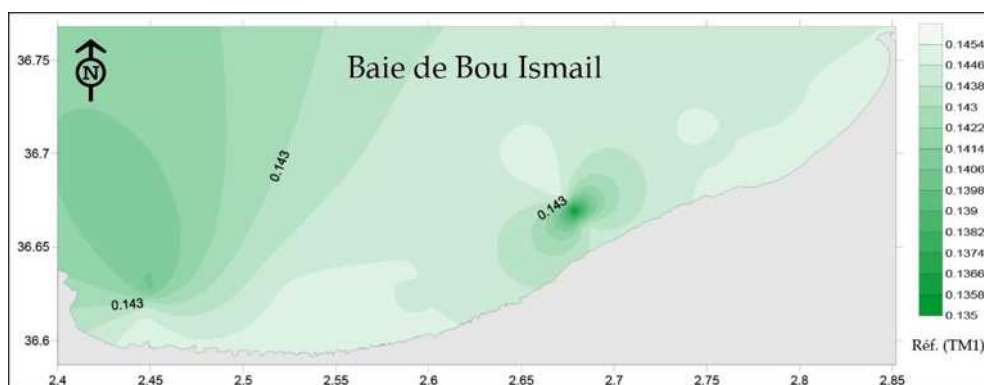


Figure 43: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM1)

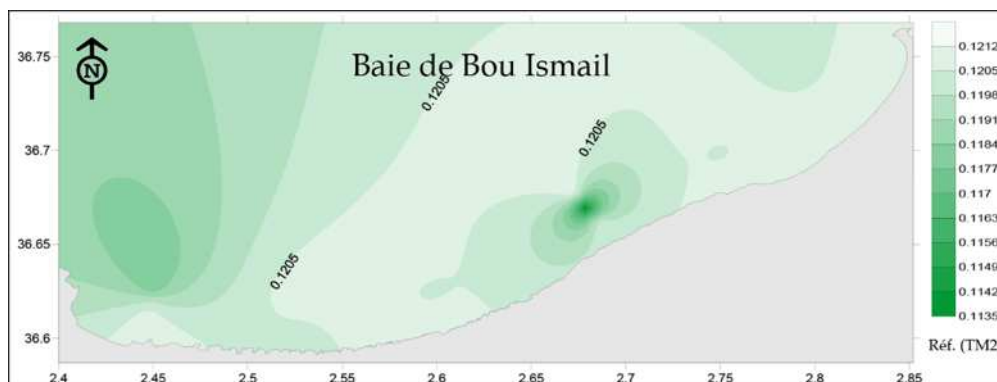


Figure 44: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM2)

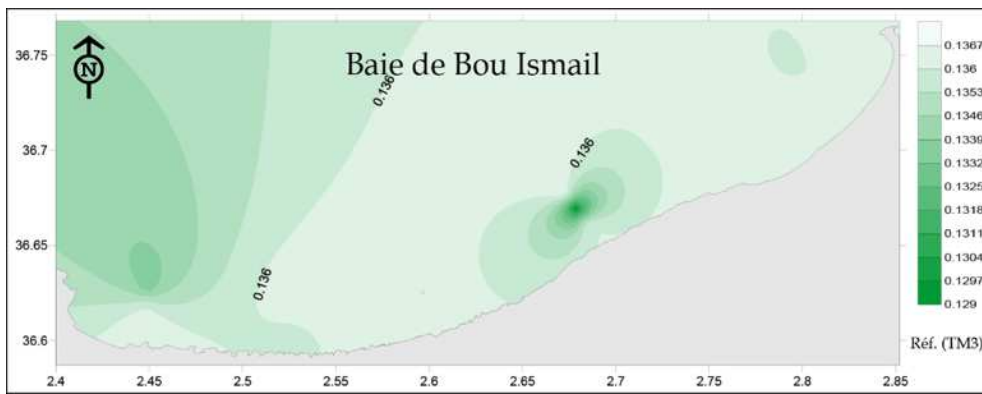


Figure 45: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM3)

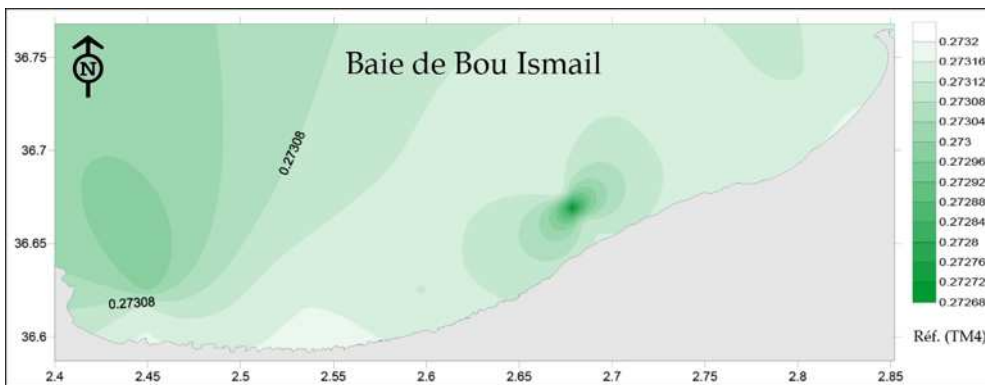


Figure 46: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM4)

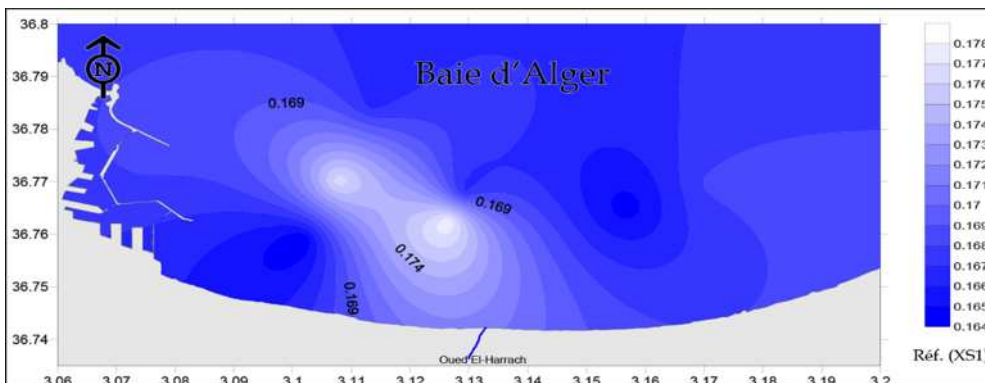


Figure 47: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS1)

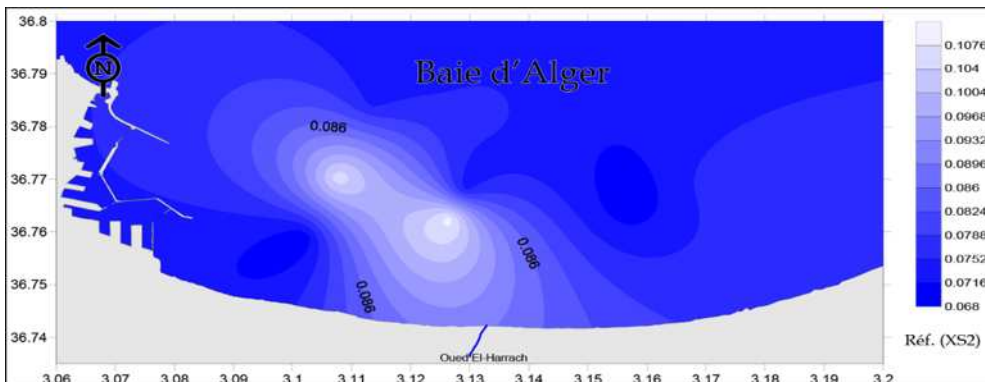


Figure 48: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS2)

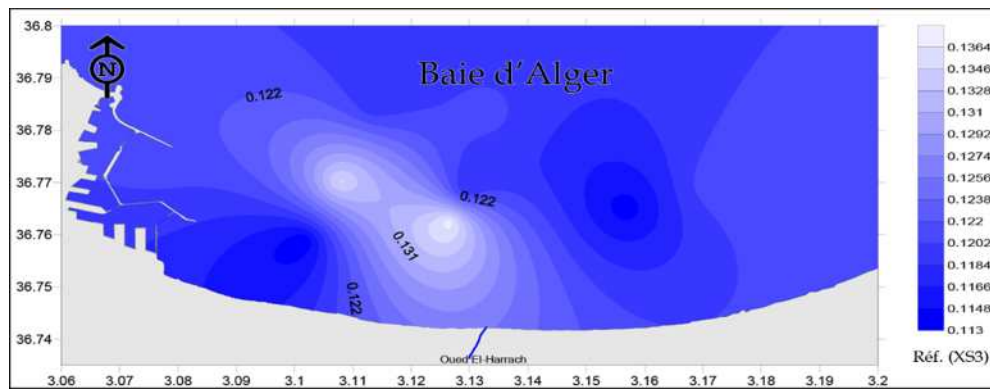


Figure 49: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS3)

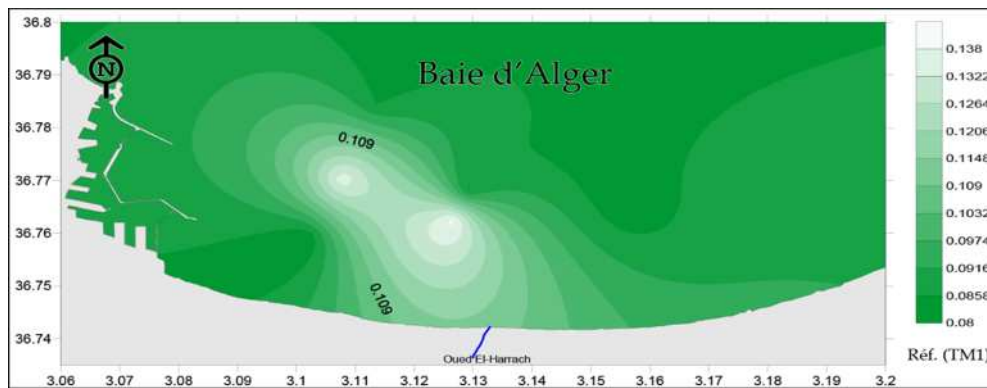


Figure 50: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM1)

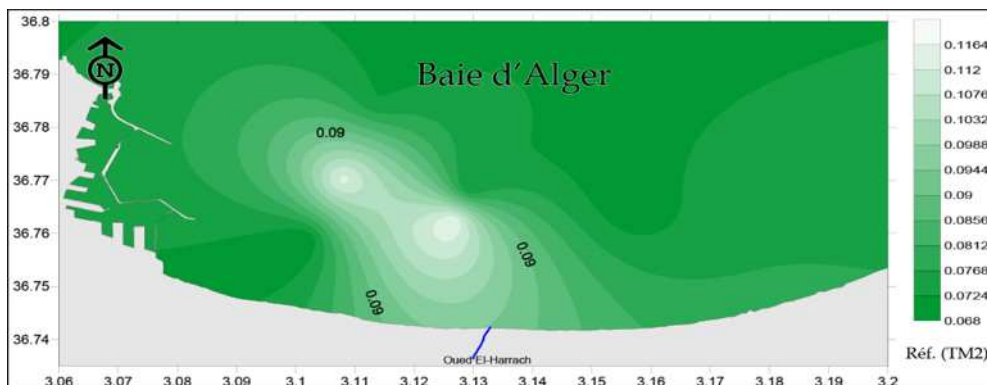


Figure 51: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM2)

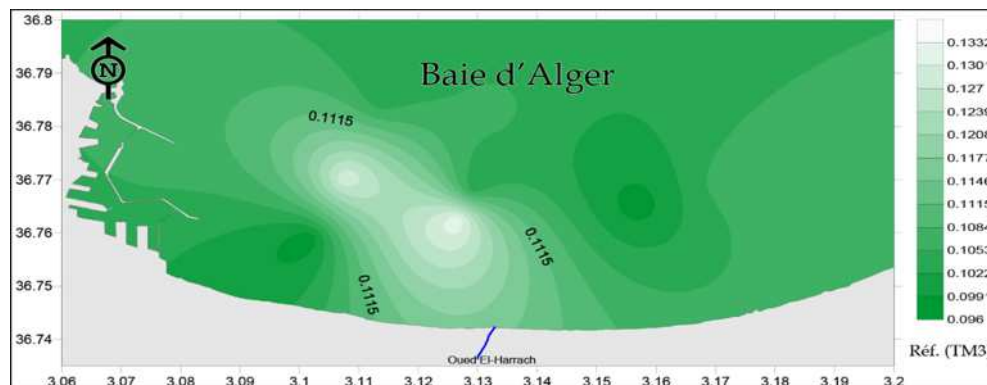


Figure 52: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM3)

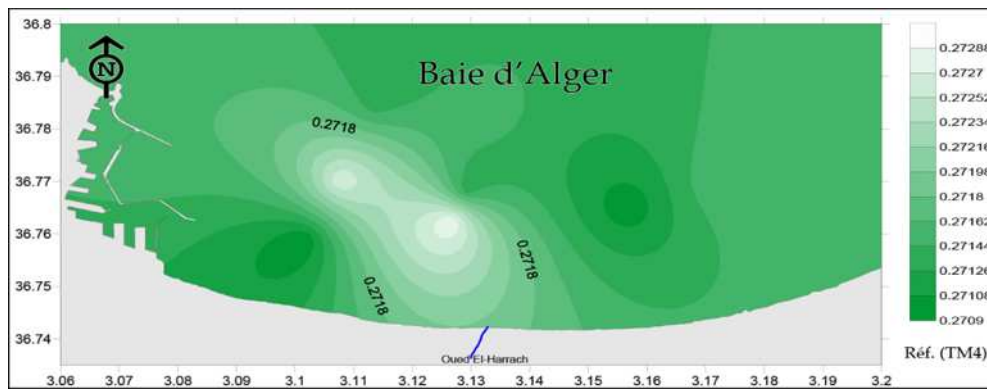


Figure 53: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM4)

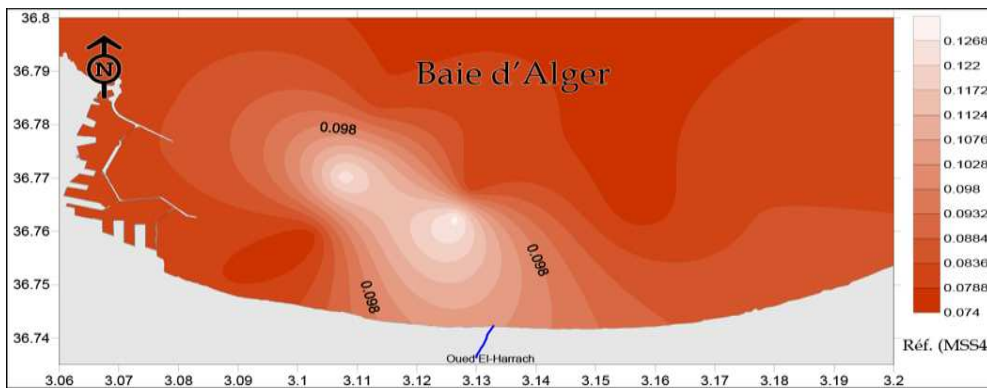


Figure 54: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS4)

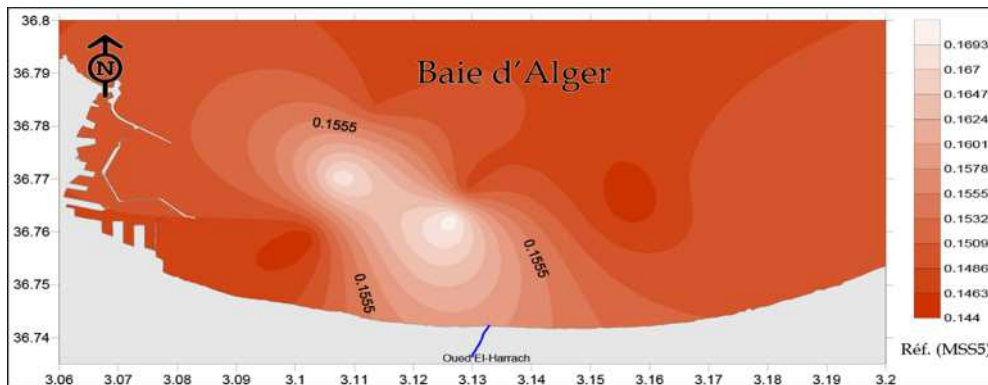


Figure 55: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS5)

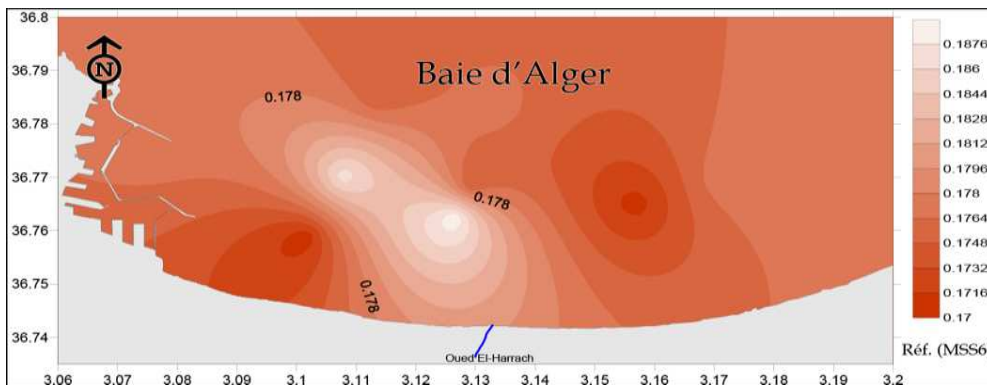


Figure 56: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS6)

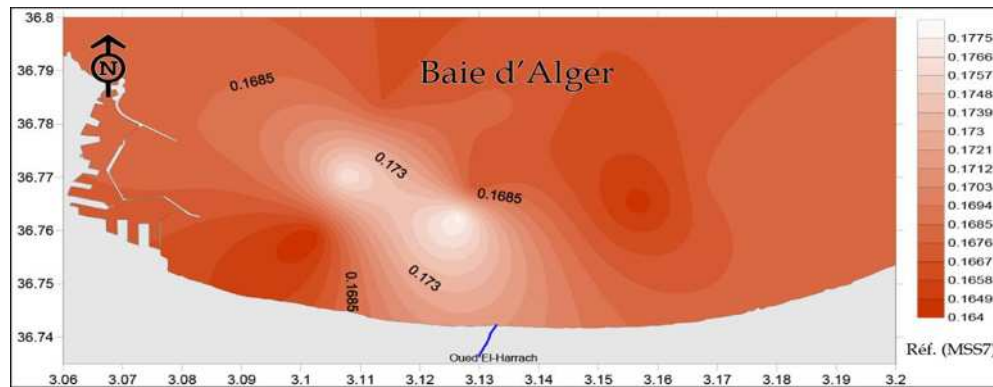


Figure 57: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS7)

2.6. Analyse corrélative et modélisation.

En effectuant une série d'observations simultanées afin d'obtenir un ensemble de couples de mesures comportant chacun :

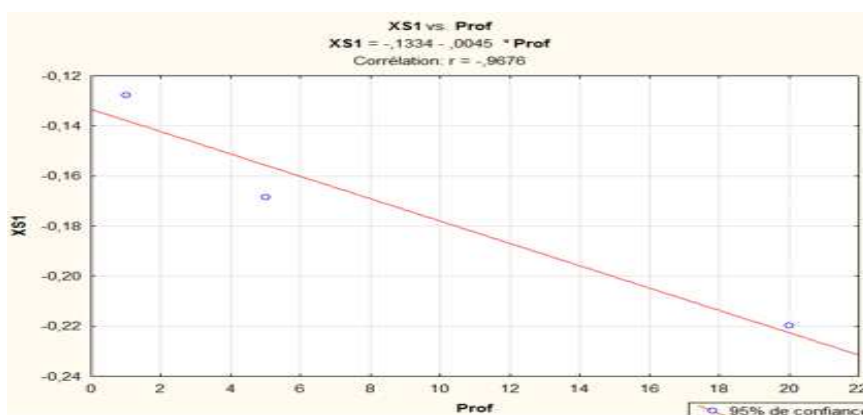
- Une valeur de la radiance dans un canal donné (la réflectance Réf).
- Une valeur de la profondeur (Prof).

2.6.1. Coefficient de corrélation (r)

Le coefficient de corrélation simple ou coefficient total est une mesure de l'intensité de la liaison linéaire existante éventuellement entre deux variables, il peut être notamment en relation avec la régression linéaire simple dans la prévision des valeurs de la profondeur en fonction des valeurs radiométriques (Réf, L et CN).

Nous représentons les courbes de corrélation des profondeurs de la baie de Bou-Ismaïl aux canaux XS de SPOT pour Téta V= 10 dans les suivantes

Les courbes de corrélation des autres canaux de SPOT de LANDSAT sont représentées dans l'annexe



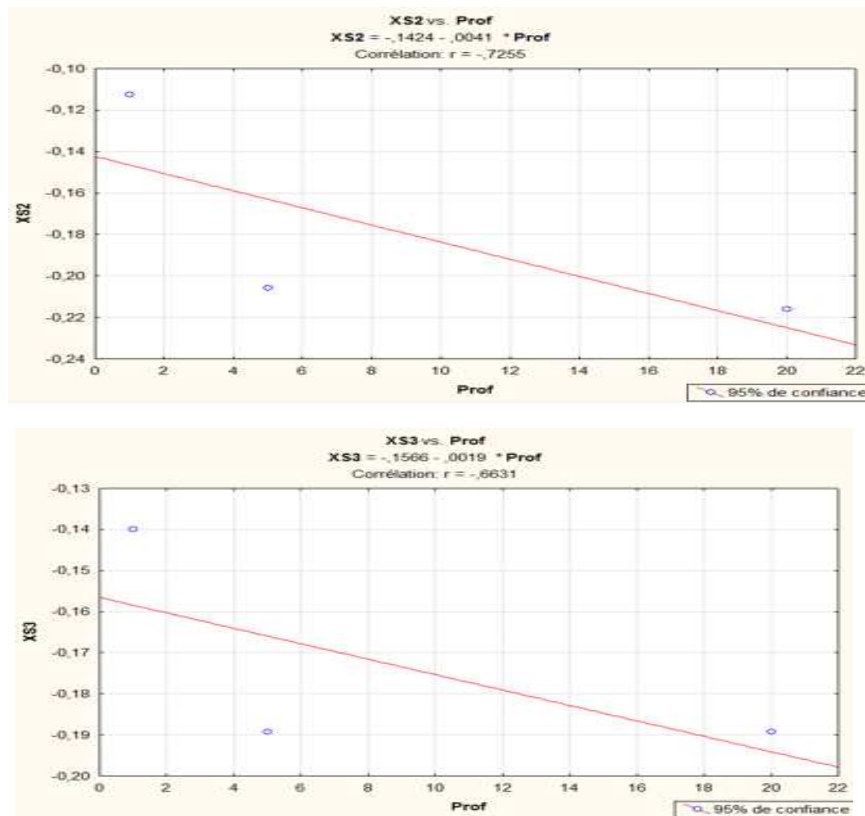


Figure 58: courbes de corrélation des profondeurs de la baie Bou-Ismaïl aux canaux XS de SPOT droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V= 10

Tableau 11 : Résultats des analyses corrélatives Téta V = 10

fonctions	Droite d'ajustement régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf (XS1)=f(PROF)	Réf (XS1)= -0,1334 - ,0045 * Prof	r = -0,9676
Réf (XS2)=f(PROF)	Réf (XS2)=-0,1424 - 0,0041 * Prof	r = -0,7255
Réf (XS3)=f(PROF)	Réf (XS3)= -0,1566 - ,0019 * Prof	r = -0,6631
Réf (MSS4)=f(PROF)	Réf (MSS4)=-0,1392 -0,0045* Prof	r = -0,9655
Réf (MSS5)=f(PROF)	Réf(MSS5)=-0,1915-0,0026 * Prof	r = -0,7316
Réf (MSS6)=f(PROF)	Réf (MSS6)=-0,2012-0,0011 * Prof	r = -0,6649
Réf (MSS7)=f(PROF)	Réf (MSS7)=-0,1902- 0,0012* Prof	r = -0,6631
Réf (TM1)=f(PROF)	Réf (TM1)=0-,1451 - 0,0037 * Prof	r = -0,9926
Réf (TM2)=f(PROF)	Réf (TM2)=-0,1321 - 0,0048 * Prof	r = -0,9345
Réf (TM3)=f(PROF)	Réf (TM3)=-0,1606 - 0,0030 * Prof	r = -0,6984
Réf (TM4)=f(PROF)	Réf (TM4)= -0,2745 - 0,1E-3 * Prof	r = -0,6631
Réf (TM5)=f(PROF)	Réf (TM5)= -0,1633 - 0,0032*Prof	r = -0,6632
Réf (TM6)=f(PROF)	Réf (TM6)= -9,538 - 0,0020 * Prof	r = -0,6639

Tableau 12: Résultats des analyses corrélatives Téta V = 30

fonctions	Droite d'ajustement régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf (XS1)=f(PROF)	Réf (XS1)= -0,1366 - 0,0043 * Prof	r = -0,9675
Réf (XS2)=f(PROF)	Réf (XS2)= -0,1438 - 0,0040 * Prof	r = -0,7254
Réf (XS3)=f(PROF)	Réf (XS3)= -0,1570 - 0,0019 * Prof	r = -0,6631
Réf (MSS4)=f(PROF)	Réf (MSS4)= -0,1424 - 0,0044 * Prof	r = -0,9654
Réf (MSS5)=f(PROF)	Réf (MSS5)= -0,1924 - 0,0025 * Prof	r = -0,7315
Réf (MSS6)=f(PROF)	Réf (MSS6)= -0,2015 - 0,0011 * Prof	r = -0,6650
Réf (MSS7)=f(PROF)	Réf (MSS7)= -0,1905 - 0,0011 * Prof	r = -0,6631
Réf (TM1)=f(PROF)	Réf (TM1)= -0,1488 - 0,0036 * Prof	r = -0,9926
Réf (TM2)=f(PROF)	Réf (TM2)= -0,1349 - 0,0047 * Prof	r = -0,9344
Réf (TM3)=f(PROF)	Réf (TM3) = -0,1615 - 0,0030 * Prof	r = -0,6984
Réf (TM4)=f(PROF)	Réf (TM4) = -0,2745 - 0,1E-3 * Prof	r = -0,6631
Réf (TM5)=f(PROF)	Réf (TM5) = -0,1639 - 0,0032 * Prof	r = -0,6632
Réf (TM6)=f(PROF)	Réf (TM6) = -9,539 - 0,0020 * Prof	r = -0,6639

2.7. Interprétation des résultats de l'analyse

L'ajustement linéaire entre les variables réflectances des différents canaux et profondeurs ont donné des relations à forte corrélation pour les bandes spectrales XS1, MSS4, TM1 et TM2 avec les réflectances correspondantes Réf (XS1), Réf (MSS4), Réf (TM1) et Réf (TM2) (Tableaux). Elles correspondent à la partie visible du spectre électromagnétique et plus précisément dans les portions du vert ce qui concorde avec la signature spectrale de l'eau dont le taux de radiation est le maximum dans cette partie du spectre.

Elles sont donc les mieux adaptées pour déterminer la bathymétrie et plus ou moins pour XS2, MSS5 et TM3 qui donnent des coefficients à moyenne corrélation avec les réflectances correspondantes Réf(XS2), Réf(MSS5) et Réf(TM3).

Les plus faibles valeurs des coefficients de corrélation sont observées sur les canaux XS3, MSS6, MSS7, TM4, TM5 et TM6 ce qui est tout à fait logique puisque l'absorption de l'eau devient très importante dans cette bande infrarouge par contre la diffusion du rayonnement devient très faible ce qui diminue l'information acquise par les capteurs.

Donc pour les très faibles profondeurs presque tous les canaux sont adaptés pour la détermination de la profondeur. (Houma, 2010)

Le meilleur coefficient de corrélation a été obtenu dans le canal TM1 de Landsat où $r = -0,9926$, ceci est dû au fait que la résolution spectrale au sein de satellite est la plus grande pour une longueur d'onde comprise entre 0,45-12,5um. La résolution radiométrique de TM1 est plus fine que celle de TM2 respectivement pour les bandes spectrales : 0,45-0,52 et 0,52-0,60um.

2.8. Ajustement et graphiques des profondeurs en fonction des réflectances $Prof(Z)=f(Réf)$

A partir des équations de réflectance obtenues pour les meilleurs canaux $Réf=f(\text{prof})$, nous avons inversé les équations pour trouver la profondeur en fonction de la réflectance $Prof(Z)=f(Réf)$ pour les canaux qui donnent les meilleurs corrélations (figure).

L'inversement des équations a pour but l'obtention d'image indicatrice de la bathymétrie par le logiciel PCSATWIN. (Houma et al., 2006)

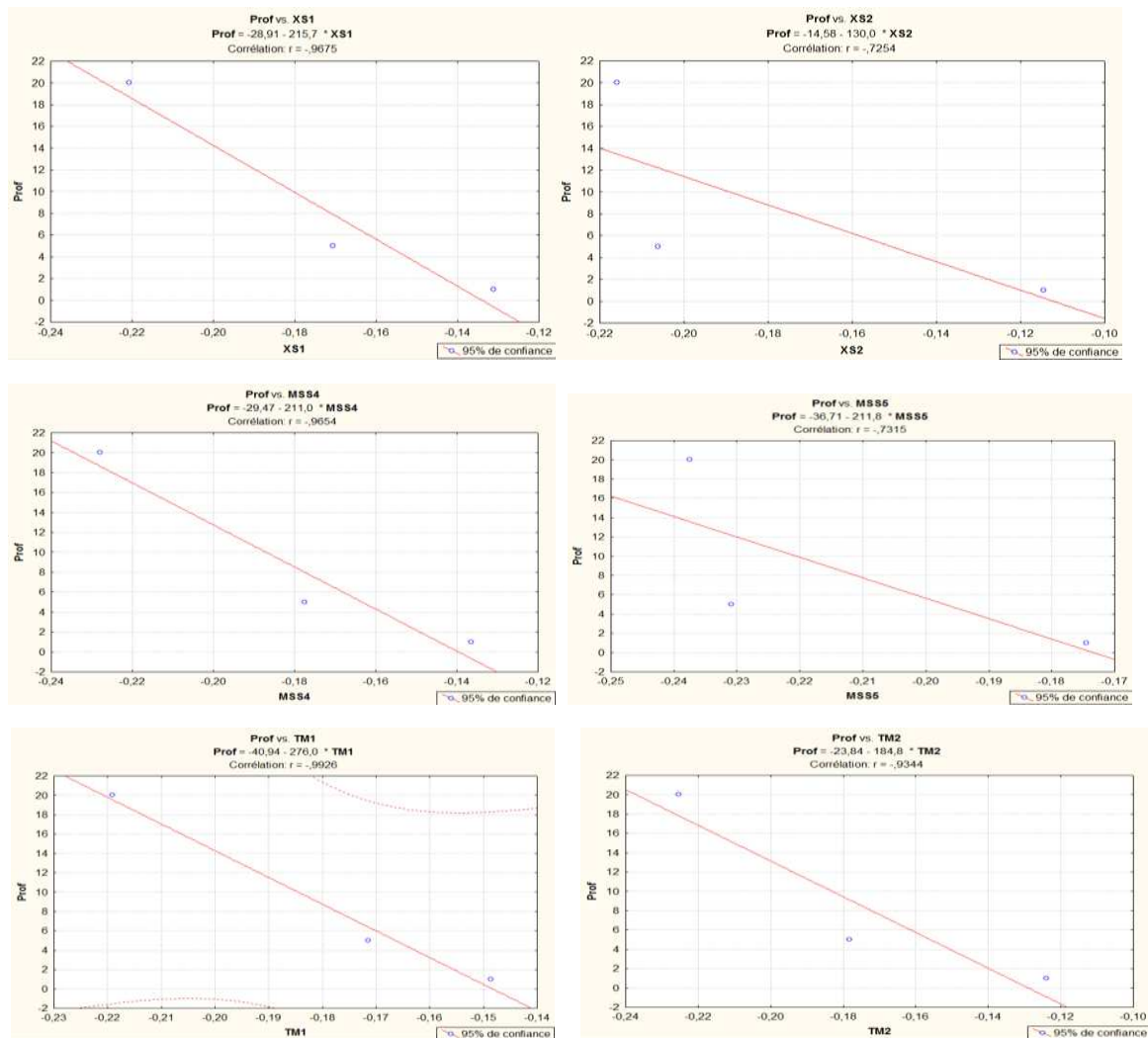


Figure 59 : Ajustement linéaire entre réflectance et profondeur, après inversion des équations

Tableau 13 : Ajustement linéaire $\text{prof}(Z)=f(\text{Réf})$ (Baie de Bou-Ismaïl)

Fonctions	Droite d'ajustement régression linéaire	Coefficient de corrélation
$\text{PROF}(Z)= F (\text{Réf XS1})$	$\text{PROF}(Z)= -28,91 - 215,7 * \text{XS1}$	$r = -,9675$
$\text{PROF}(Z)= F (\text{Réf XS2})$	$\text{PROF}(Z)= -14,58 - 130,0 * \text{XS2}$	$r = -,7254$
$\text{PROF}(Z)= F (\text{Réf MSS4})$	$\text{PROF}(Z)= -29,47 - 211,0 * \text{MSS4}$	$r = -,9654$
$\text{PROF}(Z)= F (\text{Réf MSS5})$	$\text{PROF}(Z)= -36,71 - 211,8 * \text{MSS5}$	$r = -,7315$
$\text{PROF}(Z)= F (\text{Réf TM1})$	$\text{PROF}(Z)= -40,94 - 276,0 * \text{TM1}$	$r = -,9926$
$\text{PROF}(Z)= F (\text{Réf TM2})$	$\text{PROF}(Z)= -23,84 - 184,8 * \text{TM2}$	$r = -,9344$

3. Application PCSATWIN :

En utilisant le logiciel PCSATWIN, l'image réflectance a été transformée en une image qui permet d'estimer la bathymétrie des eaux peu profondes de notre zone étudiée.

Nous définissons les bandes spectrales nécessaire qui peuvent être utilisé pour déterminer la bathymétrie en transforme des images satellites brutes en images indicatrices de la profondeur par l'application des droites d'ajustement obtenues à partir des meilleures régressions et les valeurs de coefficients de corrélation calculés.



Figure 60 : Application des modèles d'inversion de la bathymétrie sur PCASATWIN



Figure 61: Traitement de l'image satellite Landsat TM1

Pour l'extraction de la bathymétrie, il faudra charger l'image puis appliquer l'équation de conversion en profondeur sur l'ensemble de l'image.

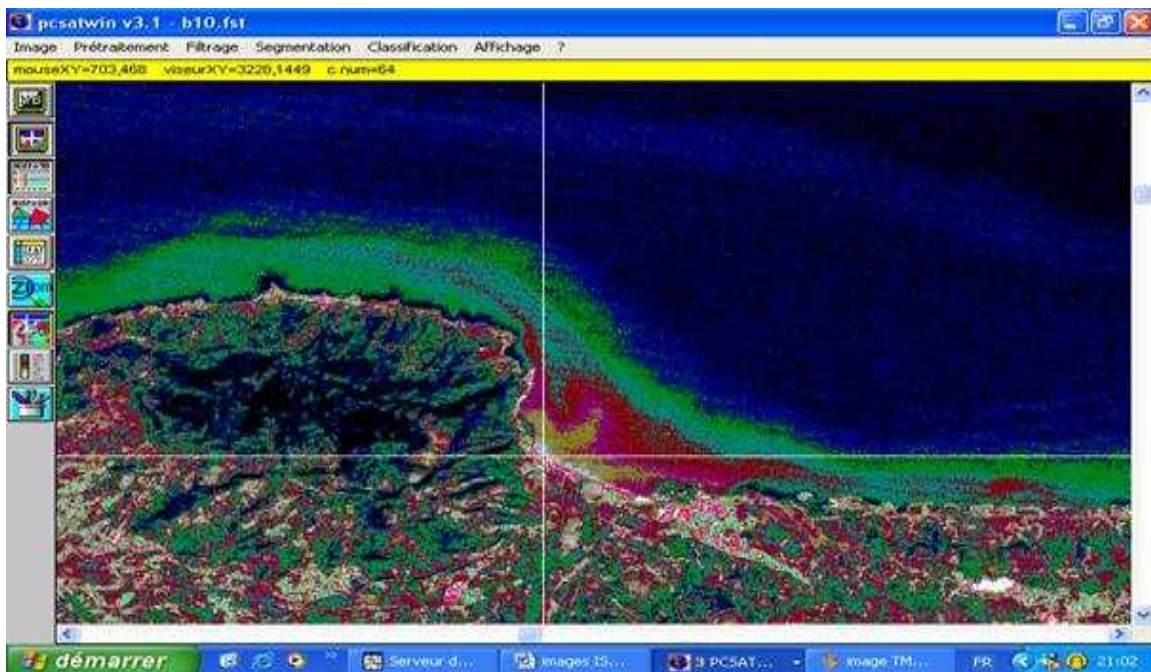


Figure 62: Image satellitaire traitée de la baie d'Alger (Landsat-TM1)

$$R=-0.9926 \quad \text{Prof (Z)} = -40,94 - 276,0 * \text{MSS4}$$

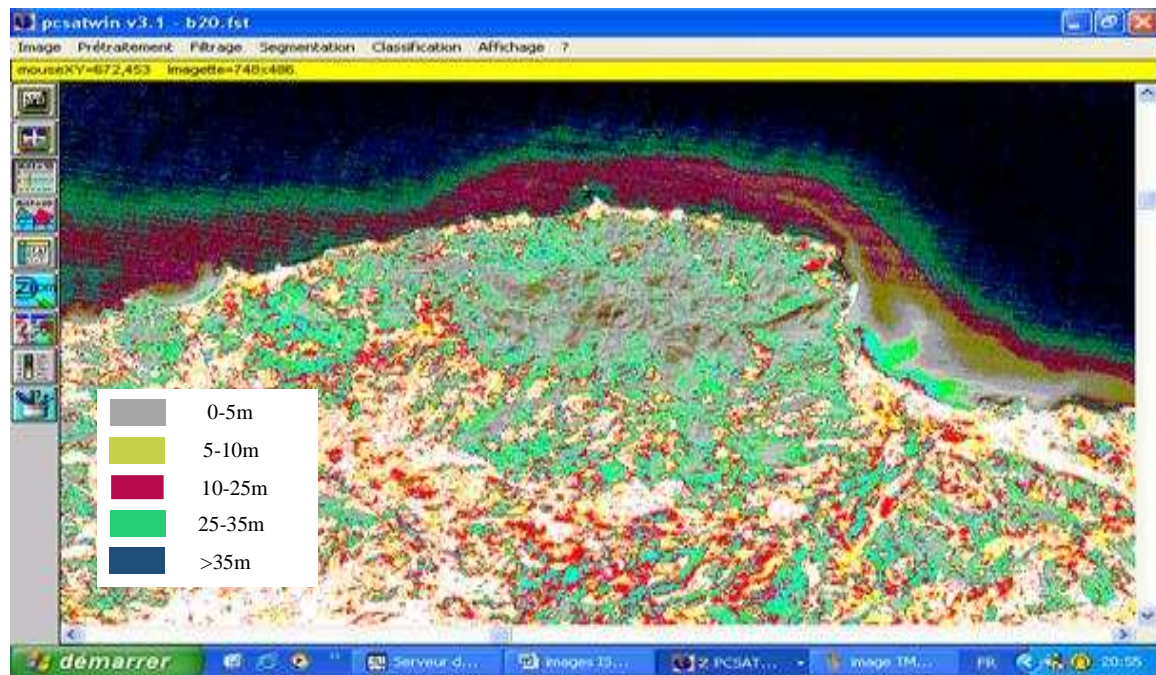


Figure 63: Carte bathymétrique de la baie d'Alger extraite à partir d'une image traitée satellite Landsat-TM1

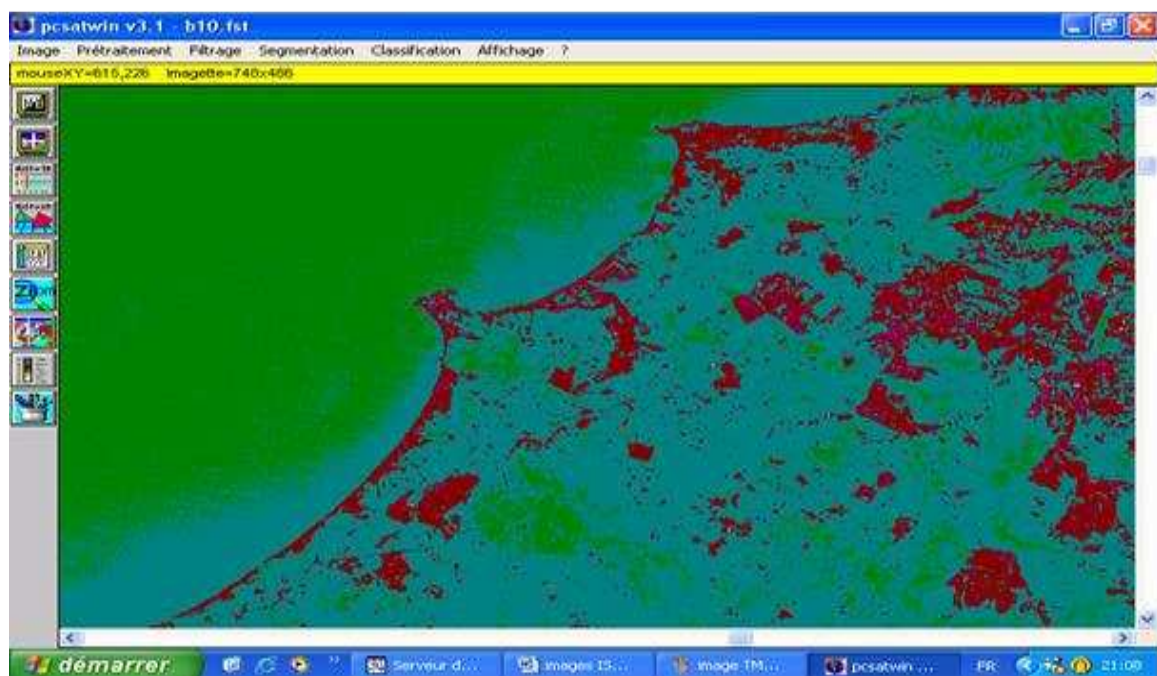


Figure 64: Image satellitaire traité de la baie de Bou-Ismaïl (Landsat-TM1)



Figure 65: carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl extraite à partir d'une image traitée satellite Landsat-TM1

Conclusion

Conclusion

La connaissance de la topographie du fond marin est très importante pour plusieurs applications posées par l'étude bathymétrique. Les techniques classiques utilisent le sondage comme un moyen de cartographie du fond marin mais cette technique est coûteuse.

L'utilisation du modèle de simulation développé montre pour chaque satellite d'Observation (SPOT, Landsat MSS & TM) les possibilités qu'ils peuvent offrir en domaine de bathymétrie.

Lorsque les eaux littorales sont chargées de troubles abondants, il est impossible de recueillir dans le visible des informations sur la profondeur des fonds littoraux. Lorsque les eaux sont peu turbides et peu profondes, il est possible de déterminer la profondeur et la nature des fonds en utilisant les bandes spectrales proches de 0,55 μm , comme le canal 2 de Thematic Mapper des Landsat 4 et 5 ou le canal XS1 HRV.

Une estimation correcte de la concentration en matériaux dissous ou en suspension peut également servir au développement de méthodes de télédétection destinées à cartographier les types de fonds marins et la profondeur de l'eau. L'analyse corrélative a rendu réalisable la détermination de la bathymétrie à partir du satellite SPOT.

En application, un ensemble de relations statistiques est obtenu pour déterminer la bathymétrie d'une zone côtière de l'Algérie. Le rayonnement électromagnétique en jour clair et pour une mer non agitée peut pénétrer jusqu'à 25 mètres de profondeur et sera rétrodiffusé en direction du capteur. Le modèle fournit des images mono-canal où chaque pixel du domaine maritime est représenté non plus par une radiométrie *in situ* mais plutôt par une profondeur calculée.

En effet, la modélisation entre les réflectances calculées à partir des images, les mesures *in situ* et les résultats des analyses au laboratoire montre bien les fortes corrélations obtenues sur les canaux visibles IRS1C, SPOT et LANDSAT. Les relations des différents ajustements sont hautement significatives, elles rendent possible l'interpolation des valeurs mesurées sur le terrain, donc une véritable cartographie des variables caractéristiques des eaux.

Nous avons présenté un travail qui peut répondre sur une éventuelle possibilité d'utiliser l'imagerie satellitaire pour la quantification de la bathymétrie. La télédétection offre, en effet,

beaucoup de potentiel pour le suivi de la bathymétrie des zones côtières ; les images à très hautes résolutions spatiale et spectrale fournissent une information quantitative et continue sur le milieu. D'autre part, l'observation continue du milieu nécessite le traitement de plusieurs scènes. Des images de différentes périodes sont alors nécessaires pour corrélérer les valeurs spectrales des sites sur l'image aux résultats terrain, mais malheureusement jusqu'à présent, il n'est toujours pas facile d'obtenir plusieurs images à haute résolution aux époques désirées.

Les résultats reliant les paramètres aux réflectances sont obtenus en utilisant une seule image, cela implique que nos résultats sont à l'étape expérimentale et nécessitent un approfondissement afin de déterminer l'intervalle de confiance de l'application en comparant les la bathymétrie calculée à partir de l'image aux paramètres mesurés in situ.

On conçoit donc par sa nature synoptique, répétitive et multispectrale, la télédétection se présente comme un outil potentiellement intéressant pour rendre plus facile les applications en océanographie. La technologie actuelle des satellites et capteurs permet dans certaines mesures l'application efficace aux sciences de l'eau. Des utilisations pré-opérationnelles voient actuellement le jour, les données d'observation de la Terre sont et seront de plus en plus intégrées dans des systèmes dédiés à l'étude des eaux côtières.

Sommaire

Introduction.....	8
-------------------	---

Chapitre I

1. Zone d'étude.....	12
1.1. Situation géographique	12
1.2. Description de la zone	12
2. Analyse et mesure des paramètres physico-chimiques	20
2.1. Transparence de l'eau	20
2.2. Turbidité (Tu).....	20
2.3. Matières en suspension (MES)	21
2.4. Couleur de l'eau et paramètre biologique	22
2.5. Chlorophylle	22
1. Principes de la télédétection	25
1.1. Définition de la télédétection.....	25
1.2. Eléments essentiels en Télédétection.....	25
1.3. Systèmes de télédétection	25
1.4. Bases physiques de la télédétection	26
1.5. Les perturbations atmosphériques	28
1.6. Interaction avec la matière	29
1.7. Interaction rayonnement bathymétrie	31
1.8. Les effets de la profondeur	32
2. Les satellites	32
2.1. Géostationnaires et à bas défilement	32
2.2. Les satellites à bas défilement.....	32
3. Etude bathymétrique des zones côtières.....	36
3.1. Propriétés optiques des eaux de mer	36
3.2. Propriétés optiques de l'eau dans le domaine des courtes longueurs d'onde.....	38
3.3. Propriétés optiques des surfaces d'eau	39
3.4. Réflectance des surfaces marines	41
3.5. Problèmes posés par l'étude bathymétrique.....	41
3.6. Etude du rayonnement sur le trajet sol atmosphère satellite	44
4. L'imagerie satellitaire	45
4.1. Traitement numérique des images	46
1. Variation des paramètres physico-chimiques et indice de pollution	48

1.1. Baie d'Alger	48
1.2. Baie de Bou-Ismaïl	50
2. Détermination de la bathymétrie par simulation	53
2.1. Présentation du logiciel SDDS	53
2.2. Analyse de la variation de la luminance	55
2.3. Applications aux stations.....	56
2.4. Effet de la profondeur	57
2.5. Conversion en réflectance des données satellitaires brutes	60
2.6. Analyse corrélative et modélisation.....	67
2.7. Interprétation des résultats de l'analyse.....	69
2.8. Ajustement et graphiques des profondeurs en fonction des réflectances $Prof(Z)=f(Réf)$	70
3. Application PCSATWIN :	71
Conclusion.....	75

Table des figures :

Figure 1: situation géographique de la zone côtier Algéroise	12
Figure 2: situation géographique de la baie d'Alger	13
Figure 3: bilan des courants de dérive et dynamique sédimentaire dans la baie d'Alger (LEM, 1998)....	14
Figure 4: Nature du fond de la baie d'Alger. (Maouche, 1987).....	15
Figure 5: photo représente la situation géographique de la baie d'El Djamila (Google Earth, 2013).....	16
Figure 6: carte représente la situation géographique de la baie El Djamila (Bachari, 2009)	16
Figure 7: situation géographique de la baie de Bou-Ismaïl.....	17
Figure 8: Carte topographique de la baie de Bou-Ismaïl (leclaire,1972).....	18
Figure 9: carte sédimentologies de la baie de Bou-Ismaïl (LEM, 1998).....	19
Figure 10: structure chimique de la chlorophylle.....	23
Figure 11: ondes électromagnétiques. (Stéphane, 2008).....	27
Figure 12: Détails des domaines spectraux	27
Figure 13 : interaction rayonnement-matière (Harbi R et al., 2009)	32
Figure 14: satellite défilant ou héliosynchrone	33
Figure 15: Satellite LANDSAT	35
Figure 16: satellite spot	35
Figure 17: Schéma du rayonnement solaire dans la masse d'eau.....	37
Figure 18 : le pixel dans l'image numérique.....	46
Figure 19 : Distribution spatiale de MES à la surface de la baie d'Alger.....	48
Figure 20 : Distribution spatiale de la turbidité à la surface de la baie d'Alger.	49
Figure 21: Distribution spatiale de la teneur en chlorophylle a totale à la surface.....	49
Figure 22: variation des MES dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismaïl	50
Figure 23 : spatialisation de MES dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismaïl.	50
Figure 24 : Distribution spatiale de la salinité à la surface de la baie de Bou-Ismaïl.....	51
Figure 25: Distribution spatiale du pourcentage de saturation en oxygène à la surface	52
Figure 26: spatialisation de l'O ₂ dissous dans l'eau de mer de la baie de Bou-Ismaïl.....	52
Figure 27: Présentation du logiciel « SDDS » d'application de la simulation des données satellites..	53
Figure 28: Application de SDDS, les paramètres d'entrée sont des données atmosphériques.....	55
Figure 29: Variation de la luminance sur les différents canaux satellitaires par station	56
Figure 30: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SOPT).....	58
Figure 31: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SOPT) pour Téta v=30	58
Figure 32: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM).....	58
Figure 33: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM) pour Téta v=30.....	59
Figure 34: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau	59
Figure 35: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau.....	59
Figure 36: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS1).....	61
Figure 37: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS2).....	62
Figure 38: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS3).....	62
Figure 39: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS4).....	62
Figure 40: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS5).....	62
Figure 41: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS6).....	63
Figure 42: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS7).....	63
Figure 43: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM1).....	63
Figure 44: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM2).....	63

Figure 45: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM3).....	64
Figure 46: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM4).....	64
Figure 47: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS1).....	64
Figure 48: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS2).....	64
Figure 49: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (XS3).....	65
Figure 50: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM1).....	65
Figure 51: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM2).....	65
Figure 52: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM3).....	65
Figure 53: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (TM4).....	66
Figure 54: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS4).....	66
Figure 55: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS5).....	66
Figure 56: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS6).....	66
Figure 57: Distribution de la réflectance en fonction de la profondeur (MSS7).....	67
Figure 58: courbes de corrélation des profondeurs de la baie Bou-Ismaïl aux canaux	68
Figure 59 : Ajustement linéaire entre réflectance et profondeur, après inversion des équations	70
Figure 60 : Application des modèles d'inversion de la bathymétrie sur PCASATWIN.....	71
Figure 61: Traitement de l'image satellite Landsat TM1	72
Figure 62: Image satellitaire traité de la baie d'Alger (Landsat-TM1)	72
Figure 63: Carte bathymétrique de la baie d'Alger extraite à partir d'une image.....	73
Figure 64: Image satellitaire traité de la baie de Bou-Ismaïl (Landsat-TM1).....	73
Figure 65: carte bathymétrique de la baie de Bou-Ismaïl extraite à partir d'une image	74

Liste des tableaux

Tableau 1: couleur de l'eau en fonction des particules présentes (Hoareau, 2005)	22
Tableau 2 : les principales fenêtres atmosphérique.....	29
Tableau 3 caractéristique et applications des bandes spectrales du capteur TM.....	34
Tableau 4: Caractéristiques des capteurs du satellite SPOT	36
Tableau 5: Tableau synoptique des composantes de l'atténuation (Jerlov,1964)	42
Tableau 6: Paramètre d'entrées pour le SDDS	55
Tableau 7 : Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les trois canaux du satellite Spot.....	56
Tableau 8: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les six canaux du satellite Landsat-TM.....	57
Tableau 9: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les quatre canaux du satellite Landsat-MSS (Baie Bou-Ismaïl).....	57
Tableau 10 : relation de conversion en comptes numérique et en réflectances dans les différents canaux satellitaire	61
Tableau 11 : Résultats des analyses corrélatives Téta $V = 10$	68
Tableau 12: Résultats des analyses corrélatives Téta $V = 30$	69
Tableau 13 : Ajustement linéaire $prof(Z)=f(Réf)$ (Baie de Bou-Ismaïl)	71

Références bibliographiques

Références bibliographiques

AL SID CHIKH, S et al. (2009). Diagnostic du littoral ouest Algérois pour une gestion intégrée; The 5th International Symposium on Sandy beaches, which will be held in Rabat, Morocco 19-23 October 2009.

AMINOT, A et CHAUSSE-PIED, M. (1983). Manuel des analyses chimiques en milieu marin. France: CNEXO. 395, p.

ANTOINE, D. (2008). Assessment of uncertainty in the ocean reflectance determined by three satellite ocean sensors (MERIS, SeaWiFS and MODIS-A) at an offshore site in the Mediterranean Sea (BOUSSOLE Project). J. Geophys. Res., 10.1029/2007JC004472.

BACHARI N.E.I. et al. (2004). Contribution of multispectral satellite imagery to the bathymétrie analysis of coastal sea bottom. MWWD-IEMES 3^r International Conférence on Marine Waste Water Discharges and Marine Environment CATANIA 27/09-2/10.

BACHARI N.E.I.(1999). «*Méthodologie d'analyse des données satellitaires en utilisant des données multi-sources* » Thèse de Doctorat d'état en Physique; Rayonnement-Matière, 11 avril 1999 , Oran USTO, Algérie.222p.

BACHARI N.E.I., et al. (1997) Développement du logiciel d'analyse spectrale et temporelle des images satellite type SPOT, LANDSAT et METEOSAT. Logiciel PCSATWIN (remote sensing pictures multispectral analyser) A.M.S.E.J Vol. 38,(1,2).pp. 15-38 Bathymetry from space: Rationale and requirements for a new, high-resolution altimetric mission C.R.Géoscience 338:1049-1062.

BELKESSA, R. (1999). Causes et conséquences de l'érosion marine sur la côte Algérienne. *Revue symbiose* Alger.

BONN, F. et ROCHON, G. (1996). *Précis de Télédétection Vol 2, Applications Thématiques.* Presses de l'Université du Québec UREF, 633

BRICAUD, A. (1981). Absorption by dissolved organic matter of the sea (yellow substance) in the UV and visible domains *Limnology and Oceanography*, vol. 26, pp. 43-53

DEKKER, A.G. (1991). *The remote sensign Loosdrecht Lakes project. Institute of Earth Sciences Vrije Universities Amsterdam, The Netherlands, Mars, 105 pages.*

DRIDI, K. et MEZIANI, S. (2003). Apport de la télédétection pour déterminer la bathymétrie des zones I littorales, Application baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état En Aménagement du littoral. ISMAL. I. pp. 3-93

FERDINAND.B et GUY, R. (1996). Précis de télédétection, principes et méthodes, Vol 1.pp 1-3

GIRARD, M.C. et GIRARD C.M. (1989). Télédétection appliquée. Zones tempérées et intertropicales. Edition Masson, coll. scien. Agronomiques.pp.257

GOURIYOU, T. (2006). Bathymétrie par imagerie SPOT : Application aux passes du bassin d'Arcachon UMR EPOC (n° 5805) _CNRS. Université Bordeaux 1. pp.23

HALMANN, M.M. (1996). Photo degradation of waters pollutants.pp.301

HOAREAU, A. (2005). Origine, typologie et dynamique des panaches chlorophylliens en Méditerranée orientale. *Rapport de stage, Université de Genève, Allemagne, pp. 102.*

HOUMA, F et al. (2010). Contribution of Multispectral Satellite Imagery to thé Bathymétrie Analysis of Coastal sea bottom. Application to Algiers bay, Algeria. *Journal Physical Chemical News, Maroc.*

HOUMA, F. (2005). Caractérisation des polluants de la côte oranaise et algéroise par analyse physico-chimique et corrélation avec les données satellites. *Thèse Doctorat d'état. FSB/USTHB.*

HOUMA, F. (2009). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de L'imagerie satellitaire. Thèse de Doctorat Sciences de l'Univers et Environnement et télédétection, Paris XII, pp.235

HOUMA, F. (2009). Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de d'imagerie satellitaire. Thèse de Doctorat Sciences de l'Univers et Environnement et télédétection, paris XII, pp. 235

IBRAHIM, M. et CRACKNELL, A P. (1990). Bathymetry using Landsat MSS data of Penang Island in Malaysia. *International Journal of Remote Sensing*, vol.2, (4), pp.557-559.

IVANOFF, A. (1972). Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. *Edt Librairie Vuibert*. Tome I. pp.208

JERLOV, N.G. (1964). "Optical Classification of Ocean Water", dans physical Aspect of Light in the sea. Univ. Hawaii Press, Honolulu, Hawaii, pp.44-49.

KRISHNAMOORTHY, R et al. (1988). Indian Remote Sensing Satellite Data Application Potential in Coastal Studies, 27th *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, pp. 119-122.

LACAZE, J.C. (1996). La pollution des mers. *Edition : DOMINOS Flammarion, France, pp.128*

Leclaire, L. (1972). La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (Pré-continent Algérien).pp. 183-205

Legouic M., 1987. Utilisation de Spot en hydrographie.SPOT1 : Utilisation des images, bilan, résultats. Paris, Novembre 1987, Cepadues -Editions, Toulouse, p.1063-1068.

Lemoalle J. Application des images Landsat à la courbe bathymétrique du la Tchad. Cahier ORSTOM, série Hydrobiologie

LOUBERSAC, L et al. (1989). « Nature des fonds et bathymétrie du lagon de l'atoll d'Aitutaki (îles Cook) d'après des données SPOT-1 », *Photo-interprétation*, (5-6). pp. 29-40.

LOUBERSAC, L et al. (1991). « Integrated Study of Aitutaki's Lagoon (Cook Island) Using SPOT Satellite Data and in-situ Measurements: Bathymetric Modelling », *Geocarto International*, vol.6. (2). pp. 282-283.

MAOUCHE, S. (1987). Mécanismes hydro sédimentaires en baie d'Alger (Algérie) : approche sédimentologique, géochimique et traitement statistique. *Thèse de 3^{ème} cycle, Univ. Perpignan*, pp.214

MERTES, L.A.K et al. (1993). Estimating suspended sediment concentrations in surface waters of the Amazon river wetlands from Landsat images. *Remote Sensing of Environment*, vol. 43, no 3, p. 281-301

MILLARD, F.L. (1986). Use of remote sensing for hydrographic exploration coll. Hydrographie exploration and bathymétrie charting G.H.I. Hamburg.p53-65 in: Les nouvelles frontières de télédétection océanique (F Doumenge): Actes du colloque du 17décembre 1993, pp.124.

MINGHELLI-ROMAN, A et al. (2007). Bathymetric estimation using Meris images in coastal sea waters .*Geosciences and remote sensing letters*, vol.14. (2)

MOREL, A. et GENTILI, B. (2004). Radiation transport within oceanic (case 1) water; *Journal of Geophysical Research*, VOL. 109, C06008, doi. 10.1029/2003JC002259, 22pages.

PRIEUR, L. (1975). Relations théoriques entre le facteur de réflexion diffuse de l'eau de mer, à diverses profondeurs et les caractéristiques optiques. UGGI.XVI^e Ass. Gle. Grenoble. Août 1975. Symposium Interdisciplinaire d'Optique Océanique.I.S.30, (13).pp. 250-251.

PRIEUR, L. et SATHYENDRANATH, S. (1981). « An optical classification of coastal and oceanic waters based on the spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter and other particulate materials » , *Limnology and Oceanography*, vol.26(4). pp. 671-689.

RODIER, J. (2005). L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. *Edition: DUNOD, 8^{sème} édition, Paris, pp.1384.*

RODIER. (1996). L'analyse de l'eau (eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer)

SANDWELL, D et al. (2006). SEGUIS, et al. (1991). Contribution de l'imagerie satellitaire à l'optimisation des aménagements hydro-agricoles dans la moyenne vallée du Sénégal.

SEGUES, L. (1991). Contribution de l'image satellitaire à l'optimisation des aménagements hydro-agricol dans la moyenne vallé du Sénégal

SMITH, R.C et BAKER K.S. (1981). Optical properties of the clearest natural waters (200-800 nm). *Applied Optics*, vol. 20 (2), pp. 177-184.

SPITZER, D et DIRKS, R.W.J.(1986). Classification of composition and bathymetry of shallow waters by passive remote sensing. *Pro. Symp .Rem. Sens. for Res. Devel. Envir. Manag.* Enschede.pp.775-777.

SUGIMURA, T et TANAKA S. (1998). Change Detection of Small Size Area Using IRS1-C/Pan and the other different Spatial Resolution Sensors. 27th International Symposium on Remote Sensing of Environment, pp.396-398.

TANRE, D et al. (1990). Technical note, Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: The SSSSS, *Int. J. Rem. Sens*, 11, 659-668.

TASSAN, S. (1988). «The Effect of Dissolved “yellow substance” on the Quantitative Retrieval of Chlorophyll and Total Suspended Sediment Concentrations from Remote Measurements of water Color », *International Journal of Remote sensing*,(9). pp. 787-797.

VERGER, F.(1989). L'évolution de la télédétection satellitaire concernant les milieux littoraux Télédétection en francophonie .Ed. AUPELF-UREF .Paris, pp. 111-115.

Annexes

Tableaux : Valeurs de luminance des canaux pour les trois satellites (SPOT, LANDSAT-TM, LANDSAT-MSS)

Station 2

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,908	39,089	12,049	62,156	53,368	29,275	12,343	1,909	0,648	56,824	37,586	15,377	9,572
5	46,172	15,779	4,376	56,131	38,611	12,06	4,604	0,16	0,045	45,925	16,022	7,378	3,309
20	32,604	13,303	4,373	43,527	25,833	11,065	4,601	0,159	0,043	32,542	13,484	7,351	3,307

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,047	38,593	11,949	61,227	52,56	28,959	12,242	1,892	0,643	55,964	37,108	15,245	9,478
5	45,59	15,729	4,376	55,376	38,173	12,042	4,604	0,16	0,045	45,348	15,968	7,377	3,309
20	32,388	13,303	4,373	43,134	25,728	11,065	4,601	0,159	0,043	32,327	13,484	7,351	3,307

Station 3

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,656	38,918	11,963	61,855	53,144	29,098	12,253	1,909	0,648	56,573	37,408	15,236	9,518
5	45,849	15,494	4,265	55,786	38,292	11,807	4,488	0,156	0,043	45,601	15,737	7,203	3,228
20	32,186	13,006	4,262	43,089	25,428	10,808	4,485	0,155	0,042	32,125	13,185	7,177	3,225

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,79	38,42	11,863	60,92	52,33	28,781	12,151	1,892	0,643	55,707	36,929	15,103	9,421
5	45,263	15,444	4,265	55,025	37,851	11,789	4,488	0,156	0,043	45,02	15,683	7,203	3,227
20	32,97	13,006	4,262	42,693	25,323	10,808	4,485	0,155	0,042	31,909	13,185	7,177	3,225

Station 4

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,657	38,919	11,964	61,857	53,145	29,099	12,253	1,909	0,648	56,574	37,409	15,237	9,518
5	45,85	15,495	4,265	55,787	38,293	11,808	4,488	0,156	0,043	45,602	15,738	7,204	3,228
20	32,188	13	4,263	43,091	25,43	10,809	4,486	0,155	0,042	32,127	13,186	7,177	3,226

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,791	38,421	11,846	60,921	52,331	28,782	12,152	1,782	0,643	55,708	36,929	15,104	9,421
5	45,264	15,446	4,265	55,027	37,852	11,79	4,488	0,156	0,043	45,022	15,684	7,204	3,228
20	31,971	13	4,263	42,695	25,325	10,809	4,486	0,155	0,042	31,91	13,186	7,177	3,226

Station 5

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,657	38,919	11,963	61,856	53,144	29,098	12,253	1,909	0,648	56,579	37,409	15,236	9,518
5	45,849	15,494	4,265	55,786	38,292	11,807	4,488	0,156	0,043	45,602	15,737	7,203	3,228
20	32,187	13,006	4,262	43,09	25,429	10,808	4,486	0,155	0,042	32,126	13,185	7,177	3,226

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,79	38,42	11,864	61,92	52,331	28,781	12,151	1,892	0,643	55,707	36,929	15,104	9,421
5	45,263	15,445	4,265	55,026	37,852	11,789	4,488	0,156	0,043	45,021	15,683	7,203	3,228
20	31,97	13,006	4,262	42,694	25,324	10,808	4,486	0,155	0,042	31,909	13,185	7,177	3,226

Station 6

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,84	39,271	11,948	61,84	53,427	29,354	12,243	1,894	0,64	56,757	37,737	15,292	9,478
5	46,084	15,671	4,11	55,853	38,605	11,892	4,339	0,112	0,028	45,837	15,915	7,146	3,076
20	32,53	13,166	4,107	43,328	26,804	10,884	4,336	0,111	0,026	32,467	13,35	7,119	3,074

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,978	38,787	11,856	60,906	52,621	29,05	12,149	1,878	0,636	55,897	37,27	15,166	9,388
5	45,501	15,622	4,11	55,094	38,168	11,874	4,339	0,112	0,028	45,259	15,862	7,146	3,076
20	32,314	13,166	4,107	42,932	25,699	10,884	4,336	0,111	0,026	32,251	13,35	7,119	3,074

Station 7

Téta V=10

1	56,721	38,962	11,985	61,933	53,201	29,143	12,276	1,909	0,648	56,637	37,453	15,272	9,532
5	45,931	15,566	4,293	55,874	38,373	11,871	4,517	0,157	0,044	45,684	15,809	7,247	3,248
20	32,293	13,081	4,29	43,201	25,531	10,873	4,515	0,156	0,042	32,232	13,261	7,221	3,246

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,856	38,464	11,885	60,999	52,389	28,826	12,174	1,892	0,643	55,773	36,974	15,139	9,435
5	45,346	15,517	4,293	55,115	37,933	11,853	4,517	0,157	0,044	45,104	15,755	7,247	3,248
20	32,076	13,081	4,29	42,806	25,426	10,873	4,515	0,156	0,042	32,015	13,261	7,221	3,246

Station 8

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,908	39,09	12,049	62,157	53,369	29,275	12,343	1,909	0,648	56,824	37,586	15,378	9,575
5	46,173	15,773	4,376	56,132	38,612	12,06	4,604	0,16	0,045	45,926	16,022	7,378	3,309
20	32,605	13,304	4,373	43,528	25,834	11,065	4,602	0,159	0,043	32,543	13,484	7,352	3,307

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,048	38,594	11,949	61,228	52,56	28,96	12,242	1,892	0,643	55,965	37,109	15,245	9,479
5	45,591	15,73	4,376	55,377	38,174	12,042	4,604	0,16	0,045	45,349	15,969	7,378	3,309
20	32,389	13,304	4,373	43,135	25,729	11,065	4,602	0,159	0,043	32,327	13,484	7,352	3,307

Station 9

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,719	38,961	11,984	61,931	53,2	29,142	12,275	1,909	0,648	56,636	37,453	15,271	9,532
5	45,93	15,565	4,292	55,873	38,372	11,87	4,517	0,157	0,044	45,682	15,808	7,246	3,248
20	32,291	13,08	4,29	43,199	25,529	10,872	4,514	0,156	0,042	32,229	13,259	7,22	3,246

Téta V=30

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,854	38,463	11,885	60,997	52,388	28,826	12,174	1,892	0,643	55,772	36,973	15,139	9,435
5	45,345	15,515	4,292	55,113	37,932	11,852	4,517	0,157	0,044	45,103	15,754	7,246	3,248
20	32,074	13,08	4,29	42,804	25,424	10,872	4,514	0,156	0,042	32,013	13,259	7,22	3,246

Station 10

Téta V=10

Prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,664	38,923	11,966	61,864	53,151	29,103	12,256	1,909	0,648	56,58	37,414	15,24	9,519
5	45,858	15,502	4,268	55,796	38,301	11,814	4,491	0,156	0,043	45,611	15,745	7,208	3,23
20	32,199	13,015	4,266	43,102	25,44	10,815	4,489	0,155	0,042	32,138	13,194	7,182	3,228

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,797	38,425	11,866	60,929	52,337	28,786	12,154	1,892	0,643	56,715	36,934	15,108	9,422
5	45,273	15,453	4,268	55,036	37,861	11,796	4,491	0,156	0,043	45,03	15,691	7,208	3,23
20	32,982	13,015	4,266	42,706	25,335	10,815	4,489	0,155	0,042	31,921	13,194	7,182	3,228

Station 11

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	58,839	40,588	12,87	64,376	55,164	30,886	13,211	1,91	0,648	58,751	39,139	16,701	10,124
5	48,8	18,396	5,444	58,786	41,302	14,417	5,723	0,203	0,057	48,56	18,635	9,027	4,093
20	36,148	16,044	5,442	47,09	29,09	13,467	5,72	0,202	0,055	36,08	16,231	9,002	4,091

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	58,037	40,116	12,774	63,516	54,378	30,585	13,113	1,894	0,642	57,95	38,685	16,575	10,033
5	48,258	18,349	5,444	58,087	40,893	14,4	5,723	0,203	0,057	48,023	18,585	9,027	4,093
20	35,948	16,044	5,442	46,726	29,259	13,467	5,72	0,202	0,055	35,88	16,231	9,002	4,091

Station 12

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,911	39,091	12,05	62,16	53,371	29,277	12,344	1,909	0,648	56,827	37,588	15,379	9,579
5	46,176	15,782	4,377	56,136	38,615	12,063	4,606	0,16	0,045	45,929	16,025	7,38	3,31
20	32,609	13,307	4,374	43,533	25,838	11,068	4,603	0,159	0,043	32,547	13,488	7,353	3,308

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,051	38,596	11,95	61,231	52,563	28,962	12,243	1,892	0,643	55,967	37,111	15,247	9,479
5	45,594	15,733	4,377	55,381	38,177	12,045	4,605	0,16	0,045	45,352	15,972	7,739	3,31
20	32,394	13,307	4,374	43,14	25,733	11,068	4,603	0,159	0,043	32,332	13,488	7,353	3,308

Station 13

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,663	38,923	11,966	61,864	53,15	29,103	12,255	1,909	0,648	56,58	37,413	15,24	9,519
5	45,858	15,502	4,268	55,796	38,301	11,814	4,491	0,156	0,043	45,61	15,745	7,208	3,23
20	32,198	13,014	4,265	43,102	25,44	10,815	4,489	0,155	0,042	32,137	13,194	7,182	3,228

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,797	38,425	11,866	60,929	52,337	28,786	12,154	1,892	0,643	56,714	37,934	15,107	9,422
5	45,272	15,453	4,268	55,035	37,86	11,796	4,491	0,156	0,043	45,03	15,691	7,208	3,23
20	31,982	13,014	4,265	42,706	25,335	10,815	4,489	0,155	0,042	31,92	13,193	7,182	3,228

Station 14

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,914	39,093	12,051	62,163	53,373	29,279	12,345	1,909	0,648	56,83	37,59	15,381	9,576
5	46,179	15,785	4,378	56,139	38,318	12,065	4,607	0,16	0,045	45,932	16,028	7,382	3,311
20	32,613	13,31	4,376	43,537	25,742	11,071	4,604	0,159	0,043	32,551	13,491	7,355	3,309

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,053	38,597	11,951	61,234	52,565	28,964	12,244	1,892	0,643	56,97	37,112	15,248	9,48
5	45,598	15,736	4,378	55,384	38,181	12,047	4,607	0,16	0,045	45,356	15,975	7,381	3,311
20	32,398	13,31	4,376	43,145	25,738	11,071	4,604	0,159	0,043	32,336	13,491	7,355	3,309

Station 15

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,662	38,922	11,965	61,863	53,149	29,102	12,255	1,909	0,648	56,579	37,413	15,239	9,519
5	45,856	15,501	4,267	55,794	38,299	11,813	4,491	0,156	0,043	45,609	15,743	7,207	3,229
20	32,196	13,013	4,265	43,1	25,438	10,814	4,488	0,155	0,042	32,135	13,192	7,181	3,227

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,796	38,424	11,865	60,927	52,336	28,785	12,153	1,892	0,643	55,713	36,933	15,107	9,422
5	45,271	15,451	4,267	55,034	37,859	11,795	4,491	0,156	0,043	45,028	15,689	7,207	3,229
20	31,98	13,013	4,265	42,704	25,333	10,814	4,488	0,155	0,042	31,918	13,192	7,181	3,227

Station 16

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,917	39,095	12,052	62,167	53,376	29,281	12,347	1,909	0,648	56,833	37,592	15,382	9,577
5	46,183	15,789	4,38	56,143	38,622	12,069	4,608	0,16	0,045	45,936	16,032	7,384	3,312
20	32,619	13,314	4,377	43,543	25,847	11,074	4,606	0,159	0,043	32,557	13,495	7,358	3,31

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,056	38,6	11,952	61,238	52,568	28,966	12,245	1,892	0,643	55,973	37,115	15,25	9,481
5	45,602	15,74	4,38	55,389	38,185	12,051	4,608	0,16	0,045	45,36	15,378	7,384	3,312
20	32,403	13,314	4,377	43,15	25,743	11,074	4,606	0,159	0,043	32,341	13,494	7,358	3,31

Station 17

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,666	38,925	11,966	61,867	53,152	29,104	12,256	1,909	0,648	56,582	37,415	15,241	9,52
5	45,861	15,505	4,269	55,799	38,304	11,816	4,492	0,156	0,043	45,613	15,747	7,21	3,23
20	32,202	13,017	4,266	43,106	25,443	10,817	4,49	0,155	0,042	32,141	13,196	7,183	3,228

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,799	38,426	11,867	60,931	52,339	28,788	12,155	1,892	0,643	55,717	36,935	15,109	9,423
5	45,275	15,455	4,269	55,038	37,863	11,798	4,492	0,156	0,043	45,033	15,693	7,209	3,23
20	31,985	13,017	4,266	42,71	25,338	10,817	4,49	0,155	0,042	31,924	13,196	7,183	3,228

Station 18

Téta V=10

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	56,665	38,925	11,966	61,866	53,152	29,104	12,256	1,909	0,648	56,582	37,415	15,241	9,52
5	45,86	15,504	4,269	55,798	38,303	11,816	4,492	0,156	0,043	45,613	15,747	7,209	3,23
20	32,202	13,017	4,266	43,105	25,443	10,817	4,489	0,155	0,042	32,14	13,196	7,183	3,228

Téta V=30

prof	XS1	XS2	XS3	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	55,799	38,426	11,866	60,931	52,339	28,788	12,155	1,892	0,643	55,716	36,935	15,108	9,423
5	45,275	15,455	4,269	55,038	37,863	11,798	4,492	0,156	0,043	45,032	15,693	7,209	3,23
20	31,985	13,017	4,266	42,709	25,338	10,817	4,489	0,155	0,042	31,924	13,196	7,183	3,228

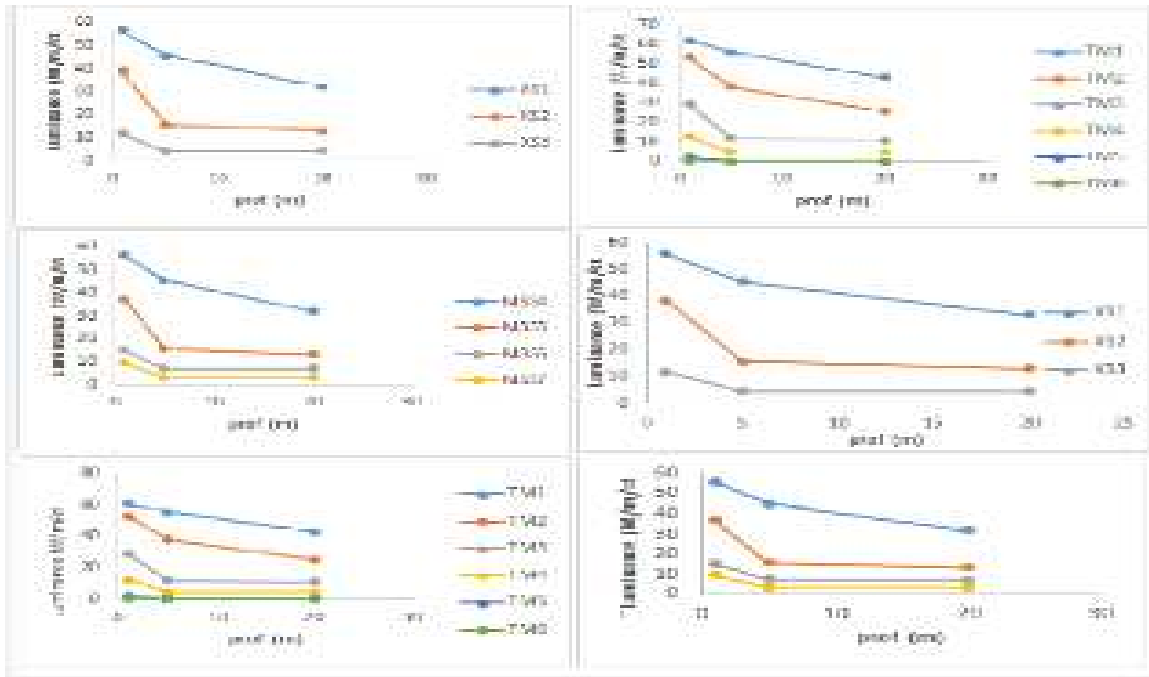


Figure 1 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 2)

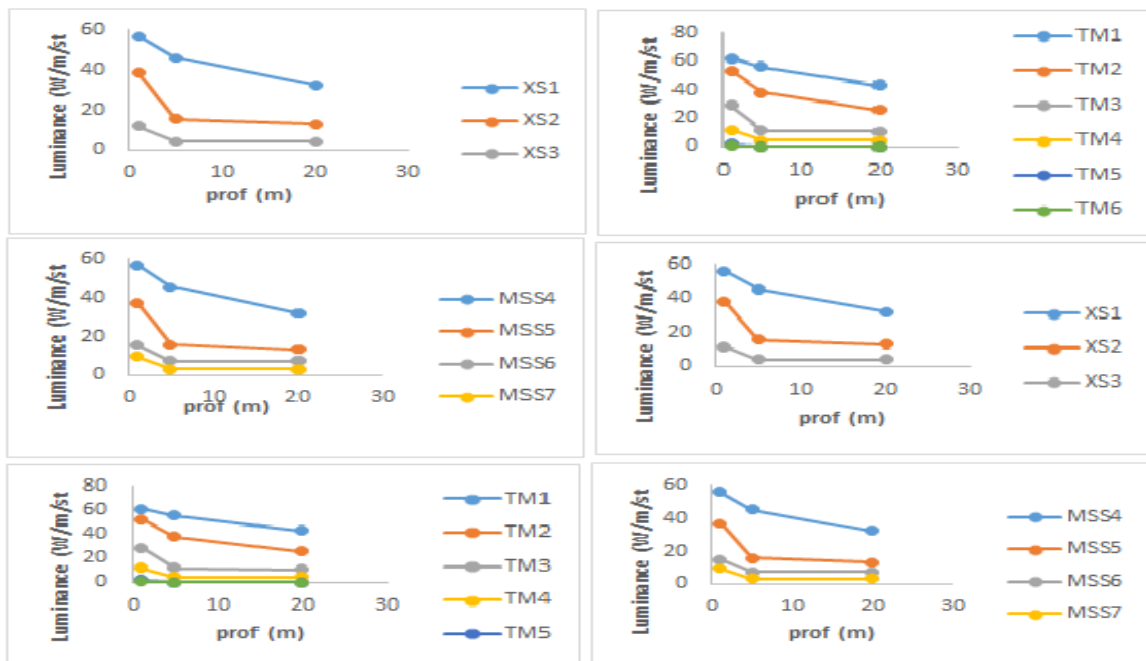


Figure 2 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 3)

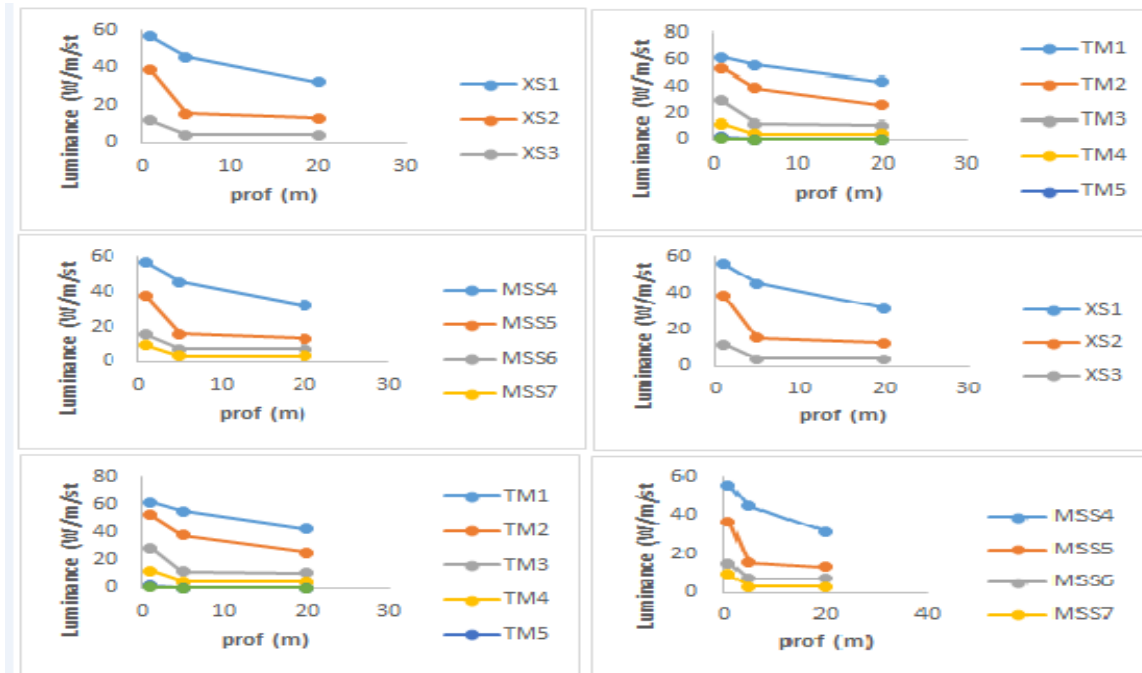


Figure 3 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismail (station 4)

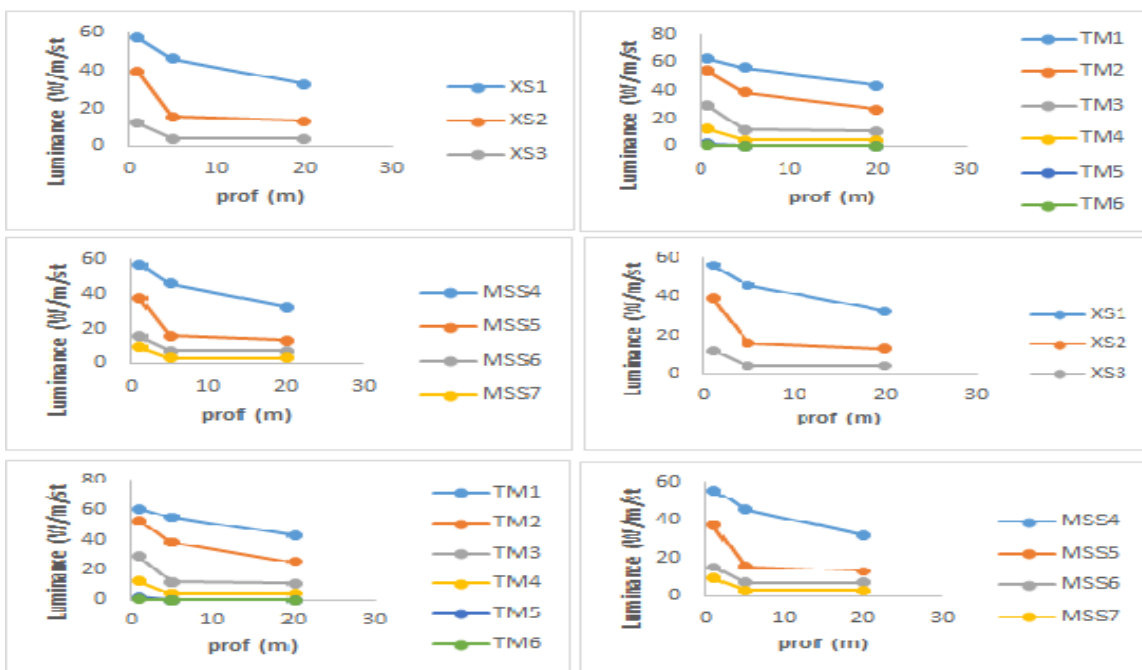


Figure 4 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismail (station 5)

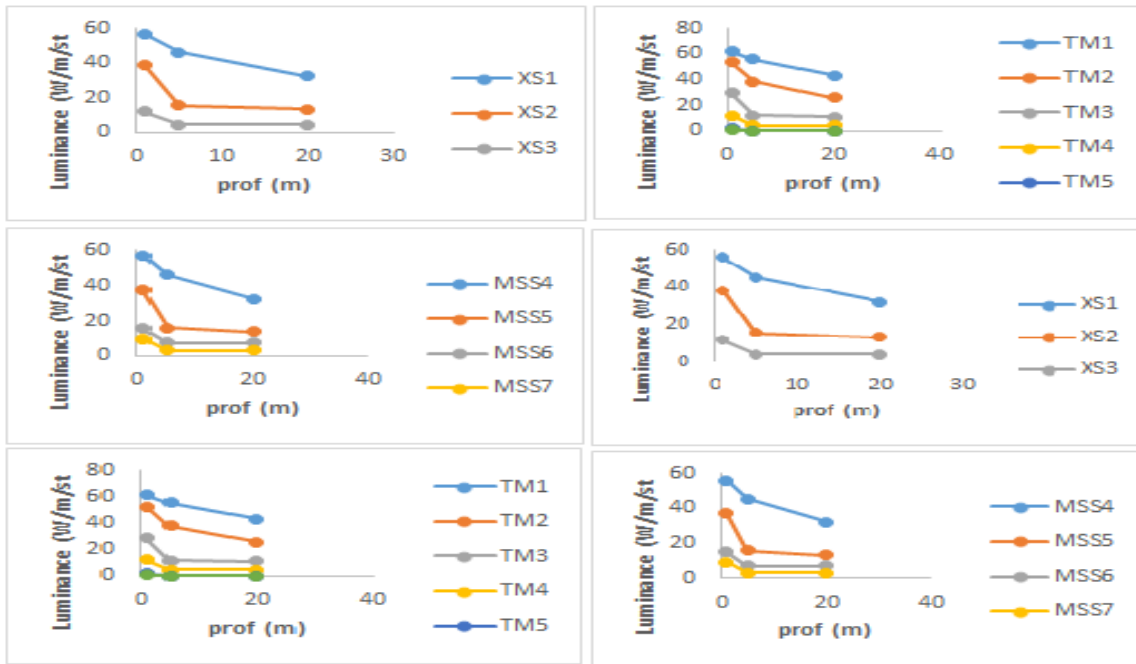


Figure 5 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 6)

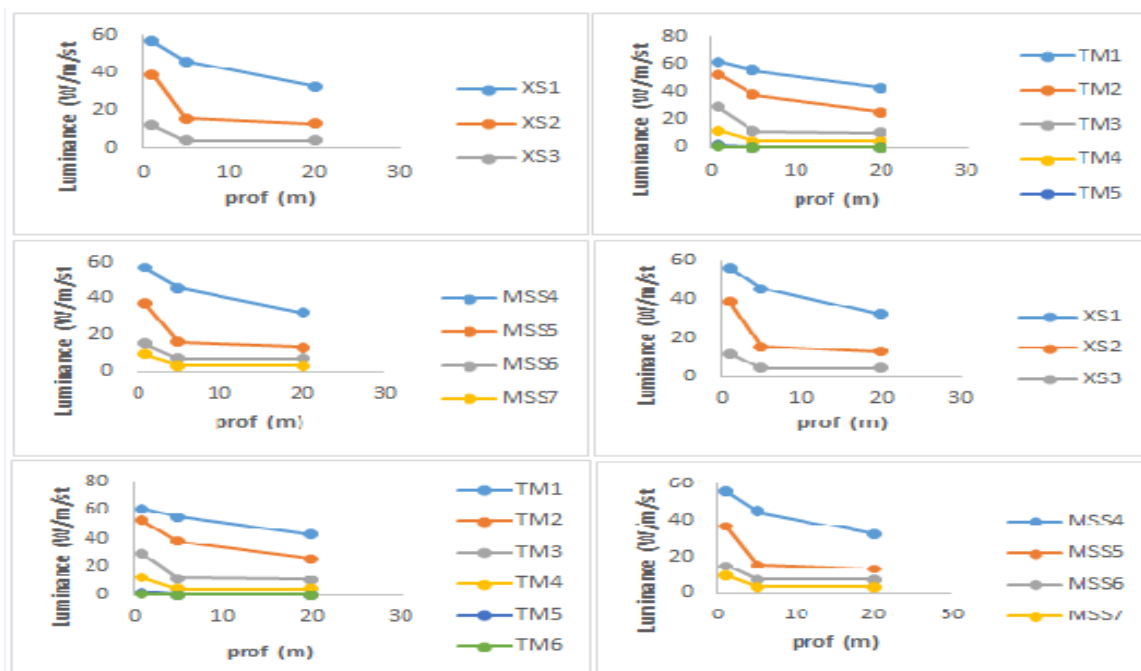


Figure 6 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 7)

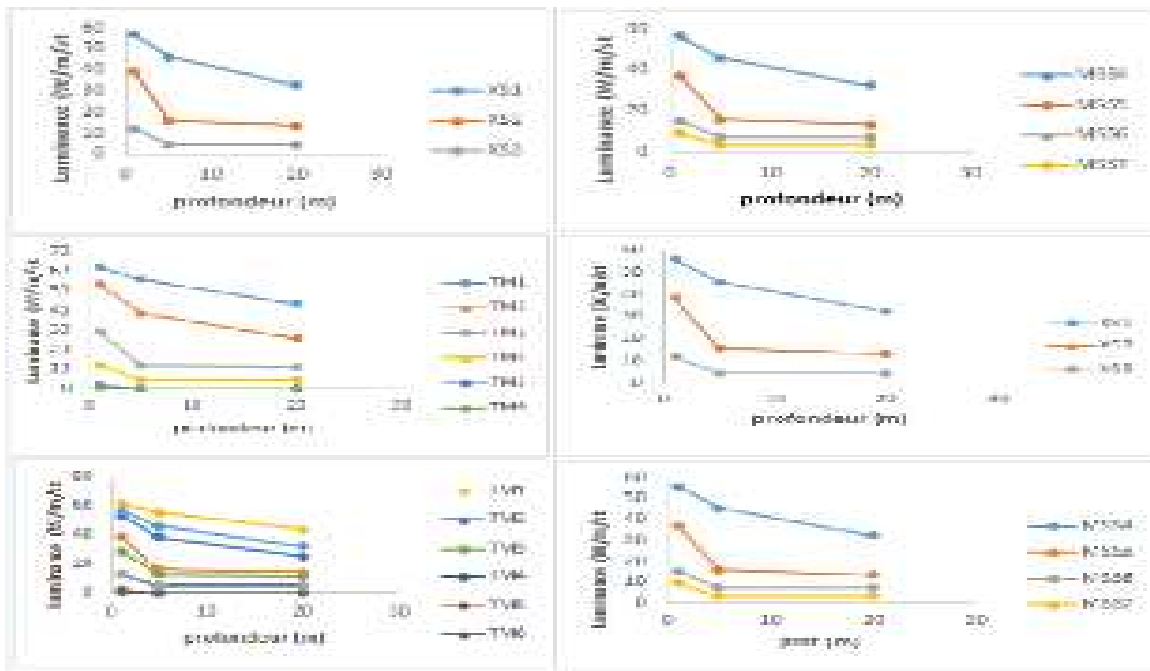


Figure 7 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 8)

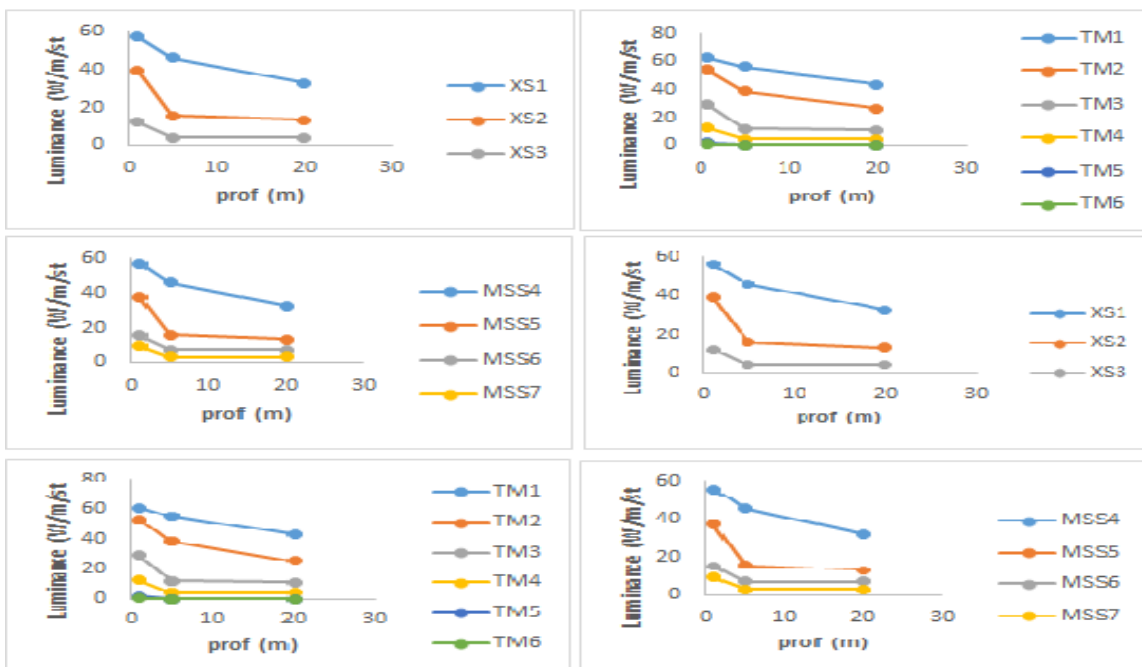


Figure 8 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 9)

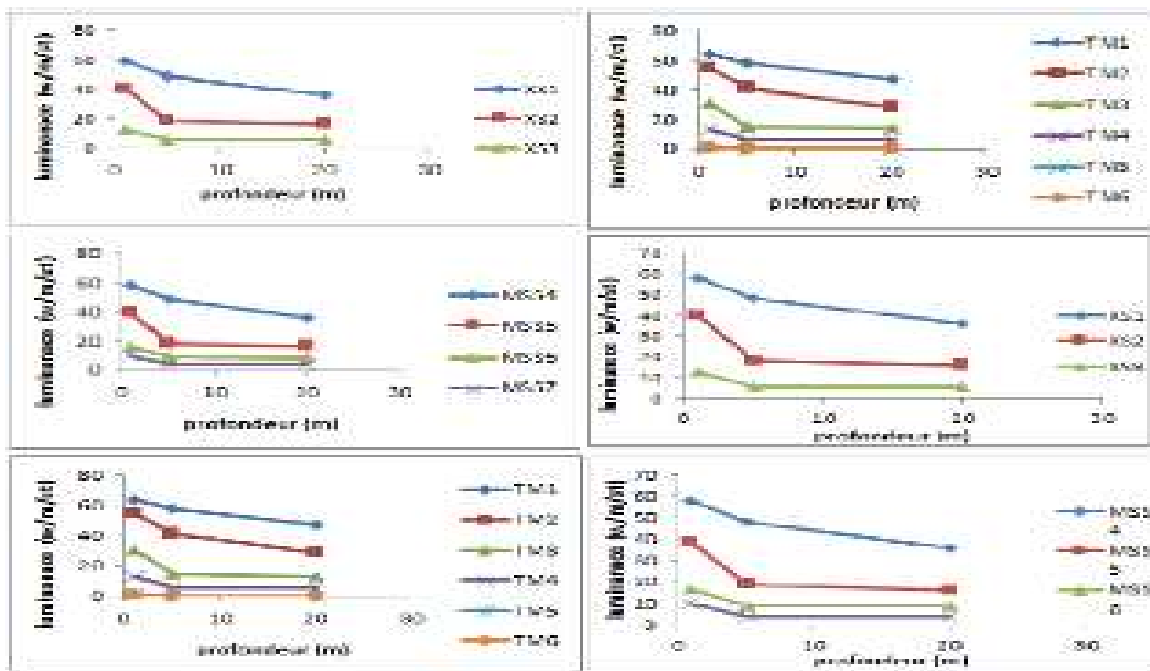


Figure 9 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 10)

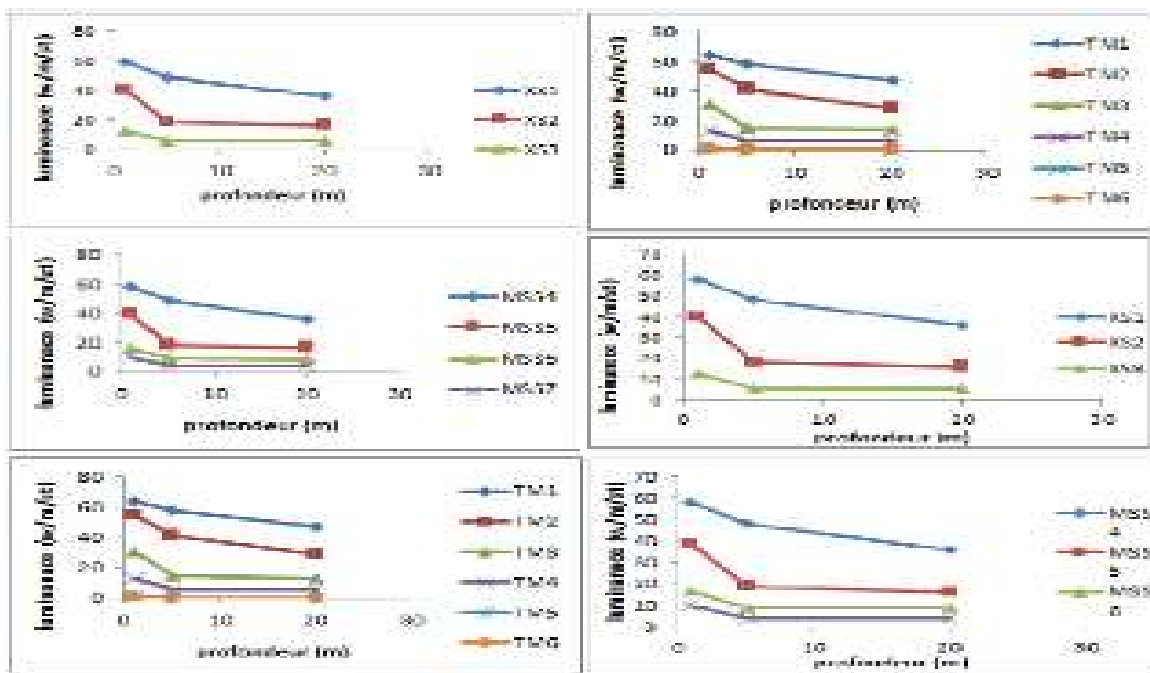


Figure 10 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 11)

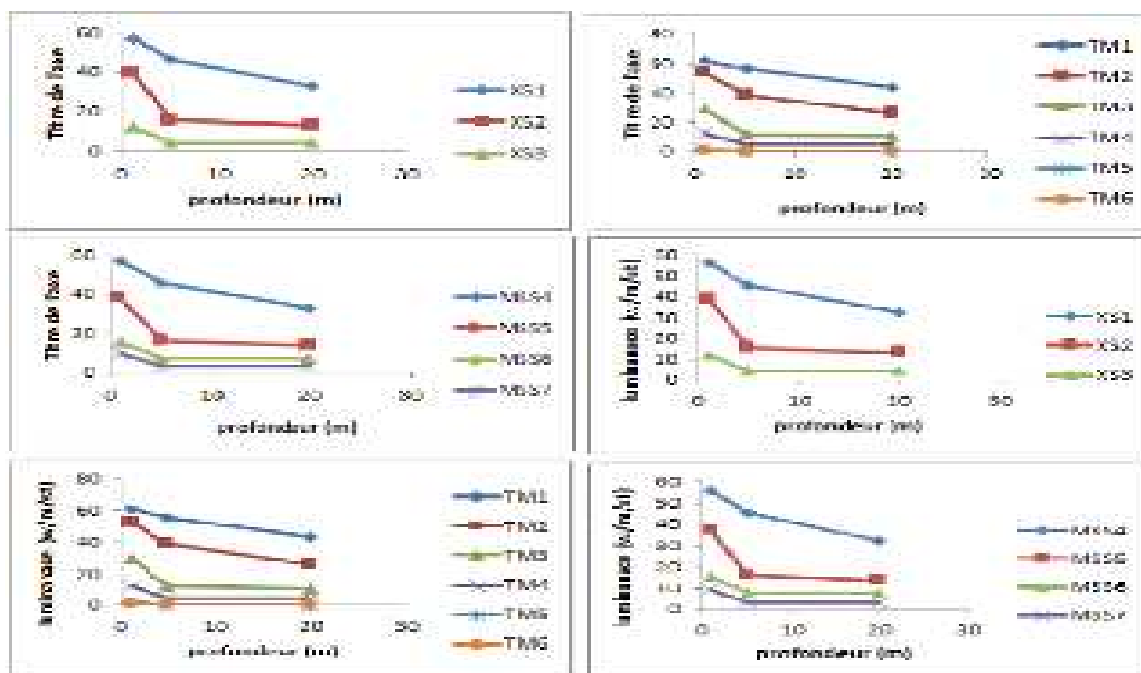


Figure 11 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 12)

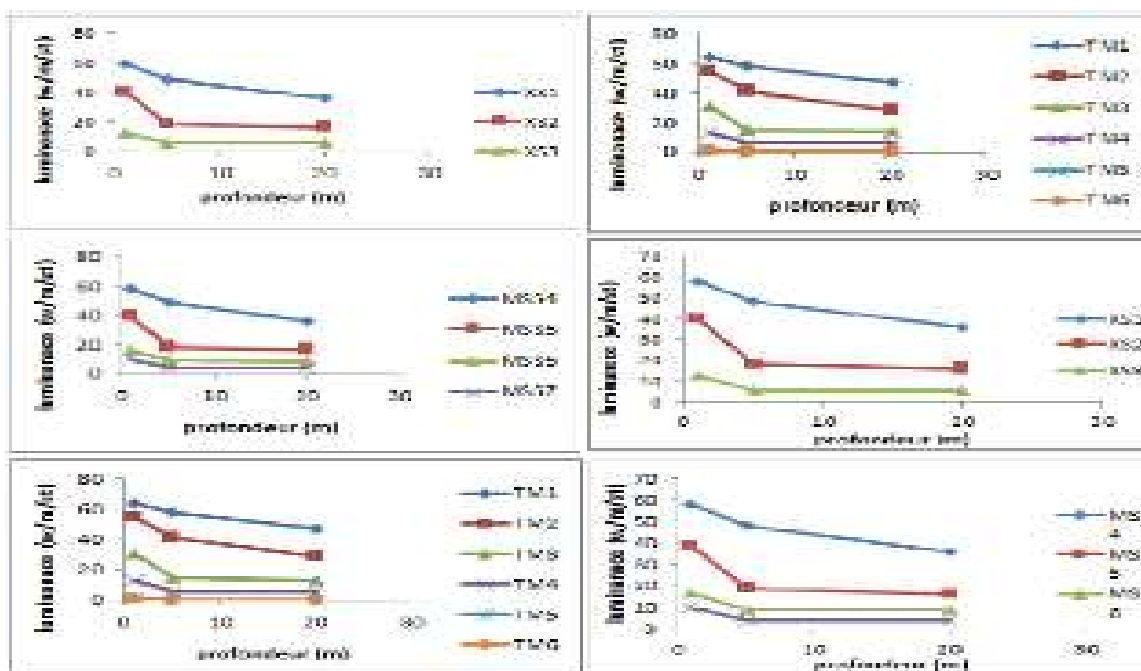


Figure 12 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 13)

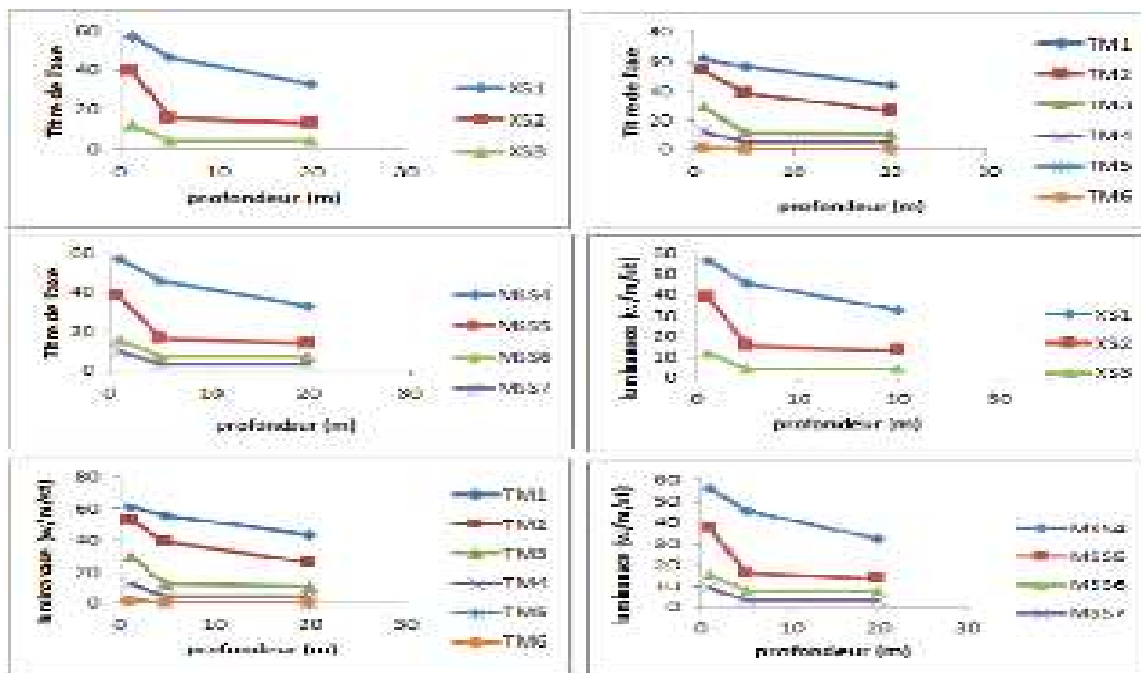


Figure 13 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 14)

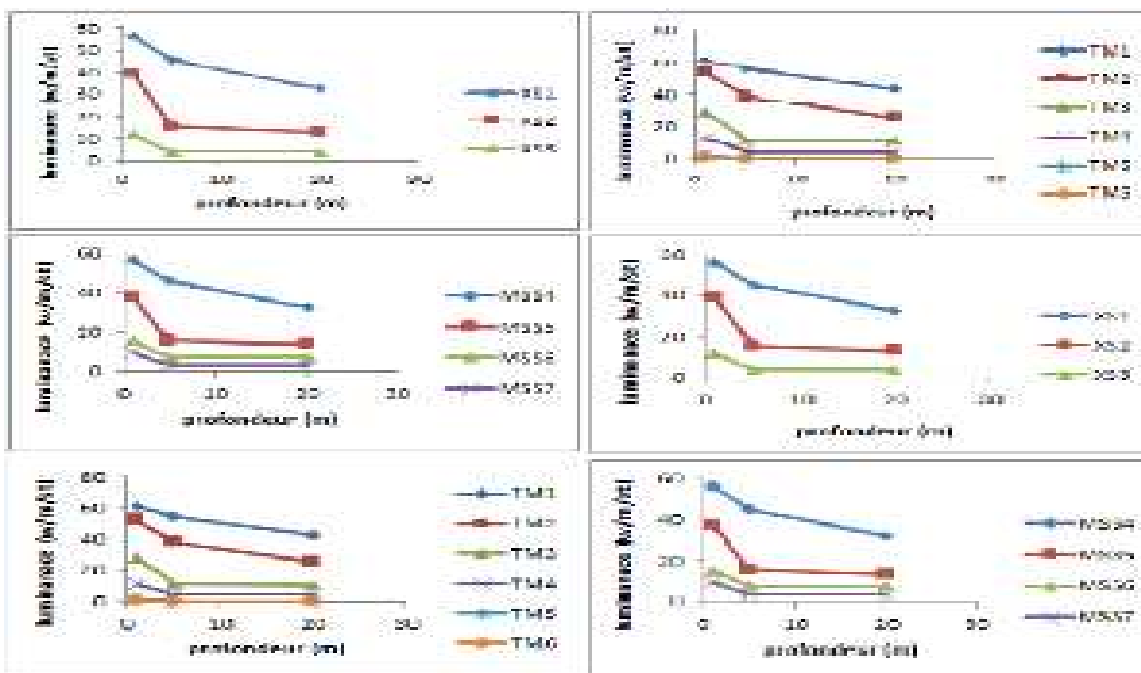


Figure 14 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 15)

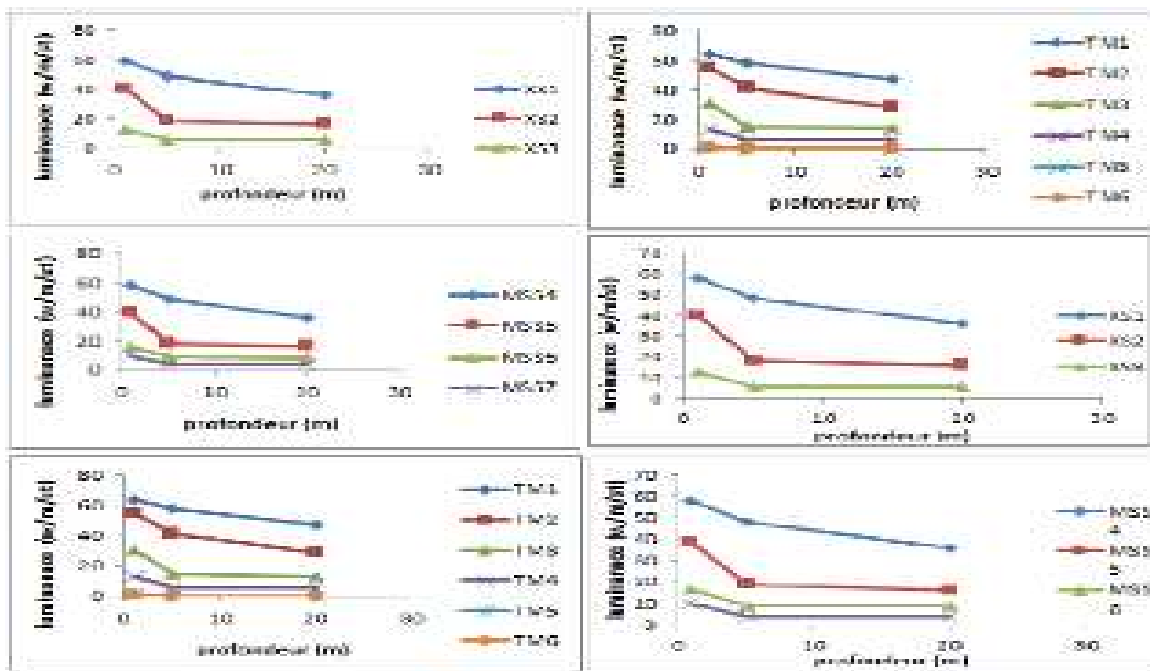


Figure 15 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 16)

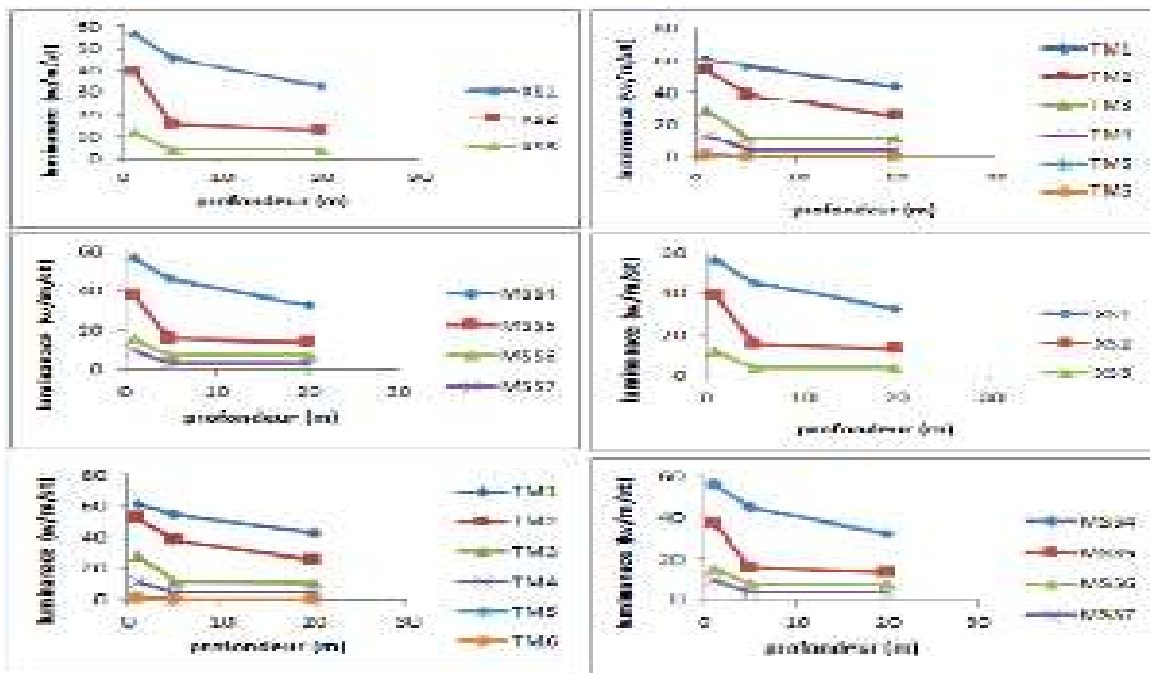


Figure 16 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 17)

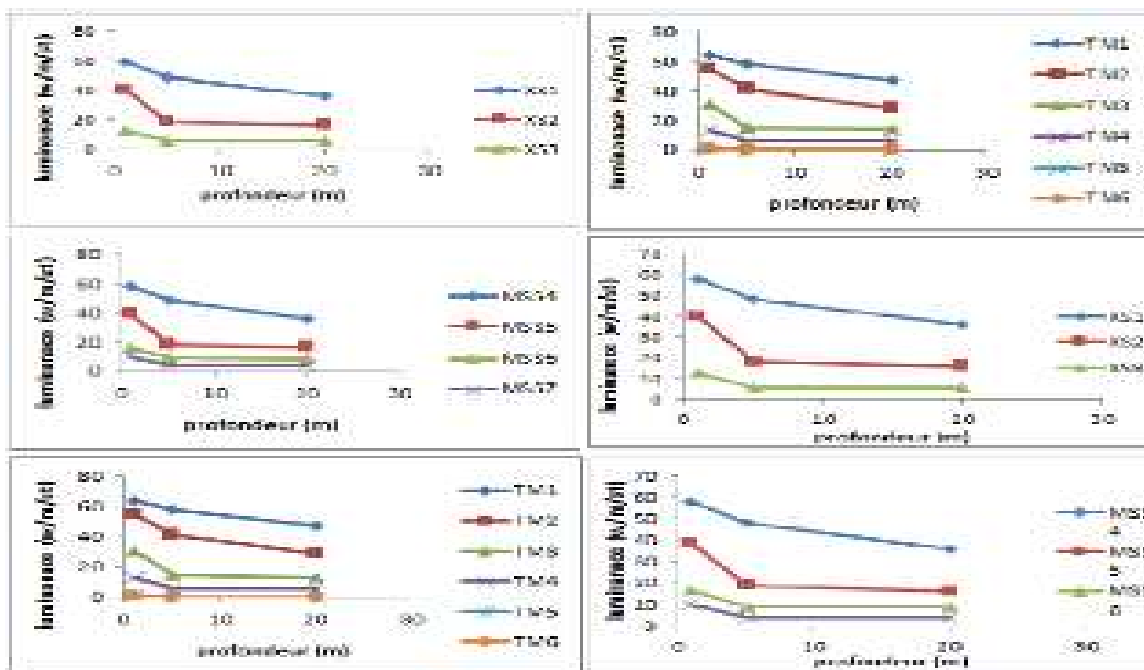


Figure 17 : variation de la radiation à Téta V (10 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour la baie de Bou-Ismaïl (station 18)

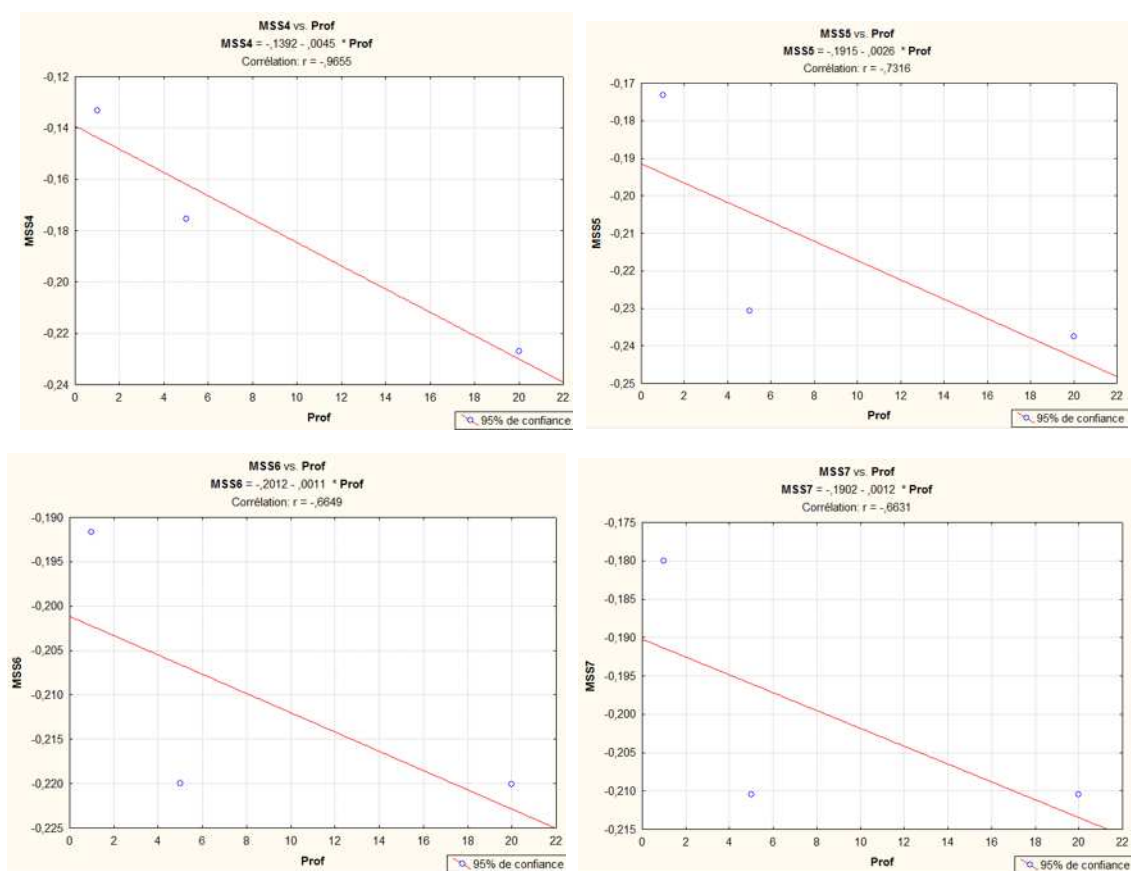


Figure 18 : courbes de corrélation des profondeurs de la baie Bou-Ismaïl aux canaux MSS de LANDSAT-MSS droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V= 10

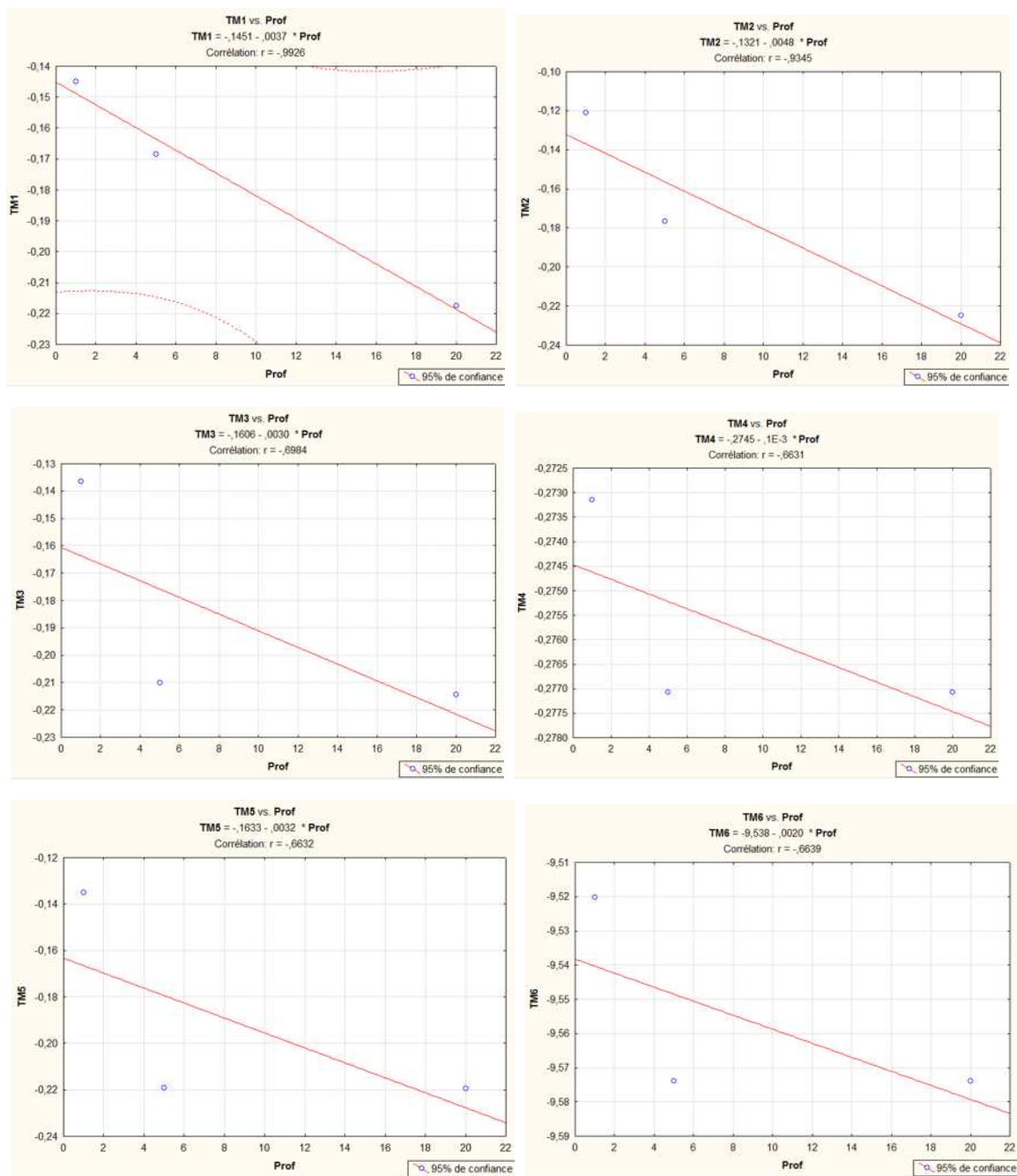


Figure 19 : courbes de corrélation des profondeurs de la baie Bou-Ismaïl aux canaux TM de LANDSAT-TM droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V= 10

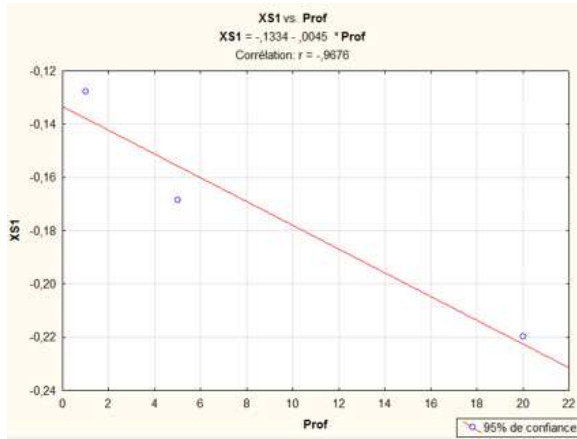
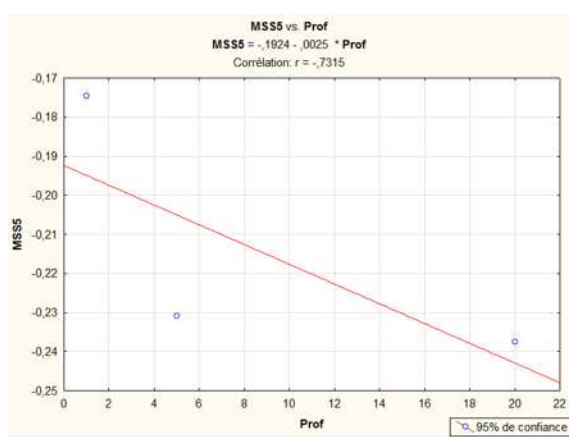
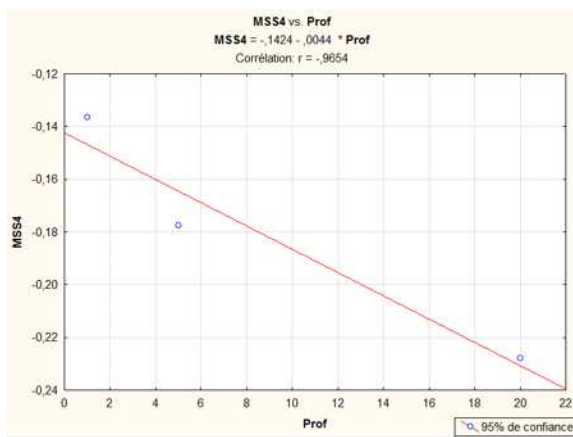


Figure 20 : courbes de corrélation des profondeurs de la baie Bou-Ismaïl aux canaux XS de SPOT droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V= 30



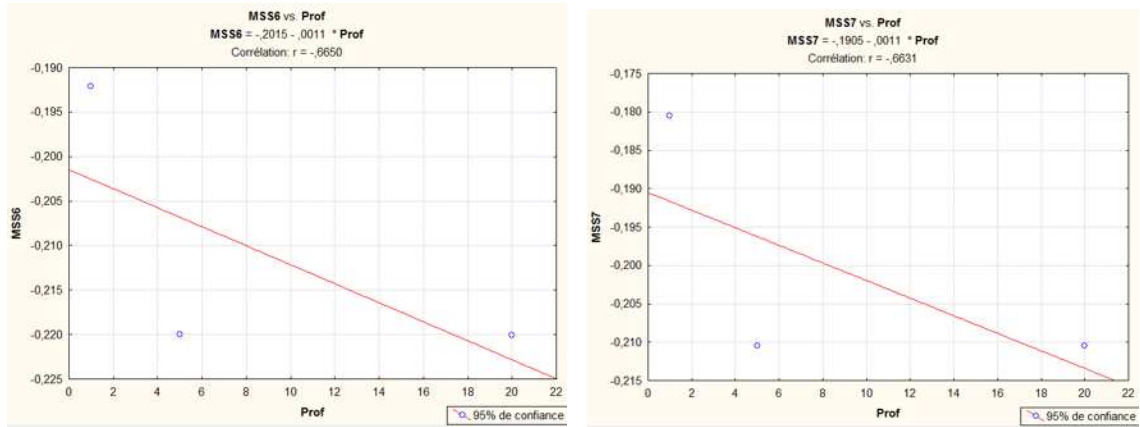
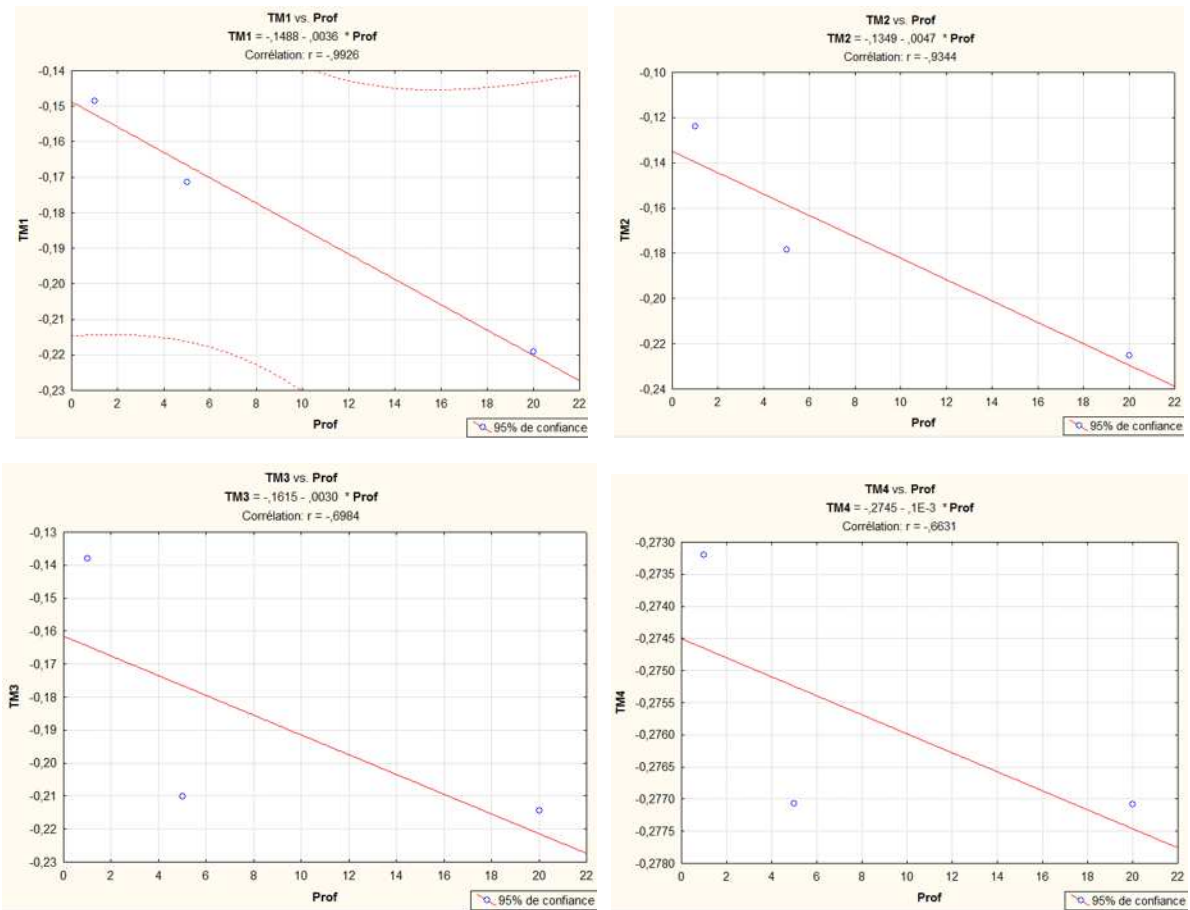


Figure 21 : courbes de corrélation des profondeurs de la baie Bou-Ismaïl aux canaux MSS de LANDSAT-MSS droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V= 30



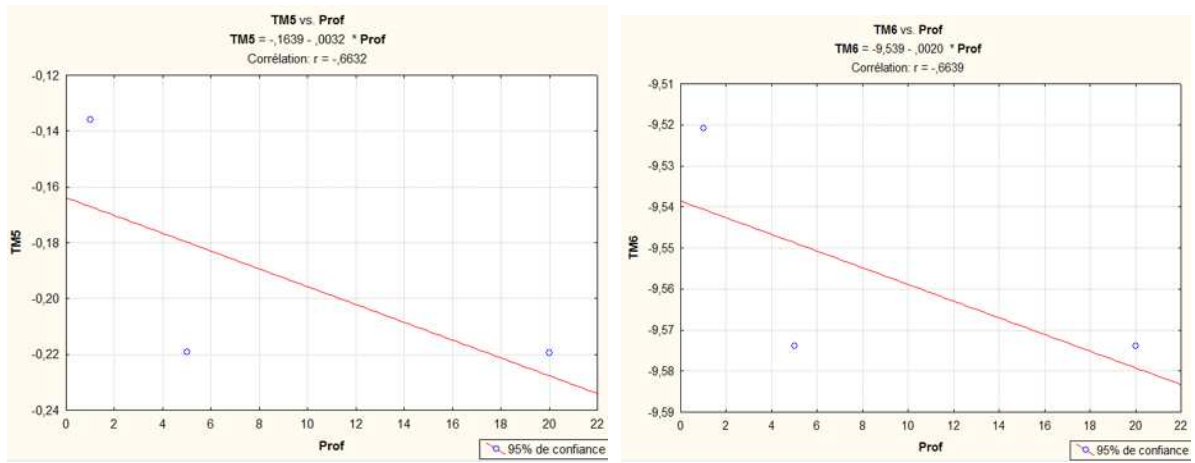


Figure 22 : courbes de corrélation des profondeurs de la baie Bou-Ismaïl aux canaux TM de LANDSAT-TM droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V= 30