

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



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

OPTION : AMENAGEMENT du LITTORAL

Apport de la télédétection pour la
détermination de la bathymétrie du port et de
la plage de Sidi-Fredj

Présenté par : - Halaili Younes
-Boukhennaf Abdelouahad

Soutenu le 14 juillet 2010

Devant le jury :

-Mr.LaridA.M	Maître de conférences (ENSSMAL)	Président
-Mr.Belkessa.R	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur
-Mr.Hellel.M	Maître de conférences (ENSSMAL)	Examineur
- Mme. Houma Bachari.F	Maître de conférences (ENSSMAL)	Promotrice

Remerciements

Après ;

Au nom d'Allah le tous Clément le tout Miséricordieux.

Nous tenons à rendre grâce à **Allah** seigneur le tous puissant qui nous a donné la foi et le courage a fin de réaliser ce travail.

Nous ne saurions entamer le présent mémoire sans témoigner de notre gratitude à toutes les personnes qui nous ont apporté aide et soutien

Nos remerciements les plus sincères :

A notre promotrice **M^{EME} BACHARI** qui nous a inspiré ce travail et de nous avoir suivie orienté et dirigé avec patience de puis le début jusqu'à la fin de ce travail et aussi pour son encouragement, sa disponibilité et surtout sa modestie te sa gentillesse.

A monsieur **M.LARID** qui a bien voulu nous honorer par sa présence en président ce jury.

A monsieur **R.BELKESSA** qui nous a accompagnés dans nos sorties en mer et qui nous a fait bénéficier de ces connaissances et en fin d'avoir bien voulu juger notre travail.

A monsieur **M.HELLEL** qui a bien voulu consulter, corriger et juger ce travail.

Nous demeurons également reconnaissants à l'équipe de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour leur patience et gentillesse.

Aux gardes côte de Sidi-Fredj pour Leur accueil et la documentation qu'ils nous ont fournie.

Dédicaces

Younes

Je dédie ce mémoire tout d'abords a mes très chers parents qui ont tous fait pour que je réussisse mes études durant toutes mes années d'études, je les souhaite une longue vie pleine de joie et du bonheur.

A mes chers sœurs à qui je souhaite une bonne continuité et réussite dans leurs études sans oublier le petit AMIN à qui je souhaite une longue vie pleine de réussites.

A mon cher petit frère GHANNOU à qui je souhaite également plus de réussite dans ses études.

A mes chers amis SAMIR et LYACINE.

A mon binôme OUAHID avec qui j'ai passé des moments agréables.

A toute la promo aménagement du littoral 2010.

A Tous les travailleurs de l'ENSSMAL, GANOÛ, MOUSTAFA, ALI, AMI KAMAL, AMI MOH, KAMEL.....

Abdelouahad

Tout d'abords je dédie ce travail à la mémoire de mon per que dieu l'accueille dans son vaste paradis.

A ma cher maman a qui je souhaite une longue vie pleine de bonheur.

A mes chers sœurs et leurs familles.

A mes chers frères LOUNIS et ABDNOUR ainsi que leur petites familles.

A mon binôme YOUNES pour tous les moments que nous avons passé ensemble.

A toute la promo aménagement du littoral 2010.

Introduction générale

Chapitre I

1 Situation géographique	4
2 Description de la zone d'étude	4
3 Présentation du port de plaisance Sidi-Fredj.....	5
3.1 Configuration du port de Sidi-Fredj	6
3.2 Les ouvrages extérieurs de port	6
3.3 Aménagement intérieur de port	7
3.4 Les appontements.....	7
3.5 La flotte du port de plaisance de Sidi-Fredj	8
3.6 Les échanges de port avec le large	8
4 La plage est de Sidi-Fredj	10
4.1 Facteurs de l'évolution morpho dynamique	10
4.1.1 La dérive littorale	10
4.1.2 Le régime sédimentologique	10
5 Aspects du milieu physiques et naturel	11
5.1 Le contexte morphologique	11
5.2 Le contexte géologique	12
6 Données climatiques, météorologiques et hydrologiques de la zone côtière de Sidi-Fredj	12
6.1 Les températures de l'air	12
6.2 Les vents	13
6.3 Lescourants	13
6.4 Les houles	13
7 Indicateurs de pressions sur la zone côtière de Sidi-Fredj	14

Chapitre II

1 Principes de la télédétection	15
1.1 Introduction	15
1.2 Définition de la télédétection	15
1.3 Eléments essentiels en Télédétection des principes physiques sur lesquels est fondée la technique de télédétection employée.....	15
1.4 Systèmes de télédétection	15
1.4.1 Capteurs passifs	15
1.4.2 Capteurs actifs	16
1.5 Bases physiques de la télédétection	16

1.5.1 Le rayonnement électromagnétique	16
1.5.2 Spectre du rayonnement électromagnétique	17
1.6 Interactions avec l'atmosphère	18
1.6.1 Diffusion	18
1.6.1.1 La diffusion de Rayleigh	18
1.6.1.2 Diffusion de Mie	18
1.6.1.3 Diffusion non-sélective	19
1.6.2 L'absorption	19
1.7 Interaction avec la matière	21
1.7.1 La réflexion	21
1.7.2 L'absorption	21
1.7.3 La transmission	21
1.7.4 La diffusion	22
1.7.5 L'émission	22
1.7.6 La réflectance (R)	22
1.7.7 La luminance (L)	22
1.8 Les satellites	23
1.8.1 Les satellites géostationnaires	23
1.8.2 Satellite bas à défilement	23
1.8.2.1 Les satellites Landsat	23
1.8.2.2 Le satellite Spot.....	24
2. Etude bathymétrique des zones côtières	26
2.1 Propriétés optiques des eaux de mer	26
2.1.1 Propriétés optiques inhérentes	26
2.1.2 Propriétés optiques apparentes	26
2.1.3 Propriétés spectrales de l'eau de mer	27
2.1.3.1 Le coefficient d'absorption	27
2.1.3.2 Le coefficient de diffusion	28
2.1.3.3 L'Albédo de diffusion	28
2.1.3.4 Le coefficient d'atténuation dans l'eau	28
2.1.4. Propriétés optiques des surfaces d'eau	29
2.1.4.1 Substances dissoutes ou en suspension	29
2.1.4.1.1 Propriétés optiques du phytoplancton vivant et des détritiques biogènes Associés.....	29
2.1.4.1.2 Propriétés optiques des particules minérales en suspension	29
2.1.4.1.3 Propriétés optiques de la substance jaune	29
2.1.4.2 Influence du fond sur la réflectance de la mer	30
2.2 Problèmes posés par l'étude bathymétrique	30
2.2.1 Eclairage au dessous de l'eau	31

2.2.2 Les composantes du signal radiométrique	31
2.2.2.1 Première approche	31
2.2.2.2 Radiance atmosphérique	32
2.2.2.3 Couleur de la mer	32
2.3 Etude du rayonnement sur le trajet sol atmosphère satellite.....	32
2.3.1. Radiation réfléchie par la surface d'eau	32
2.3.2. Radiation diffusée d'un volume d'eau	33
2.3.3. Radiation diffusée du fond	33
2.4 L'imagerie satellitaire	34
II.4.1.Traitement numérique des images	35

Chapitre III

1 Campagnes en mer	36
2 Choix et localisation des stations	36
3 Appareillage et technique de prélèvement	37
3.1 Les paramètres physico-chimiques	37
3.1.1 Prélèvement d'eau de mer et mesures in situ	37
3.1.2 Principe de mesure de la matière en suspension(MES)	38
3.2 Analyse des sédiments	39
3.2.1 Prélèvement de sédiment	39
3.2.2 Travail réalisé au laboratoire	40
3.2.2.1 Protocole de l'étude granulométrique	40
4 La détermination des carbonates	42
4.1 Principe de la méthode	42
4.2 Mode opératoire	42

Chapitre IV

1 paramètres physicochimiques	43
1.1 La température	43
1.2 La conductivité	44
1.3 Salinité	45
1.4 Oxygène dissous	45
1.5 Potentiel d'hydrogène	46
1.6 Matière en suspension (MES)	47
1.7 Turbidité (Tu)	48
2 Résultats et interprétation de l'analyse granulométrique	48

2.1 Résultats de l'analyse granulométrique	48
2.2 Détermination des indices granulométriques	51
2.2.1 Le quartile Q50 ou indice de taille (médiane)	51
2.2.2 Le quartile inférieur Q25	52
2.2.3 Le quartile supérieur Q75	52
2.2.4 Indice de classement de Trask ou indice de tri	52
2.2.5 Indice d'asymétrie ou indice de Skewnes (SK).....	53
3 . Pelites	54
4 Carbonates	56
5 Application du logiciel SDDS à l'imagerie bathymétrique	58
5.1 Détermination de la bathymétrie par simulation	58
5.2 Présentation du logiciel SDDS.....	58
5.3 Analyse de la variation de la luminance	60
5.4 Applications aux stations	61
5.5 Effet de la profondeur	63
5.6 Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau pour le port et la plage Est de Sidi-Fredj	64
5.7 Conversion en réflectance des données satellitaires brutes	67
5.8 Analyse corrélative et modélisation	68
5.8.1 Coefficient de corrélation (r)	68
5.9 Interprétation des résultats de l'analyse	73
5.10 Ajustement et graphiques des profondeurs en fonction des réflectance Prof (Z)=f(Réf)	74
6 Application PCSATWIN	76
Conclusion générale	83

Liste des figures

Figure I.1 : plages de la commune de Staoueli. (A.P.P.L)	4
Figure I.2 : port et plage Est de Sidi-Fredj.....	5
Figure I.3 : Image du port de plaisance de Sidi-Fredj.....	6
Figure I.4 : Répartition de la flotte du port de plaisance de Sidi-Fredj.....	8
Figure I.5 : échanges des masses d'eaux dans le port de Sidi Fredj	9
Figure I.6 : Image de la plage Est de Sidi-Fredj	10
Figure I.7 : Nature de la couverture sédimentaire (Leclaire, 1972).....	11
Figure I.8 : Carte touristique de Sidi-Fredj	14
Figure II.1 : Ondes électromagnétiques. (Stéphane, 2008).....	16
Figure II.2 : Représentation du spectre électromagnétique (CCT)	17
Figure II.3 : Diffusion du rayonnement (CCT).....	18
Figure II.4 : Diffusion non-sélective du rayonnement	19
Figure II.5 : L'absorption du rayonnement.....	20
Figure II.6 : Relation entre absorption, réflexion et transmission	22
Figure II.7 : Rayonnement solaire dans la masse d'eau. (Sturm.1980).....	27
Figure II.8 : Trajet du rayonnement dans une masse d'eau	34
Figure II.9 : Le pixel dans l'image numérique	35
Figure III.1 : Localisation des stations de prélèvement dans le port et la plage Est de Sidi-Fredj	36
Figure III.2 : Valise multi paramètres	38
Figure III.3 : Rompe de filtration	39
Figure III.4 : Benne Van Veen actionnée à la main	40
Figure III.5 : Etuve	41
Figure III.6 : Tamiseuse électrique	41
Figure III.7 : Balance électrique	42
Figure IV.1 : Variation des températures suivant les stations dans le port et la plage Est de Sidi Fredj	44
Figure IV.2 : Variation des salinités dans le port et la plage Est de Sidi Fredj	45
Figure IV.3 : Variation de saturation en oxygène dissous dans le port et la plage Est de Sidi Fredj	46
Figure IV.4 : Variation du PH dans le port et la plage Est de Sidi Fredj	47
Figure IV.5 : Courbes granulométriques des différentes stations de la plage Est de Sidi-Fredj	49
Figure IV.6 : Courbes granulométriques des différentes stations du port de Sidi-Fredj	50
Figure IV.7 : Répartition des médianes dans le port et la plage Est de Sidi-Fredj	52

Figure IV.8: Relation entre l'indice de classement et la médiane	53
Figure IV.9: Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane	54
Figure IV.10: Répartition des pelites dans la plage Est de Sidi-Fredj	55
Figure IV.11: Répartition des pelites dans le port de Sidi-Fredj	56
Figure IV.12 : Répartition des carbonates de calcium dans le port et plage Est de Sidi- Fredj	57
Figure IV.13: Présentation du logiciel « SDDS » d'application de la simulation des données satellites	58
Figure IV.14 : Introduction des données d'entrée au logiciel SDDS	60
Figure IV.15 : Variation de la luminance sur les différents canaux satellitaires par station	61
Figure IV.16 : Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SPOT), plage Est de Sidi-Fredj	64
Figure IV.17: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM) plage Est de Sidi6fredj	64
Figure IV.18 : Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-MSS) plage Est de Sidi6fredj	67
Figure IV.19: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SPOT) port de Sidi-Fredj	65
Figure IV.20: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM)), port de Sidi-Fredj	65
Figure IV.21: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-MSS)) port de Sidi-Fredj	66
Figure IV.22: Distribution de la luminance en fonction de la profondeur	67
Figure IV.23: Courbes de corrélation des profondeurs de la plage Est de Sidi-Fredj aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V(10)	69
Figure IV.24: Courbes de corrélation de la profondeur du port aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation	70
Figure IV.25: Ajustement linéaire entre réflectance et profondeur, après inversion des échelles pour la plage Est de Sidi-Fredj	74
Figure IV.26: Ajustement linéaire entre réflectance et profondeur, après inversion des équations pour le port de Sidi-Fredj	75
Figure IV.27: Application des modèles d'insertion de la bathymétrie sur Logiciel PCSATWIN	76
Figure IV.28: Paramètre d'affichage et prévisualisations de l'Image Satellite Landsat TM de la cote algéroise	77
Figure IV.29: Traitement de l'Image Satellite Landsat TM	77
Figure IV.30: Image satellite (Spot) traitée de la baie d'El Djamila	78

Figure IV.31 : Carte bathymétrique de la baie d'El Djamila extraite à partir d'une image traitée Satellite SPOT-XS1	78
Figure IV.32 : Carte bathymétrique de la plage Est Sidi-Fredj Tirée de photo satellite traitée (spot XS1)	79
Figure IV.33 : Carte bathymétrique in situ de la plage Est Sidi-Fredj	80
Figure IV.34 : Carte bathymétrique issue des résultats satellitaire et des modèles appliqués au port de Sidi-Fredj	82

Liste des tableaux

Tableau I.1: Superficie et profondeur des bassins intérieurs de port de Sidi-Fredj	7
Tableau I.2: Appontements fixes dans le port de Sidi-Fredj	8
Tableau I.3 : Appontements flottants dans le port de Sidi-Fredj.....	8
Tableau II.1: Diamètre des divers types de particules atmosphériques diffusantes et absorbantes. (Girard, 2004)	19
Tableau II.2 : L'absorption de la radiation solaire par les différents constituants de l'atmosphère	20
Tableau II.3 : Les principales fenêtres atmosphériques (CCT)	21
Tableau II.4 : Caractéristique des séries de Spot (Girard, 1989).....	25
Tableau II.5 : Caractéristiques principales des capteurs MSS et TM de Landsat et HRV du Spot (Ferdinand Bonn, 1996)	25
Tableau II.6 : synoptique des composantes de l'atténuation d'après.(Jerlov, 1968).....	30
Tableau III.1 : Positionnement des échantillons prélevés dans la plage Est de Sidi-Fredj	37
Tableau III.2: Positionnement des échantillons prélevés dans le port de Sidi-Fredj	37
Tableau IV.1 : Résultats des paramètres physico-chimiques	43
Tableau IV.2 : Pourcentages des refus cumulés dans les différentes stations.....	48
Tableau IV.3: Paramètres granulométriques des sédiments du port et de la plage Est de Sidi Fredj.....	51
Tableau IV. 4 : Classement des sédiments selon l'indice de Trask S_0 . (Folk ,1966).....	53
Tableau IV. 5: Classification des sédiments selon le taux des pelites.....	54
Tableau IV.6: Paramètres d'entrées pour le SDDS	59
Tableau IV.7: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les trois canaux du satellite SPOT (plage Est de Sidi-Fredj)	61
Tableau IV.8: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les six canaux du satellite Landsat TM (plage Est de Sidi-Fredj).....	62
Tableau IV. 9: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les quatre canaux du satellite Landsat MSS (plage Est de Sidi-Fredj).....	62
Tableau IV. 10: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les trois canaux du satellite Spot (Port de Sidi-Fredj).....	63
Tableau IV.11: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les six canaux du satellite Landsat TM (port de Sidi-Fredj).....	63
Tableau IV.12: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les quatre canaux du satellite Landsat MSS (port de Sidi-Fredj)	63
Tableau IV.13 : Relations de conversion en comptes numériques et en réflectances dans les différents canaux satellitaires	68
Tableau IV.14 : Résultats des analyses corrélatives. TETA V(10).....	71
Tableau IV.15 : Résultats des analyses corrélatives. TETA V(20).....	71
Tableau IV.16: Résultats des analyses corrélatives. TETA V(30)	71

Tableau IV.17: Résultats des analyses corrélatives des stations du port. Téta V(10).....	72
Tableau IV.18: Résultats des analyses corrélatives des stations du port .TETA V(20)...	72
Tableau IV.19: Résultats des analyses corrélatives des stations du port .TETA V(30)...	72
Tableau IV.20 : Ajustement linéaire $\text{prof}(z)=f(\text{Réf})$ (Plage Est de Sidi-Fredj).....	75
Tableau IV.21: Ajustement linéaire $\text{prof}(z)=f(\text{Réf})$ (Port de Sidi-Fredj).....	76

Introduction

La côte et le littoral algériens et à l'instar de la majorité des zones côtières méditerranéennes, sont sensibles aux changements environnementaux, aux changements créés par le développement économique et aux changements 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.

Cela a suscité une inquiétude généralisée à l'échelle planétaire concernant le développement durable de ces espaces et leurs ressources naturelles. L'humanité a pris conscience de la fragilité de cet environnement, d'autant plus que les ressources biologiques sont souvent menacées d'où une partie importante des ressources économiques (tourisme, pêche, activités portuaires), provient des zones côtières. **(Farmer et al.,1993)**

La civilisation moderne et l'activité de l'homme sont indéniablement les causes principales de la contamination de l'hydrosphère. **(Salomon, 2003; Houma et al., 2005; Lambert et al., 1981)**

Les activités liées directement à la mer ont pris une place prépondérante, notamment dans les collectivités côtières ; cependant, elles sont tributaires de la santé et de la productivité du milieu marin. L'homme en investissant de plus en plus le milieu marin contribue au déséquilibre de ce milieu. Les ressources vivantes et la biodiversité sont menacées par les pressions anthropiques en termes d'aménagement du milieu côtier, de pollution et d'exploitation.

En effet; le développement des méthodes d'analyse et de surveillance de la qualité des eaux côtières se pose avec une acuité de plus en plus grande. Il est donc utile de fournir au décideur l'information en temps réel afin de préserver et d'exploiter rationnellement le milieu.

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 du port et la plage Est de Sidi Fredj situés dans la zone algéroise.

La profondeur des fonds marins est une donnée essentielle pour un grand nombre de domaines d'activité: scientifique, économique et politique. La bathymétrie – la science de la mesure des profondeurs de l'océan – a des applications aussi diverses que la gestion des ressources minérales et vivantes et l'aménagement des habitats sous-marins. **(Tassan & Sturm, 1986; Grid-Geneva, 2000)**

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

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 satellitale. 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 & 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,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 & 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 & Gentili, 2004**).

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

Le **Chapitre I** est réservé à la présentation des sites d'étude

Le **Chapitre II** est consacré pour la partie télédétection et application bathymétrique.

Le **Chapitre III** est consacré à la description du matériel et méthodes utilisées dans la partie pratique.

Le **Chapitre IV**: est réservé à la représentation et l'interprétation des résultats obtenus.

En conclusion, nous synthétisons les résultats de ce travail et nous discutons de la performance de la télédétection spatiale passive dans l'étude de la bathymétrie des zones côtières et sa cartographie automatique.

1 Situation géographique

La localité de Sidi-Fredj est une presqu'île se trouvant à une vingtaine de km à l'Ouest d'Alger, étendue sur un km au bord de la mer formant le cap Est de la baie de Bou-Ismaïl et la limite Ouest de la baie d'El-Djamila, caractérisée par deux pointes :

- Pointe de Marabout à l'Est où se situe le port de Sidi-Fredj
- Pointe de St Janvier à l'Ouest à la limite de la baie d'El-Djamila.

Du point de vue administratif, elle appartient à la commune de Staoueli daïra de Zeralda et wilaya d'Alger. Les coordonnées géographiques de la région de Sidi Fredj sont : Longitude 2°50'52''Est et 36°45'55'' de latitude Nord.



Figure I.1 : plages de la commune de Staoueli. (A.P.P.L)

2 Description de la zone d'étude

Cette localité est constituée de deux parties essentielles qui font l'objet de notre étude :

La plage Est et le port de plaisance. (Figure I.2)**Figure I.2 : port et plage Est de Sidi-Fredj.****3 Présentation du port de plaisance Sidi-Fredj**

Le port de plaisance de Sidi-Fredj couvre une superficie totale de 38.000m², est le mieux équipé des ports de plaisance de la région algéroise. L'ouverture de port vers l'Est est jugée favorable vu l'étude hydrodynamique de la région, en effet, l'ouverture et dans la direction des vents dominants.

Le port de plaisance de Sidi-Fredj est un pôle d'animation qui représente l'élément moteur du complexe touristique. Il est adossé contre un promontoire rocheux qui marque l'extrémité Ouest de la baie d'El-Djamila.

Le port de plaisance peut pratiquer diverses fonctions : c'est un abri, escale et aussi un garage. D'une capacité totale de 300 unités, ce port n'a pas de problèmes de place vu que ses bassins peuvent accueillir plus de 200 navires, par conséquent, on ne projette aucune extension du port et aucune création de nouveau bassin.

Géré par l'office National de tourisme (ONT), le port de Sidi-Fredj est autonome. Il est aménagé par les dispositifs suivants :

- Ouvrage pour la manutention des bateaux et aires d'entretien
- Des aires de carénage et des hangars pour le stationnement à terre des bateaux
- Ouvrage de distribution des produits pétroliers
- Un feu de signalisation maritime
- Réseaux de distributions d'électricité, d'eau et d'éclairage

La réalisation du port suivant la configuration arrêtée par les études techniques a tenu compte du problème sédimentologique. Toutefois, l'implantation de ce port a provoqué une légère sédimentation le long de la traverse, mais l'impact devienne de plus en plus inquiétant.

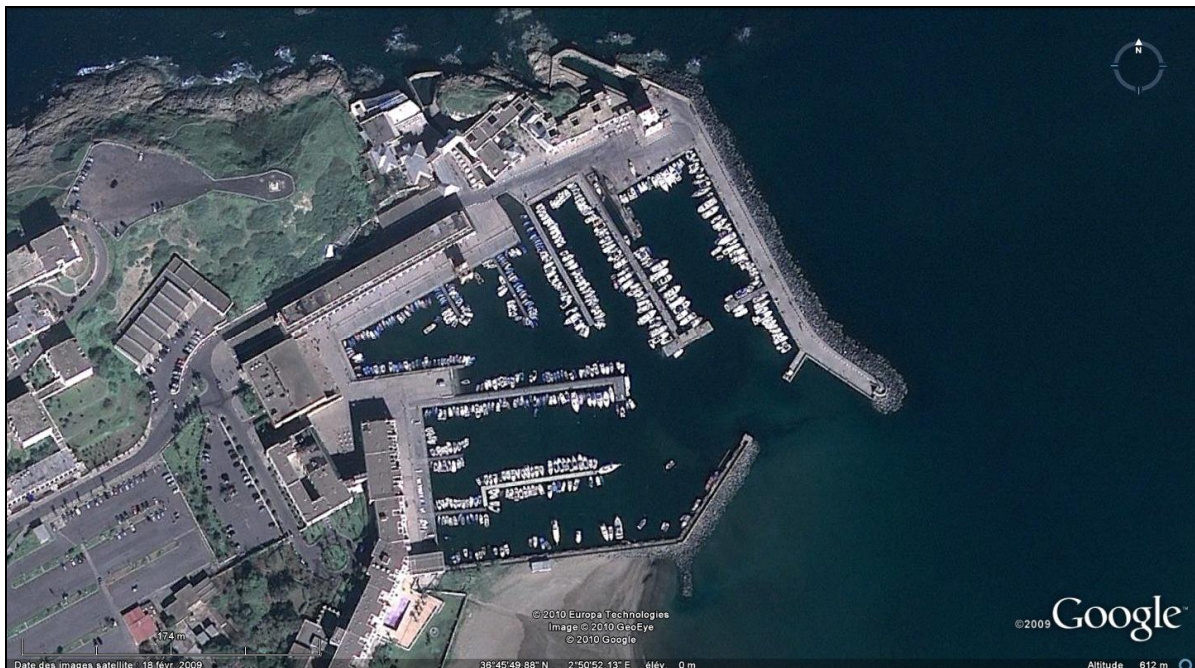


Figure I.3: Image du port de plaisance de Sidi-Fredj.

3.1 Configuration du port de Sidi-Fredj

Comme la pêche, la plaisance se caractérise par une grande variété dans les tailles et les types des navires et nécessitent des conceptions également très variables pour l'aménagement des bassins portuaires.

Notons que l'accès au port se fait par la passe d'entrée orientée vers le Nord-est d'une largeur de 50m et une profondeur de -4m.

3.2 Les ouvrages extérieurs de port

Le port de Sidi-Fredj est délimité par des ouvrages extérieurs de protection contre les houles pour créer la stabilité des plans d'eau à l'intérieur des bassins équipés pour des bateaux en stationnement.

Ces ouvrages extérieurs sont :

- La grande jetée Nord qui est la jetée principale de longueur développée 260m se terminant par un musoir et joue le rôle de barrière de protection contre les vents.
- La petite jetée Sud qui délimite la plage Est de Sidi-Fredj, sa longueur est de 200m.

Ces deux jetées sont de type à talus réalisées en enrochements naturels.

Le côté mer : le talus de la digue est protégé jusqu'à une certaine profondeur (1.5m) par des blocs d'enrochements naturels.

Le côté port : la digue est aménagée en quai accostable.

L'intérieur et l'extérieur du port sont séparés par un mur abri. Entre celui-ci et le quai, s'étend un terre-plein comme voie de circulation.

Le piéton peut emprunter la jetée même en période hivernale pour se promener et apprécier la nature et la vue de la mer. (**Garde cote national**)

3.3 Aménagement intérieur de port

Le port est aménagé en cinq bassins (ou darses) utilisés pour le stationnement des bateaux de plaisance, la profondeur et la surface sont différents d'un bassin à l'autre.

Bassin 1 : c'est le premier bassin intérieur de port.

Bassin 2 : délimité par l'épi de la tour mauresque (appontement 2) et l'épi de la station d'essence.

Bassin3 : délimité par la grande jetée.

Bassin4 : délimité par l'appontement 3 à l'intérieur et la petite jetée à l'extérieur.

Tableau I.1: Superficie et profondeur des bassins intérieurs de port de Sidi-Fredj.

Bassins portuaires	Superficie (m ²)	Profondeur (m)
1	8000	0.60 - 2.60
2	3000	2.50
3	5000	1.50 - 4.50
4	10000	2.50 - 3
5	9400	3.50

Les zones utilisées pour l'accueil des bateaux sont :

- les plans d'eau : dont les profondeurs sont compatibles avec les tirants d'eau des bateaux "pied de pilote" compris. Celui ci est limité à 0.8m à 1m pour les bateaux de plus de 15m et 0.5m pour les bateaux de petite taille.
- les terre-pleins coté terre et les terre-pleins coté digue sont bordés par des quais accostables.

3.4 Les appontements

Le port de Sidi-Fredj comporte les appontements suivants :

Appontements fixes: ils sont au nombre de 4, assurent une bonne répartition des plans d'eaux suivant le nombre d'embarcations et leurs tirant d'eau. Ils sont utilisés lorsque le niveau de l'eau dans le bassin est peu variable et que les tirants d'eaux ne sont pas très importants.

Tableau I.2: Appontements fixes dans le port de Sidi-Fredj.

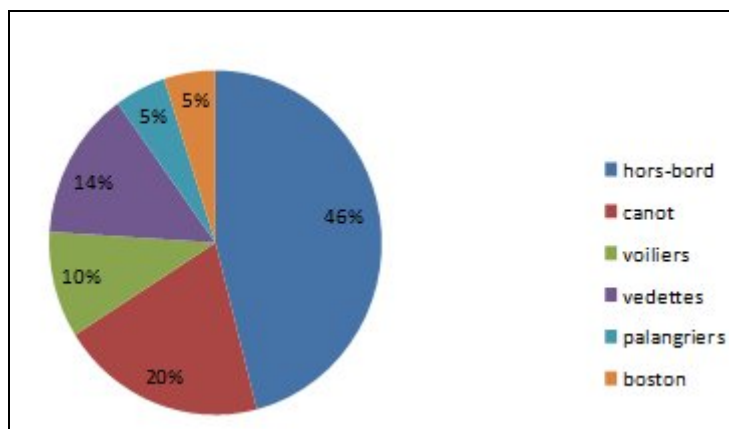
Appontements fixes	Longueur (m)	Largeur (m)
1	28	4
2	62	3
Epi pétrolier	110	5
3	82	3.5

Appontements flottants: sont également au nombre de 4 et peuvent augmenter en période estivale lorsque la flotte devient plus importante. Ils sont utilisés lorsque il y'a de fortes variations du niveau de l'eau dans le bassin et que les tirants d'eaux sont très grands.

Tableau I.3 : Appontements flottants dans le port de Sidi-Fredj

Appontements flottants	Longueur (m)	Largeur (m)
I1	10	2
I2	10	2
I3	10	2
I4	15	4

3.5 La flotte du port de plaisance de Sidi-Fredj

**Figure I.4:** Répartition de la flotte du port de plaisance de Sidi-Fredj

3.6 Les échanges de port avec le large

De première vue, le port de plaisance de Sidi-Fredj donne l'aspect d'un port semi-ouvert, et les eaux semblent constamment en contact avec le large.

En observant bien les bassins intérieurs du port, les communications avec le large semblent réduites, et insuffisante pour le renouvellement des eaux vu leur insalubrité.

Du côté Ouest, le petit canal qui passe à côté de la tour mauresque permet la communication du port avec le large à travers petite ouverture se trouvant à son extrémité côté mer. Ce canal semble presque fermé et le renouvellement des eaux dans cette partie du port reste assez

faible, étant donné la présence en quantité remarquable de macro-déchets qui couvrent ce canal et empêchent la circulation des eaux. **(Figure I.5)**

Donc nous pouvons déduire que le port de Sidi-Fredj reste un milieu fermé et demande des réflexions concernant un aménagement plus efficace pour le renouvellement des eaux à l'intérieur des bassins.

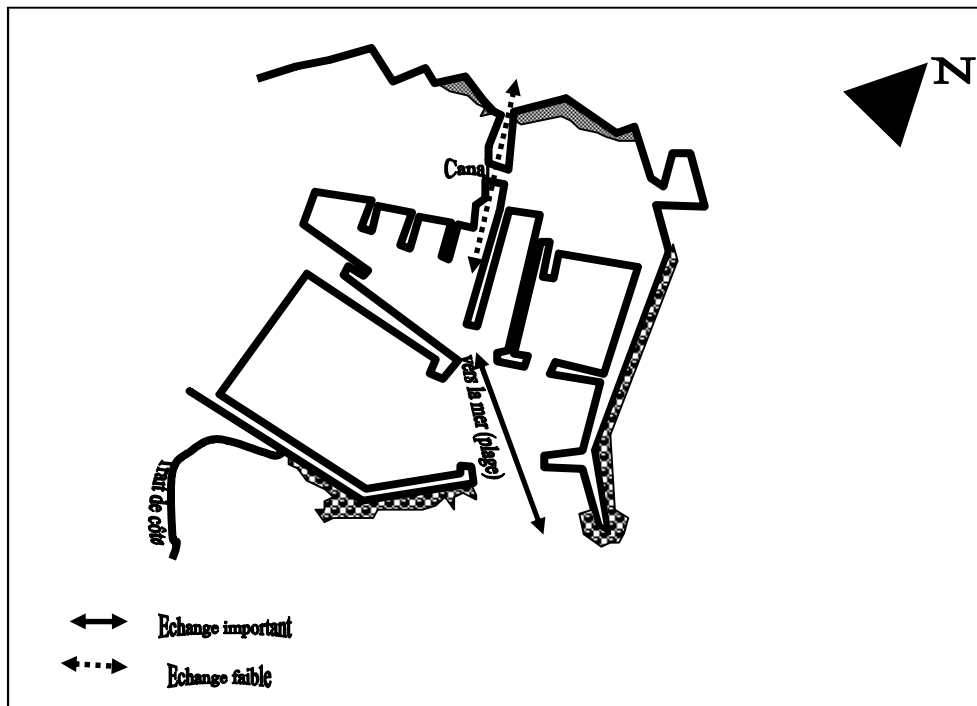


Figure I.5: échanges des masses d'eaux dans le port de Sidi Fredj.

4 La plage est de Sidi-Fredj

Parmi les secteurs concernés par notre étude il y'a la plage Est de Sidi-Fredj qui se situe plus précisément à l'extrémité Ouest de la baie d'El-Djamila.

La plage est comprise entre le premier épi en L à L'Est et le port à l'Ouest ; cette plage est à vocation touristique et témoigne d'un afflux important des vacanciers durant la période estivale, il s'agit d'une zone à grande potentialité du point de vu touristique économique et patrimoine naturel; par conséquence cette localité fragile mérite d'être protégée et nécessite des études et un suivi permanent.

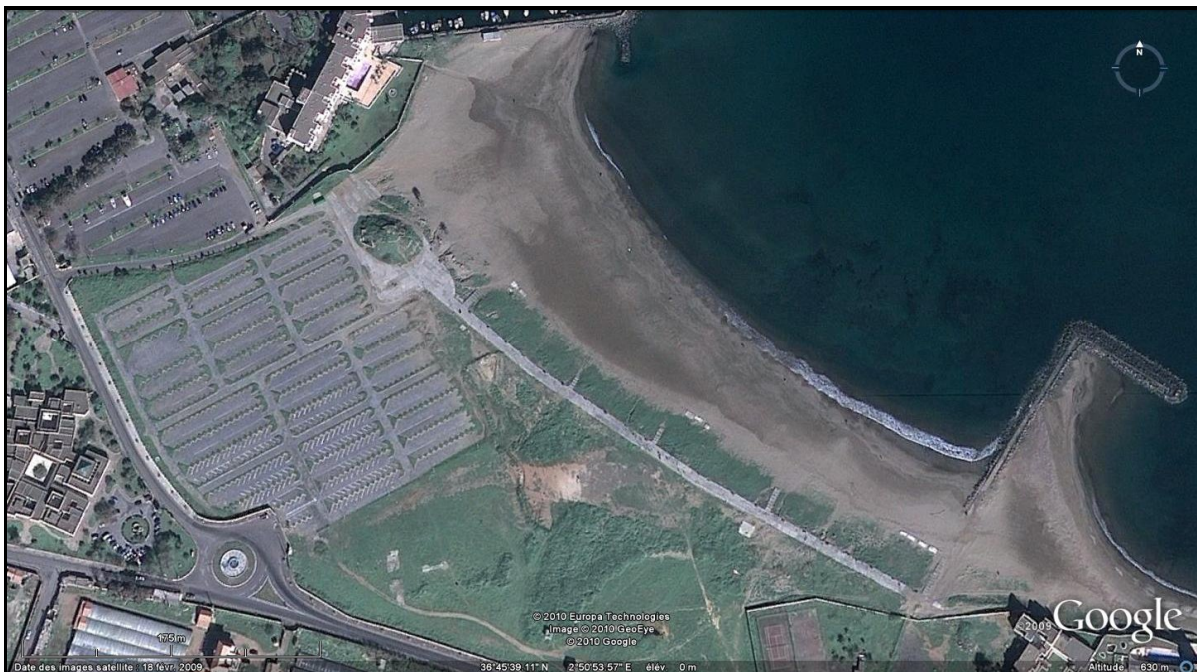


Figure I.6: Image de la plage Est de Sidi-Fredj.

4.1 Facteurs de l'évolution morpho dynamique

4.1.1 La dérive littorale

Dans la plage Est de Sidi-Fredj, nous observons le phénomène d'engraissement qui résulte de l'influence de la dérive littorale de Nord-est et entraîne les sédiments vers l'Ouest qui forment une zone d'accumulation à ce niveau, celle-ci est plus ou moins à l'abri des houles du Nord-Ouest pendant la saison hivernal. En effet, l'abri provoqué par le port contribue en grande partie au maintien des dépôts, au détriment de la zone Moretti et Club des Pins qui subissent une érosion.

4.1.2 Le régime sédimentologique

En ce qui concerne la plage de Sidi-Fredj, elle se caractérise par une population de grains avec un mode très voisin de 2.25mm. Ce mode est constant dans toutes les dunes et les plages. Les sables des dunes sont riches en éléments lourds qui sont de 5 à 20%, ou le quartz est le minéral le plus dominant de 50 à 75%. (Leclaire, 1972)

Les sédiments qui constituent les plages de Sidi-Fredj sont caractérisés par une médiane de 0.18mm (Lainser, 2007.) d'après la classification de (Monbet, 1982), la plage est caractérisée par un sable fin à des débris de coquilles.

Et enfin pour la nature de la couverture sédimentaire de la partie sous marine et d'après les travaux de Leclaire (1972), nous remarquons la répartition sédimentaire suivante :

- Sables et sablons siliceux : occupent les profondeurs entre (0 à -10m).
- Les boues silico-argileuses: occupent les profondeurs entre (-10 à -20m).
- Les sables et graviers calcaires : occupent les profondeurs entre (-20 à -50m).
- Les vases calcaréo-argileuses : occupent les fonds entre (-50 à -100m).

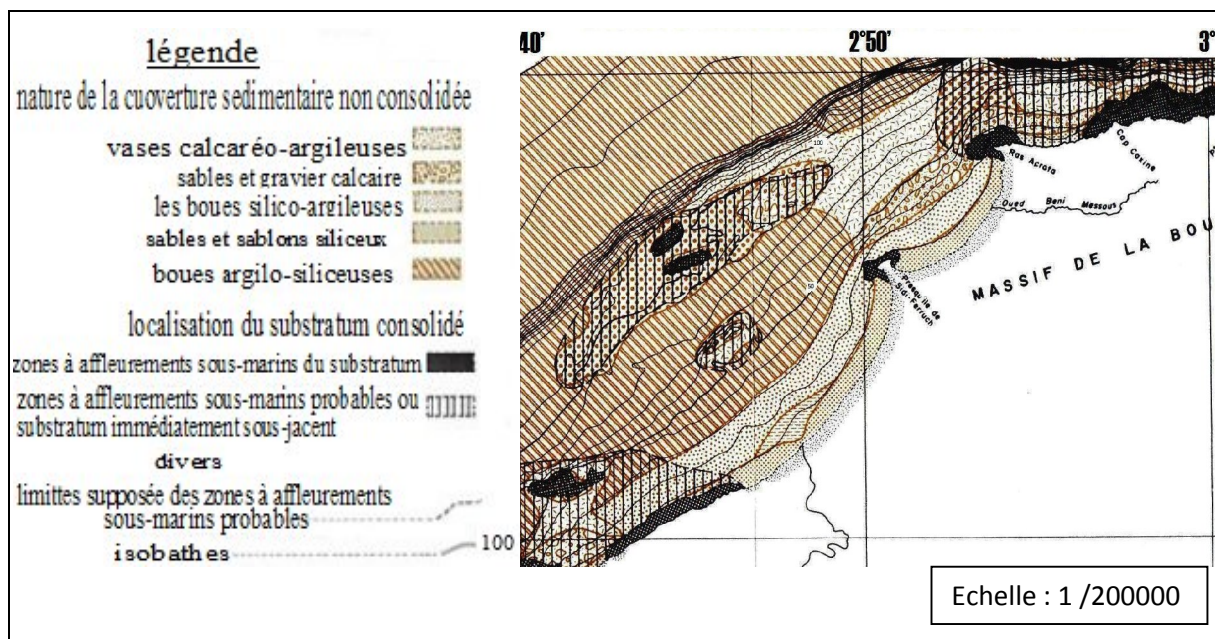


Figure I.7 : Nature de la couverture sédimentaire (Leclaire, 1972).

5 Aspects du milieu physiques et naturel

5.1 Le contexte morphologique

Le port de Sidi-Fredj est abrité par un promontoire rocheux qui forme une barrière étroite dont l'axe majeur est orienté Sud-ouest-Nord-Est.

En effet, à l'Est de la presqu'île de Sidi-Fredj, nous observons deux grandes étendues sableuses qui constituent les plages de Sidi Fredj, Moretti et Club des Pins.

Le littoral de la partie Ouest de la presqu'île est également constitué de plages : plage Ouest, Palm-Beach et Azur-Plage.

La plage sableuse Est est limitée par un cordon dunaire de sable éolien, qui s'adosse contre la jetée Sud de port de Sidi-Fredj et parcourt une large concavité parallèle à la cote rétrécissant vers le Sud- Est et l'Est.

De nombreux massifs rocheux, sous forme de platiers rocheux affleurent sous l'eau près de littorale.

Ces platiers s'étendent jusqu'au promontoire de Sidi-Fredj, mais actuellement, l'ensablement de la zone adjacente de jetée Sud du port a recouvert la plus part de ces affleurements.

Le seul et unique oued qui peut influencer sur cette plage c'est l'oued Beni Messous, situé à l'est de la plage, il prend source dans le grand Cheraga, traversant les communes de Bouzareah, Dely Brahim et Ain Benian, il débouche au niveau d'une plage appelé (Dunes) à environ 2 km du port de pêche et de plaisance d'El-Djamila.

Mais l'effet de l'oued Beni Messous dans la sédimentation de la plage de Sidi Fredj est faible. (LEM, 1999).

La morphologie du site peut être modifiée par les mouvements de mobilisation et de transfert sédimentaire.

5.2 Le contexte géologique

Les affleurements de la presqu'île de Sidi-Fredj sont les prolongements de l'important ensemble cristallin de la grande Kabylie, auquel se rattache le massif granitique de Thénia (Leclair, 1972).

Le substratum métamorphique de la presqu'île de Sidi-Fredj est constitué de granite et gneiss largement fissurés.

L'étude pétrographique du promontoire rocheux a différencié 4 types de gneiss ocellés :

Type1 : gneiss à foliation et lineation bien marquées, appelé "vieux gneiss" de teinte grise assez claire.

Type 2 : gneiss ocellé massif peu orienté de teinte claire.

Type3 : gneiss ocellé à grains fins bien lités de teinte claire, riche en quartz.

Type4 : gneiss ocellé présentant l'aspect d'un granite orienté avec une foliation moulante de phénocristaux.

La formation gneissique de Sidi Fredj est isolée des autres unités tectoniques du massif d'Alger et sa position dans l'édifice structural reste difficile à préciser.

6 Données climatiques, météorologiques et hydrologiques de la zone côtière de Sidi-Fredj

Comme toutes les zones du littoral méditerranéen, la plage Est de Sidi-Fredj bénéficie d'un climat méditerranéen tempéré, relativement froid et humide en hiver, chaud et humide en été.

6.1 Les températures de l'air

Les moyennes mensuelles des températures de l'air varient entre 11.7°C et 26.3°C . Le mois le plus chaud est le mois d'août et le mois le plus froid est le mois de janvier. (ONM).

6.2 Les vents

Dans la région de Sidi-Fredj, la répartition des vents est globalement concordante avec le régime des houles le long de l'année.

On constate que les vents du Nord-est sont fréquents durant l'été, ils confèrent un temps remarquablement tempéré, les vents de secteur Ouest l'emporte durant l'hiver, responsable d'un transport sableux éolien sur la plage Est. Leur vitesse moyenne est relativement faible, la moyenne maximale enregistrée ne dépasse pas 2m/s (données S.D.A.T, 1986), ce qui correspond à des vents modérés.

6.3 Les courants

Les courants littoraux algériens ne sont pas très puissants car les profondeurs sont faibles.

Des observations enregistrées par le KMNI (in Alsid chikh.,2008) montrent que :

Plus de 73% du temps, les courants ont une vitesse inférieure à 0,5 nœuds (<0,25m/s).

Plus de 90% du temps, ces courants ont une vitesse inférieure à 1 nœud (<0,5m/s).

Dans 1% du temps, ces courants ont une vitesse supérieure à 2 nœuds (>1m/s).

6.4 Les houles

Les observations des régimes annuels des houles dans les différents secteurs ont permis d'établir les statistiques suivantes :

La direction Nord-est devient importante durant la saison estivale avec des amplitudes de 3 à 4 mètres, ces houles sont responsables de la modification du profil de la plage se traduisant par un engraissement sensible.

La direction Est est également prépondérante en été, mais les houles sont faibles et sont réfractées assez sensiblement au niveau de la partie de Sidi Fredj Club des Pins qui est abrité de l'Est. Ils dominent du mois de juin au mois de septembre.

La direction Nord-Ouest est assez faible au cours de l'année, mais présente des houles assez fortes en période hivernale avec les plus grandes amplitudes. Les houles maximales peuvent atteindre 4 à 6 mètres d'amplitude.

La direction Ouest est très importante en hiver avec un membre assez important de houles supérieures à 3.25 mètres au large.

En conclusion, les statistiques des houles de la région de Sidi Fredj font apparaître deux régimes :

- 1- Les houles les plus fortes sont hivernal marquée par une direction Ouest dominante avec les plus grandes amplitudes.
- 2- En été les directions dominantes sont de secteur Est avec des amplitudes plus faibles (LEM 1963, 1970)

7 Indicateurs de pressions sur la zone côtière de Sidi-Fredj

- Les équipements d'hébergements touristiques, récréatives et de loisir, sont concentrés au Nord-Est et à l'Est de la presqu'île, le côté Nord-ouest est occupé par un ensemble d'habitations. (**figure I.8**)
- La fréquentation journalière, et celle des week-ends durant pratiquement toute l'année avec un rythme annuel de 80% par les plaisanciers.
- Le complexe touristique, le plus important de la région algéroise abrite les équipements suivants : Hôtel El-Marsa, Hôtel El-Riadh, Hôtel El-Mannar, théâtre plein air, restaurants centre commercial.
- Le village artisanal et l'activité de pêche qui attire beaucoup d'amateurs.
- Le chiffre de capacité augmente et dépasse les 300bateaux en période estivale.

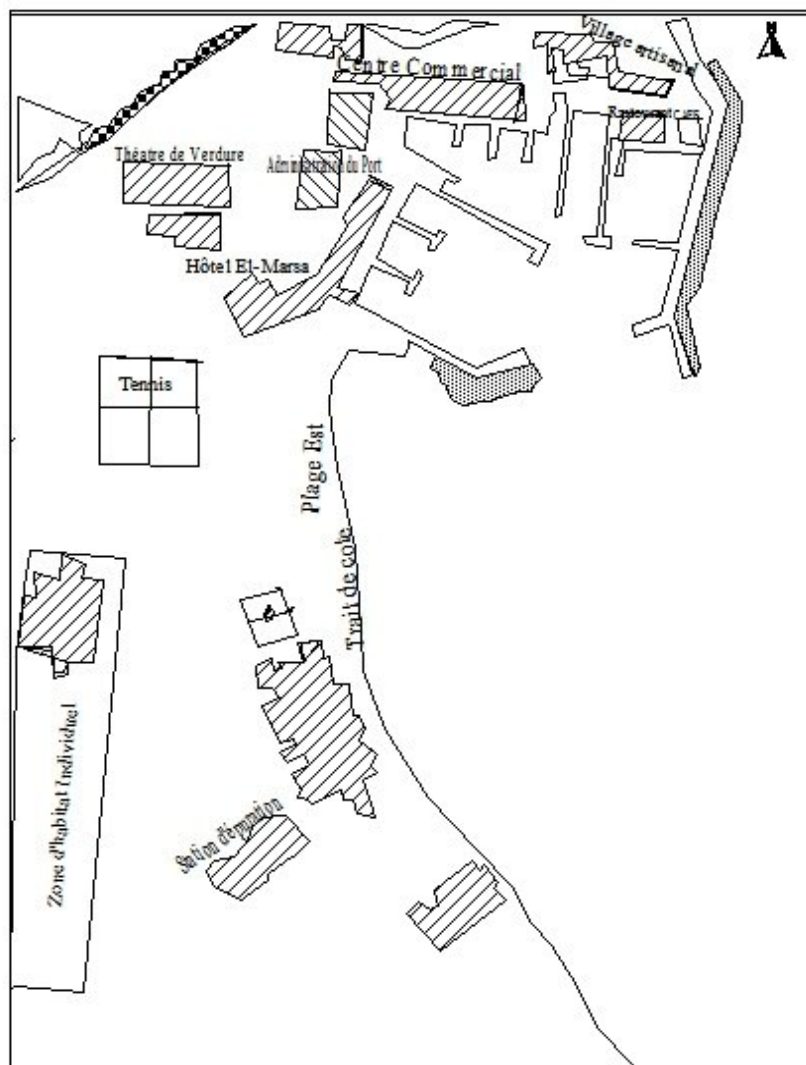


Figure I.8: Carte touristique de Sidi-Fredj.

1 Principes de la télédétection

1.1 Introduction

Les applications de la télédétection se sont multipliées, dans de nombreux domaines de la météorologie et de la climatologie, de l'océanographie, de la cartographie ou de la géographie. Quel que soit le domaine d'applications considérées, une bonne interprétation des documents de télédétection ou une bonne utilisation des données numériques nécessite la compréhension des principes physiques sur lesquels est fondée la technique de télédétection employée.

En océanographie, la télédétection offre l'avantage de permettre une vision synoptique de vastes régions qu'il est impossible d'obtenir par les moyens traditionnels (bateaux). Pour certaines études à petite échelle, les données des satellites météorologiques sont largement utilisées en océanographie (températures de surface de l'océan) ; pour les études côtières, ce sont les satellites de télédétection terrestre, équipés de capteurs à haute résolution, qui sont les plus utiles. Des satellites spécialisés à vocation océanographique ont volé dans un passé récent (Nimbus, Seasat) depuis le début des années 90. (ERS-1 de l'Agence Spatiale Européenne, TOPEX-Poseidon).

1.2 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.». (CCT)

1.3 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.

1.4 Systèmes de télédétection

1.4.1 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**".

1.4.2 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 capteurs doit être utilisé, il s'agit des capteurs dit « actifs ». 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. Le capteur actif le plus couramment employé en télédétection est le "**Radar**".

1.5 Bases physiques de la télédétection

1.5.1 Le rayonnement électromagnétique

Le rayonnement électromagnétique est constitué d'un champ électrique **E** et d'une induction magnétique **B**. (**Figure II.1**)

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 $\sigma = 1 / \lambda$, c : vitesse de la lumière).
- Polarisation (parallèle ou perpendiculaire)
- Phase

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

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

Avec h : la constante de Planck ($6,625 \times 10^{-34}$ W S²).

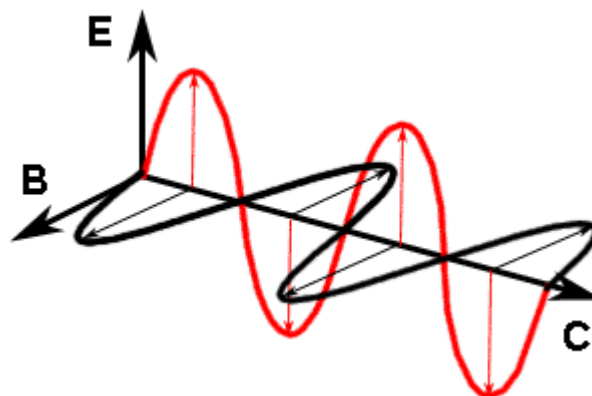


Figure II.1 : Ondes électromagnétiques. (Stéphane, 2008)

1.5.2 Spectre du rayonnement électromagnétique

Le domaine dans lequel la longueur d'onde des ondes électromagnétiques peut varier est très vaste et correspond au **spectre du rayonnement électromagnétique**. Une partie seulement de ce spectre est utilisée en télédétection en raison de l'absorption du rayonnement électromagnétique par l'atmosphère. Par exemple, l'atmosphère est opaque aux rayons X et Gamma, aux ultraviolets, ainsi qu'aux rayonnements de longueurs d'onde comprises entre 14 μ m et 1 mm.

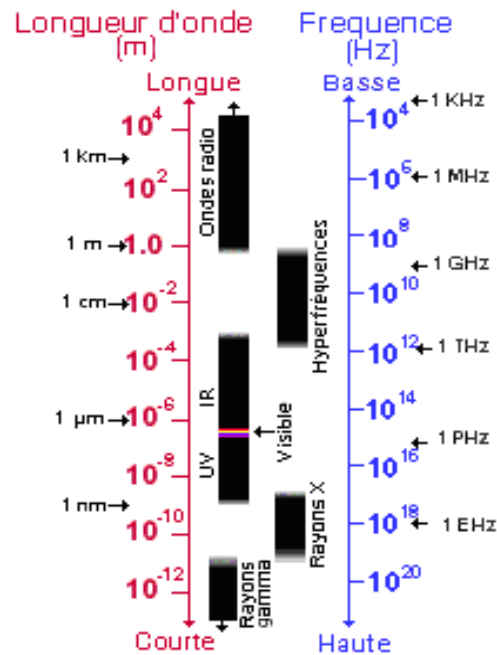


Figure II.2 : Représentation du spectre électromagnétique (CCT)

Les principales zones dans lesquelles des mesures sont possibles en télédétection sont :

- le **domaine optique** ou **domaine solaire** comprenant le **violett** : 400–446 nm / **bleu** : 446–500 nm / **vert** : 500–578 nm / **jaune** : 578–592 nm / orange : 592–620 nm / **rouge** : 620–700 nm), le **proche infrarouge** (700–1200nm) et le **moyen infrarouge** (1200–3000 nm) : les données acquises par télédétection sont corrélées aux quantités de rayonnement solaire réfléchies par les objets ou matériaux à la surface terrestre. Ce rayonnement est en partie intercepté par l'atmosphère.
- l'**infrarouge thermique** (3–100 μ m) : les signatures spectrales des objets dépendent de leur température de surface.
- L'atmosphère absorbe les rayonnements de longueurs d'onde comprises entre 13 et 100 μ m.
- les **hyperfréquences** ou **micro-ondes** (0.1 mm – 1 m) : entre 0.1 mm et 1 cm, les composants de l'atmosphère (surtout H₂O et O₂) absorbent sélectivement le rayonnement électromagnétique de sorte que ce domaine est utilisé pour les sondages atmosphériques.

- En revanche, l'atmosphère n'absorbe plus le rayonnement de longueurs d'onde supérieures à 2 cm, rendant possible une télédétection à travers les nuages.

1.6 Interactions avec l'atmosphère

Avant que le rayonnement utilisé pour la télédétection n'atteigne la surface de la Terre, celui-ci doit traverser une **certaine épaisseur d'atmosphère**. Les particules et les gaz dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident. Ces effets sont causés par les mécanismes de **diffusion** et d'**absorption**.

1.6.1 Diffusion

La diffusion se produit lors de l'interaction entre le rayonnement incident et les particules ou les grosses molécules de gaz présentes dans l'atmosphère. Les particules dévient le rayonnement de sa trajectoire initiale. Le niveau de diffusion dépend de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules, et l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir.

Il existe trois types de diffusion :

- la diffusion de Rayleigh.
- la diffusion de Mie.
- la diffusion non-sélective.

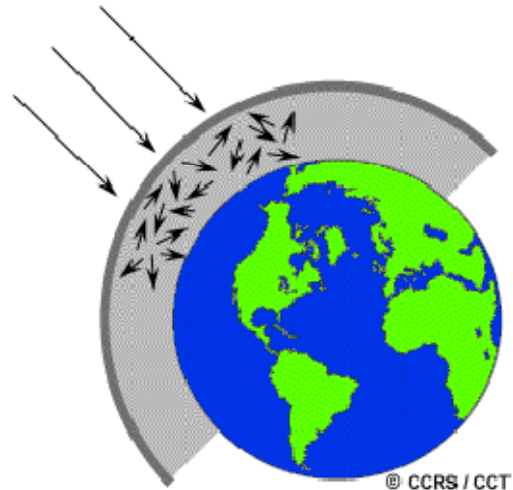


Figure II.3: Diffusion du rayonnement (CCT)

1.6.1.1 La diffusion de Rayleigh

Se produit lorsque la taille des particules est inférieure la longueur d'onde du rayonnement. Celles-ci peuvent être soit des particules de poussière ou des molécules d'azote ou d'oxygène. La diffusion de Rayleigh disperse et dévie de façon plus importante les courtes longueurs d'onde que les grandes longueurs d'onde. Cette forme de diffusion est prédominante dans les couches supérieures de l'atmosphère.

1.6.1.2 Diffusion de Mie

Lorsque les particules sont presque aussi grandes que la longueur d'onde du rayonnement. Ce type de diffusion est souvent produit par la poussière, le pollen, la fumée et l'eau. Ce genre de diffusion affecte les plus grandes longueurs d'onde et se produit surtout dans les couches inférieures de l'atmosphère où les grosses particules sont plus abondantes. Ce processus domine quand le ciel est ennuagé.

1.6.1.3 Diffusion non-sélective

Ce genre de diffusion se produit lorsque les particules (les gouttes d'eau et les grosses particules de poussière) sont beaucoup plus grosses que la longueur d'onde du rayonnement. Nous appelons ce genre de diffusion "non-sélective", car toutes les longueurs d'onde sont dispersées. Les gouttes d'eau de l'atmosphère dispersent le bleu, le vert, et le rouge de façon presque égale, ce qui produit un rayonnement blanc (lumière bleue + verte + rouge = lumière blanche).



Figure II.4 : Diffusion non-sélective du rayonnement.

Tableau II.1: Diamètre des divers types de particules atmosphériques diffusantes et absorbantes. (Girard, 2004)

Diamètres des particules	Types de prticules
1-500 nm	Noir de charbon, sulfates, nitrates...
0.5-50 μm	Fumées industrielles, brouillard, poussières...
10-100 μm	Pollens, cendres...
20-300 μm	Nuages, brume...
0.5-5 mm	Gouttes de pluie...

1.6.2 L'absorption

L'absorption survient lorsque les grosses molécules de l'atmosphère (ozone, bioxyde de carbone et vapeur d'eau) absorbent l'énergie de diverses longueurs d'onde. L'ozone absorbe les rayons ultraviolets qui sont néfastes aux êtres vivants. Le bioxyde de carbone est un gaz qui contribue à l'effet de serre. Ce gaz absorbe beaucoup de rayonnement dans la portion infrarouge thermique du spectre et emprisonne la chaleur dans l'atmosphère.

La vapeur d'eau dans l'atmosphère absorbe une bonne partie du rayonnement infrarouge de grandes longueurs d'onde et des hyperfréquences de petites longueurs d'onde qui entrent dans l'atmosphère (entre 22 μm et 1m). La présence d'eau dans la partie inférieure de l'atmosphère varie grandement d'un endroit à l'autre et d'un moment à l'autre de l'année.

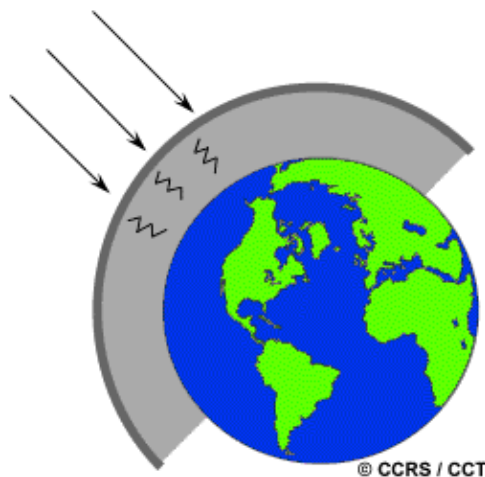


Figure II.5: L'absorption du rayonnement

Tableau II.2 : L'absorption de la radiation solaire par les différents constituants de l'atmosphère

Constituant de l'atmosphère	Bandes d'absorption (μm)
La vapeur d'eau	0.72 ; 0.82 ; 0.94 ; 1.10 et au delà
L'oxygène	0.63 ; 0.69 ; 0.76 dans le visible
Le dioxyde de carbone	1.6 ; 2 (bande étroite) 2.25 ; 4.15 (bande forte)
L'ozone	0.2 ; 0.3 (dans l'ultraviolet) 0.45 ; 0.77 (dans le visible)

Parce que ces gaz et ces particules absorbent l'énergie électromagnétique dans des régions spécifiques du spectre, ils influencent le choix de longueurs d'onde utilisées en télédétection. Les régions du spectre qui ne sont pas influencées de façon importante par l'absorption atmosphérique, et qui sont donc utiles pour la télédétection, sont appelées les fenêtres atmosphériques. En comparant les caractéristiques des deux sources d'énergie les plus communes (le Soleil et la Terre) avec les fenêtres atmosphériques disponibles, nous pouvons identifier les **longueurs d'onde les plus utiles pour la télédétection**. La portion visible du spectre correspond à une fenêtre et au niveau maximal d'énergie solaire. Notons aussi que l'énergie thermique émise par la Terre correspond à une fenêtre située à près de 10 mm dans la partie de l'infrarouge thermique du spectre. Dans la partie des hyperfréquences il existe une grande fenêtre qui correspond aux longueurs d'onde de plus de 1 mm.

Tableau II.3 : Les principales fenêtres atmosphériques (CCT)

Fenêtre	De	à
Ultraviolet et visible	0.35	0.75 μm
Proche infrarouge	0.77	0.91 μm
	1.0	1.12 μm
	1.19	1.34 μm
Infrarouge	1.55	1.75 μm
	2.05	2.04 μm
Infrarouge thermique	3.35	4.16 μm
	4.5	5.0 μm
	8.0	9.2 μm
	10.2	12.4 μm
	17.0	22.0 μm
Hyperfréquences	2.06	2.22 mm
	3.0	3.75 mm
	7.5	11.5 mm
	20.0 mm	Et au delà

1.7 Interaction avec la matière

1.7.1 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 coefficient de réflexion ou réluctance. La réflexion peut être spéculaire (dirigée entièrement dans une seule direction), ou diffuse (dirigée dans toutes les directions).

1.7.2 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.

1.7.3 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.

1.7.4 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.

1.7.5 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.

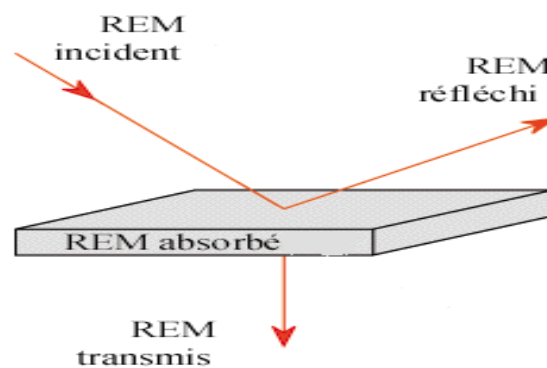


Figure II.6 : Relation entre absorption, réflexion et transmission

Tous les corps réfléchissent ou émettent des flux énergétiques sous forme de rayonnement, la variation relative de l'énergie réfléchi 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.

1.7.6 La réflectance (R)

La réflectance est le rapport entre l'énergie réfléchi par l'objet et l'énergie reçue, elle s'exprime en pourcentage.

1.7.7 La luminance (L)

La luminance correspond à ce que reçoit le capteur qui intègre les divers effets atmosphériques.

1.8 Les satellites

Un satellite est un objet spatial qui tourne autour de la terre destiné à recueillir des informations sur celle-ci. Les satellites sont équipés de radiomètre qui capte 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 de satellite généraux : géostation et défilement.

1.8.1 Les satellites géostationnaires

Les satellites géostationnaires sont installés sur une orbite circulaire dans le plan de l'Equateur (inclinaison nulle), et de période égale à la durée d'une rotation de la Terre sur elle-même (orbite géosynchrone). L'altitude est d'environ 35 800 km. Ces satellites apparaissent donc stationnaires, à une longitude donnée, face à l'Equateur. Le champ de vision d'un satellite géostationnaire s'étend de 60° N à 60° S, et sur 120° de longitude. En revanche, la résolution spatiale est limitée par l'éloignement de la Terre.

1.8.2 Satellite bas à défilement

Il permet une observation cyclique de la terre. Il est habituellement **héliosynchrone**, c'est-à-dire qu'il passe au-dessus d'une même zone quand il traverse l'équateur au même heur. Il est animé d'un mouvement relatif important par rapport à la terre, et évolue à une altitude (200 à 1500Km) et d'une période inferieur à deux heures. (**Girard, 1989**)

1.8.2.1 Les satellites Landsat

A l'origine administré par la NASA, le programme américain de télédétection spatiale Landsat est exploité depuis 1978 par une entreprise privée américaine (EOSAT) et vise à offrir des données de télédétection de façon continue, pour l'inventaire et la surveillance des ressources terrestres. Le programme Landsat (Land Satellite), originalement appelé ERTS (Earth Resources technology satellite), débutait effectivement en juillet 1972 avec le lancement, à une altitude d'environ 900 km, du premier satellite de la série. (**Ferdinand, 1996**)

La série des Landsat comportent 5 satellites :

- Landsat 1 lancé le 23 juillet1972
- Landsat 2 lancé le5 novembre 1975, retiré le 27 juillet 1983
- Landsat 3 lancé le 5 mars 1978, retiré le 7 septembre 1983
- Landsat 4 lancé le 16 juillet1982
- Landsat 5 lancé le 1^{er} mars 1984.

Ils donnent tous des images de 180km× 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 1,2et3, il ya un capteur RBV (Return Beam Vidicon) qui donne les trois bandes spectrales de visible et un capteur MSS (Multispecral Scanning System), qui donnent quatre bondes spectrales. la résolution est de 56m × 79m.

Sur Landsat 4 et 5, il ya le même capteur MSS avec les même bondes. En plus, il ya le capteur TM (Thematic Mapper) qui a sept bandes spectrales :

- Bande1: 450 - 520 nm
- Bande2: 530 - 610 nm
- Bande3: 620 - 690 nm
- Bande4: 780 - 910 nm
- Bande5: 1,57 - 1,78 μm
- Bande6: 10,4 - 12,6 μm
- Bande7 : 2,10 - 2,35 μm

La résolution est de 30m×30m, sauf pour la canal 6 : 120m × 120m. (**Girard, 1989**)

1.8.2.2 Le satellite Spot

Le système SOPT est un système pour l'observation de la terre, est un satellite conçu par le Centre National d'Études Spatiales (CNES), réalisé par la France en association avec la Suède et la Belgique (mi-1979). IL a été lancé le 22 février 1986.

L'inclinaison de plan de l'orbite : 98°,77 et l'altitude du satellite : 818 km à l'équateur et 833 km à l'apogée permettent de réaliser une orbite héliosynchrone. Le plan de l'orbite tourne de lui-même autour de l'axe de la terre en faisant un tour par an. À la même altitude, le satellite passe donc à la même heure locale. Il est maintenu sur sa trajectoire, grâce à des propulseurs d'appoint déclenchés par télécommande. (**Girard, 1989**)

Les satellites Spot présente de nettes améliorations par rapport aux satellites LANDSAT avec limite de résolution beaucoup plus fine et possibilité de stéréoscopie avec des rapports base-hauteur permettant, pour la première fois d'extraire la topographie avec précision. (**Ferdinand Bonn, 1996**)

Tous les satellites SPOT ont deux balayeurs multi bandes HRV (haute résolution visible) à barrettes, qui peuvent être opérés indépendamment ou simultanément.

Chaque HRV peut capter deux modes : mode panchromatique et mode multispectrale

✓ Mode panchromatique P

Les images sont obtenues à partir de données acquises dans une seule bande spectrale, correspondant à la partie visible du spectre à l'exception du bleu. La bande couvre la région du spectre comprise entre 0.51 et 0.73 μm . Avec ce mode d'acquisition à un seul canal, seules des images en noir et blanc peuvent être obtenues. La largeur du pixel est de 10 m (**Tableau II.4**). Ce type d'image est avant tout destiné aux applications nécessitant une grande précision géométrique.

✓ Mode multispectrale "XS"

Ce mode est constitué à partir de trois bandes spectrales :

- La bande verte B1 : couvre la partie du spectre allant de 0.51 à 0.59 μm (jaune- vert)
- La bande rouge B2 : de 0.61 à 0.68 μm (rouge)

- La bande proche infrarouge B3 : de 0.79 à 0.89 μm (proche infra rouge)

Les images sont des compositions colorées obtenues par combinaisons des données de ces trois canaux. La taille du pixel est de 20m (**Tableau II.4**)

Tableau II.4 : Caractéristique des séries de Spot (Girard, 1989)

Mode	Spot 1.2.3	
	Multispectral(XS)	Panchromatique (P)
Bandes spectrales	B1 : 0.51- 0.59 μm B2 : 0.61- 0.68 μm B3 : 0.79- 0.89 μm	0.51 - 0.73 μm
Pixel (résolution)	20x20 m	10x10 m
Nombre pixels par ligne	3000	6000
Largeur scène (visée verticale)	60x60 Km	60x60 Km
Compression données à bord	néant	DPCM (3 /4)

Tableau II.5 : Caractéristiques principales des capteurs MSS et TM de Landsat et HRV de Spot (Ferdinand Bonn, 1996)

	LANDSAT MSS	LANDSAT RBV	LANDSAT-4-5 TM	SPOT-1-2 HRV
Bandes spectrales (en μm)	0.5 - 0.6 MSS4 0.6 - 0.7MSS5 0.7 - 0.8 MSS6 0.8 -1.1 MSS7 10.5 à12.4 MSS8 (LANDSAT-3)	0.5à 0.75	0.45 - 0.52 TM1 0.52 - 0.60 TM2 0.63 - 0.69 TM3 0.76 - 0.90 TM4 1.55 - 1.75 TM5 10.4 - 12.5 TM6 2.10 -2.35 TM7	0.50 - 0.59XS1 0.61 - 0.69XS2 0.79 - 0.90XS3 0.51 - 0.73(P)
Résolution	80m 240m IR therm.	40m	30m 120m IR therm. TM6	20m (XS) 10m (P)
Heure locale au nœud Descendant	9 h 30	9 h 30	9 h 30	10 h 30
Largeur de balayage	185km	185km	185km	2x60 jours Orientable dans \pm 400km
répétitivité	18 jours	18 jours	16 jours	16 jours Accessibilité En tout point de globe en 5 jours maximum

2. Etude bathymétrique des zones côtières

La télédétection multispectrale apporte une solution avantageuse aux problèmes posés par l'étude bathymétrique, elle a été élaborée dans les années soixante-dix à l'aide d'images 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)

2.1 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 (Figure II.7) 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 θ_0 , une partie est réfléchiée 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)

2.1.1 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)

2.1.2 Propriétés optiques apparentes

Les propriétés optiques apparentes sont dépendantes des propriétés optiques inhérentes et de l'éclairement 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)

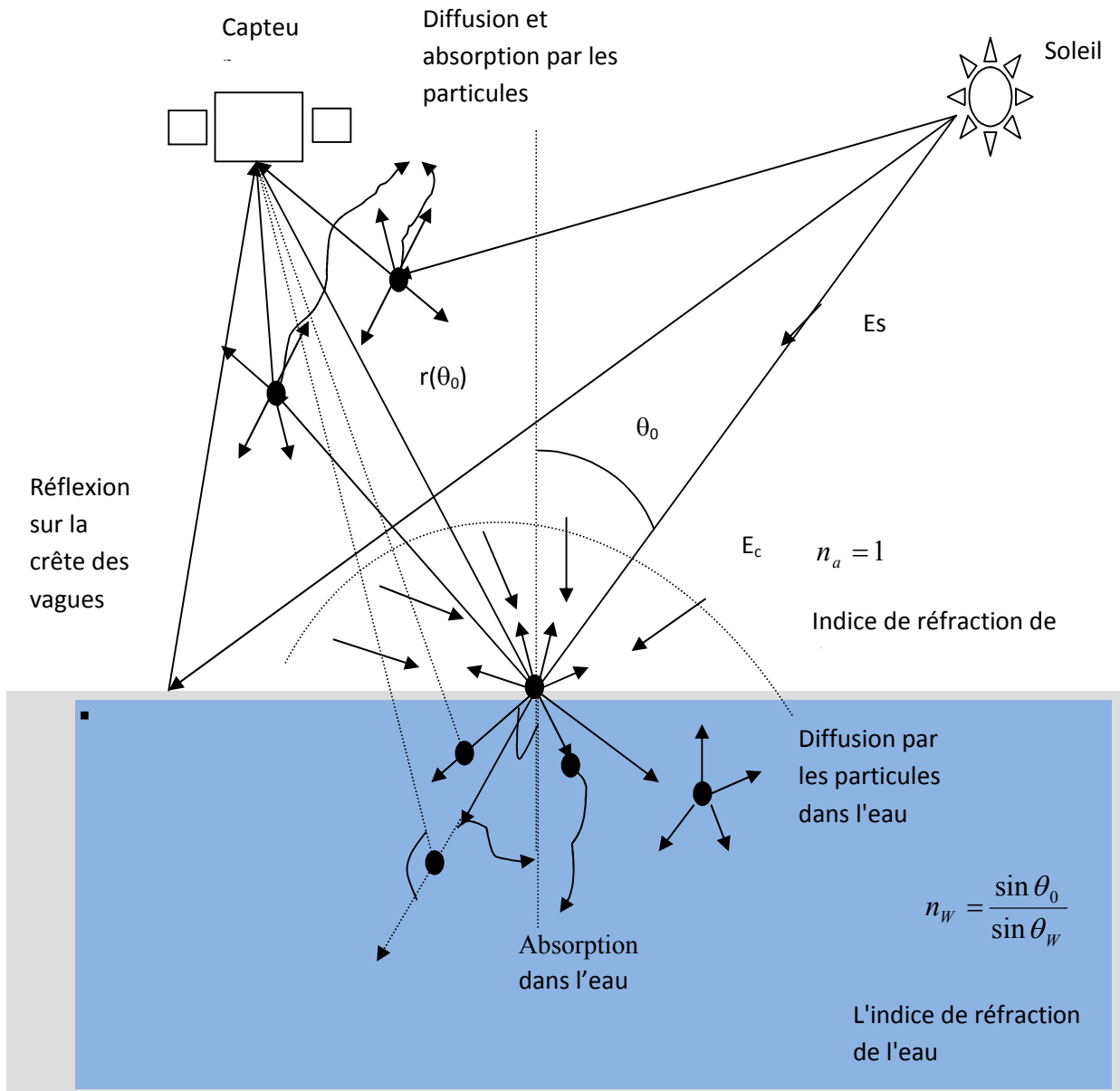


Figure II.7 : Rayonnement solaire dans la masse d'eau. (Sturm.1980)

2.1.3 Propriétés spectrales de l'eau de mer

2.1.3.1 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 $\varphi(\lambda)$ traverse une lame d'eau d'épaisseur dx , une fraction $d\varphi(\lambda)$ du flux incident, proportionnelle à dx et à $\varphi(\lambda)$ est absorbée.

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

$$d\varphi(\lambda) = -a_w(\lambda)\varphi(\lambda)dx \dots\dots\dots(2.2)$$

$a_w(\lambda)$: a pour dimension l'inverse d'une longueur (m^{-1}). Si à la distance $x=0$, le flux incident est égal à $\varphi_0(\lambda)$, le flux qui sera absorbé à la distance x est alors donnée par :

$$\varphi(\lambda) = \varphi_0(\lambda) \exp(-a_w(\lambda)x) \dots\dots\dots(2.3)$$

2.1.3.2 Le coefficient de diffusion.

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

$$\varphi(\lambda) = \varphi_0(\lambda) \exp(-b_w(\lambda)x) \dots\dots\dots(2.4)$$

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

2.1.3.3 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 suivante :

$$\omega_0 = \frac{b}{c} = \frac{b}{a+b} \dots\dots\dots(2.5)$$

où : a est l'absorption totale (m^{-1})

b est le coefficient de diffusion

$c = a + b$: est le coefficient d'atténuation totale. (**Ferdinand, 1996**)

2.1.3.4 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**)

$$c_w(\lambda) = a_w(\lambda) + b_w(\lambda) \dots\dots\dots(2.6)$$

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**)

2.1.4. 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). (**Robin, 2002**)

Les particules minérales et les détritits biogènes sont parfois englobés sous le terme général de tripton (particules non vivantes). (**Sturm, 1980**)

2.1.4.1 Substances dissoutes ou en suspension

2.1.4.1.1 Propriétés optiques du phytoplancton vivant et des détritits biogènes associés

Dans les conditions naturelles, il est très difficile de séparer les effets du phytoplancton et des détritits 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 détritits 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. (**Fisher, 1994 in Thèse de Houma, 2005**)

2.1.4.1.2 Propriétés optiques des particules minérales en suspension

Ces particules ont une influence 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 500et600nm. (**Prieur, 1981**)

2.1.4.1.3 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. (**Prieur, 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. (**Prieur, 1975**)

2.1.4.2 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 télédétection destinées à la bathymétrie et la cartographie des types de fonds marins.

2.2 Problèmes posés par l'étude bathymétrique

L'eau présente un certain nombre de propriétés qui influent de façons significatives 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. (Houma et al., 2006)

La qualité de l'eau est un 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.

Tableau II.6 : Synoptique des composantes de l'atténuation d'après.(Jerlov, 1968)

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 floculats 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)

2.2.1 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.

$$E(\lambda) = \varphi_i(\lambda) - [\varphi_r(\lambda) + \varphi_a(\lambda)] \dots \dots \dots (2.7)$$

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)

2.2.2 Les composantes du signal radiométrique

2.2.2.1 Première approche

Le signal total S_t reçu 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.

$$S_e = S_s + S_d + S_f \dots \dots \dots (2.8)$$

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.

2.2.2.2 Radiance atmosphérique

L'intensité de la rétrodiffusion atmosphérique est proportionnelle à la densité des aérosols (nucléi-hygroscopiques) et des poussières en suspension dans l'air, qui croît 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.

2.2.2.3 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)

2.3 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.

2.3.1. 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_λ pénètre la masse d'eau, une partie est réfléchie de façon spéculaire :

$$I_1 = G_\lambda \rho_s(\lambda) \dots \dots \dots (2.9)$$

avec : $\rho_s(\lambda)$: la fréquence de l'eau .

2.3.2. 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 :

$$I = (G_\lambda - I_1 - I_2) \omega_0 \dots\dots\dots(2.10)$$

Avec : G_λ : radiation globale atteignant la surface.

I_1 : radiation réfléchie spéculairement à la surface.

I_2 : radiation réfléchie par le fond.

ω_0 : albédo de diffusion de l'eau.

2.3.3. 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 :

$$I_2 = (G_\lambda - G_\lambda \rho_s) \exp(-k \cdot z \cdot \cos(\theta_z)) R_a \cdot \exp(-k \cdot z \cdot \cos(\theta_v)) \dots\dots\dots(2.11)$$

Avec R_a : réflectance du fond.

e^{-kzf} : 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.

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

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

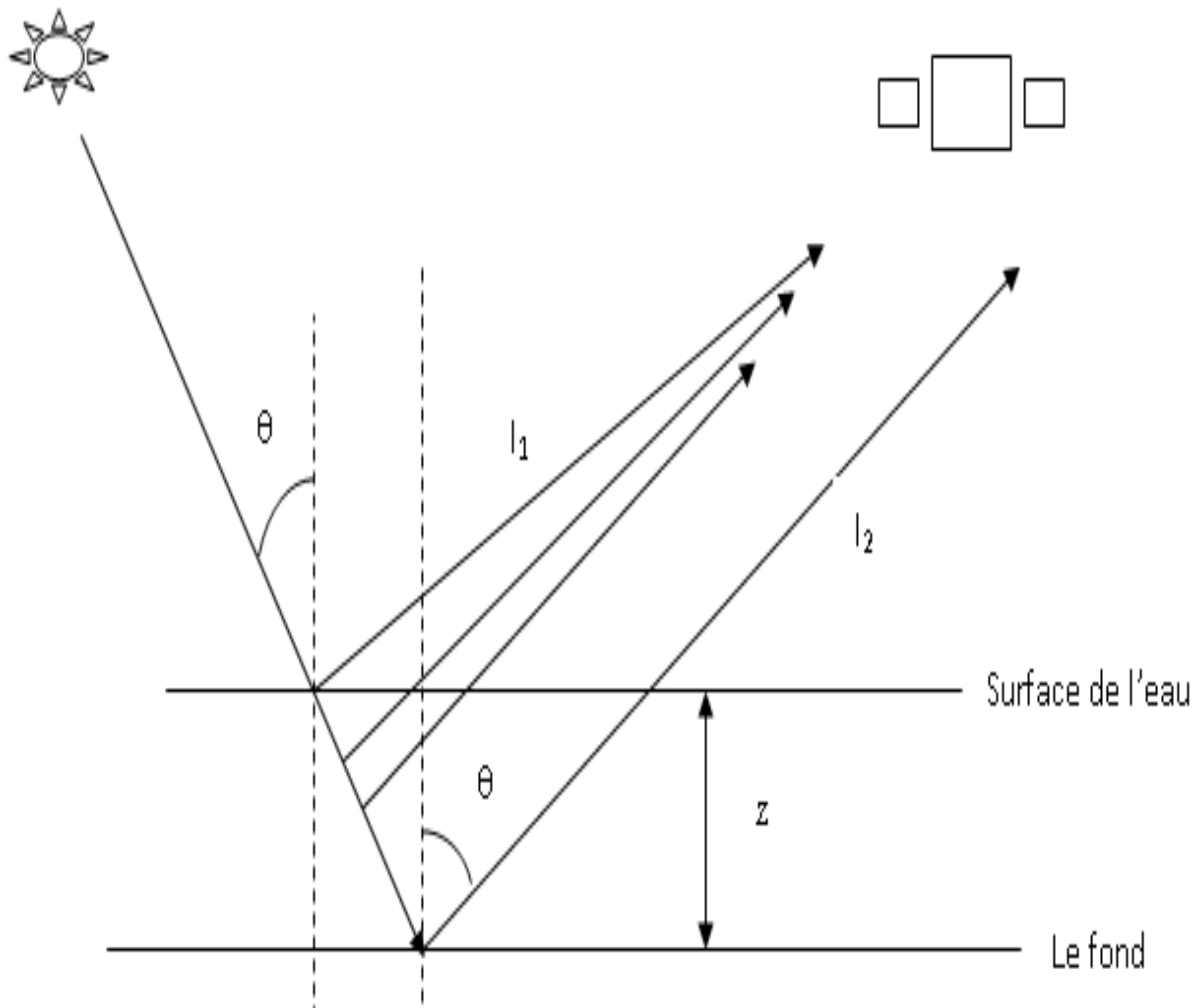


Figure II.8: Trajet du rayonnement dans une masse d'eau

2.4 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.

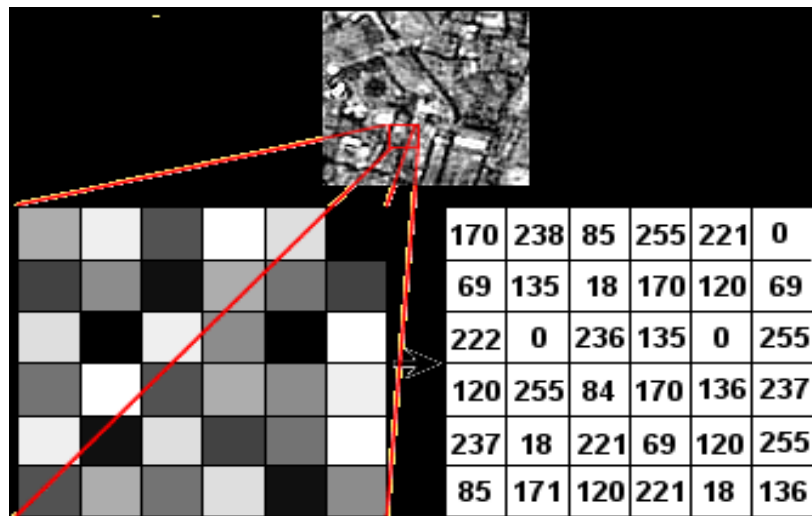


Figure II.9: Le pixel dans l'image numérique

II.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

1 Campagnes en mer

Deux campagnes ont été réalisées. Les prélèvements de la première campagne ont été effectués le 12.04.2010, dans des conditions de mer agitée, température de 21°C, temps nuageux et vent de 10 à 20 nœuds de direction Nord Ouest. 14 stations ont été effectuées pour les prélèvements d'eau de mer et de sédiments.

La deuxième campagne a eu lieu le 12.05.2010, dont le but était de déterminer les profondeurs de 103 stations qui sont mentionnées en Annexe.

Nous avons tenté de couvrir le port et la plage Est de Sidi-Fredj à bord d'une petite embarcation.

2 Choix et localisation des stations

Les 14 stations désignées pour les prélèvements des échantillons sont représentées dans la (Figure III.1)

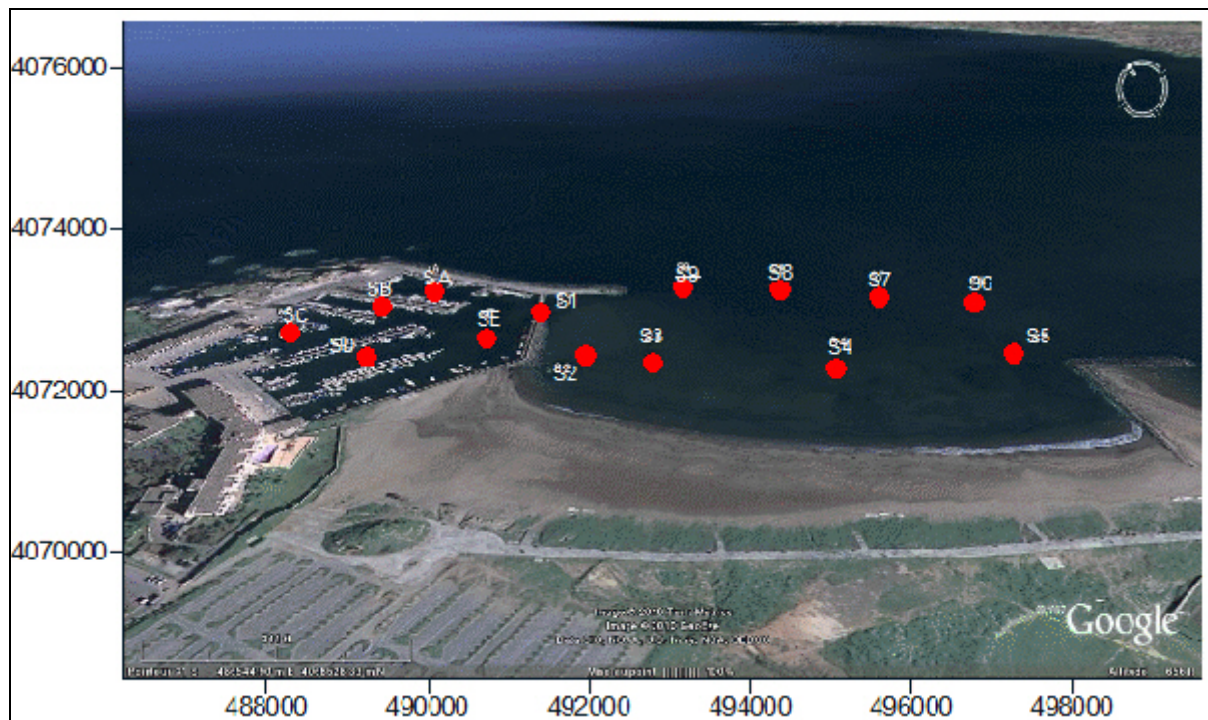


Figure III.1: Localisation des stations de prélèvement dans le port et la plage Est de Sidi-Fredj.

Les profondeurs, le positionnement et la nature du fond des stations que nous avons choisi dans la plage Est et le port de Sidi-Fredj sont représentées dans les **tableaux III.1** et **III.2** respectivement.

Tableau III.1 : Positionnement des échantillons prélevés dans la plage Est de Sidi-Fredj

stations	Profondeurs (m)	positionnement	Nature de fond
1	1	36°45'48.49'' 2°50'56.77''	Sédiment
2	1	36°45'45.48'' 2°50'55.46''	Sédiment
3	1.5	36°45'44.34'' 2°50'56.65''	Sédiment
4	2	36°45'41.91'' 2°51'00.32''	Sédiment
5	2.5	36°45'40.33'' 2°51'04.82''	Roche
6	5	36°45'43.06'' 2°51'06.51''	Sédiment
7	5	36°45'44.73'' 2°51'05.25''	Sédiment
8	5.5	36°45'46.60'' 2°51'03.26''	Roche
9	5.5	36°45'48.03'' 2°51'00.95''	Roche

Tableau III.2: Positionnement des échantillons prélevés dans le port de Sidi-Fredj.

station	profondeurs	position	Nature du fond
A	4	36°45'61.73'' 2°50'55.31''	Sédiment
B	3	36°45'50.83'' 2°50'52.33''	Sédiment
C	1.5	36°45'50.51'' 2°50'49.40''	Sédiment
D	2	36°45'48.13'' 2°50'50.66''	Sédiment
E	1.5	36°45'47.72'' 2°50'53.98''	Sédiment

3 Appareillage et technique de prélèvement

3.1 Les paramètres physico-chimiques

Les paramètres physicochimiques mesurés sont la température (T), l'oxygène dissous, la salinité (S), le potentiel d'hydrogène (pH), la conductivité, la turbidité et la matière en suspension (MES). Leurs mesures sont importantes pour décrire les propriétés hydrologiques de l'eau de mer et pour expliquer l'atténuation de rayonnement dans les profondeurs.

3.1.1 Prélèvement d'eau de mer et mesures in situ

Des échantillons d'eau de mer ont été prélevés à chaque station à la surface de la mer, ces échantillons sont destinés à l'analyse physico-chimique in situ. A bord de l'embarcation d'une manière systématique, plusieurs paramètres ont été lus à l'aide d'une valise multi paramètres de type (multiline F/SETW.T.W. wissenschaftlith, technische, werstaten).



Figure III.2 : Valise multi paramètres

Pour l'oxygène dissous nous avons utilisé un Oxymètre de terrain muni d'une sonde électrolytique qui permet la mesure de la température ($^{\circ}\text{C}$) et de l'oxygène dissous (mg /l).

Pour la salinité (en PSU) et conductivité (ms/cm), nous avons utilisé un conductimètre de terrain, pour le Ph un pH-mètre.

Nous notons qu'avant chaque série de mesures, nous avons étalonné l'appareil avec une solution tampon après l'avoir rincée avec de l'eau distillée pour éviter la contamination de la solution de calibrage.

L'eau recueillie à chaque fois est mise dans des piluliers étiquetés pour chaque station, qui sert par la suite à la mesure de la matière en suspension après la filtration au laboratoire.

3.1.2 Principe de mesure de la matière en suspension(MES)

Cette mesure consiste à filtrer l'eau sur une membrane poreuse afin de retenir les particules supérieures à $0.45\mu\text{m}$, (**Aminot et Chaussepied, 1983**). La teneur en matière en suspension est ainsi obtenue par la différence de poids du filtre avant et après filtration apporté au volume d'eau filtré.

Première étape : préparation des filtres au laboratoire :

- Numéroté les boites de pétries
- Sécher les filtres dans l'étuve à 60°C pendant 1heure et 30minutes
- Laisser refroidir au dessiccateur
- Peser chaque filtre à l'aide d'une balance à précision et noter le poids (P1).
- Replacer aussitôt chaque filtre dans sa boîte à l'abri de la poussière.

Deuxième étape : filtration de l'eau de mer :

- Agiter l'échantillon prélevé avant sa filtration.
- Mesurer le volume à filtre (500ml).

- Filtration de l'échantillon sur le filtre à 0.45µm de porosité grâce a une pompe à vide.
- Supprimer l'aspiration dès que le filtre est à sec.
- Verser alors 5 à 10ml d'eau distillée sur le filtre et aspirer de nouveau.
- Recommencer une seconde fois cette opération de rinçage.
- Après rinçage remettre chaque filtre dans sa boîte numéroté pendant 48heures.
- Procéder à une deuxième pesée des filtres et noter le poids (P2).



Figure III.3: Rompe de filtration

Les concentrations de la matière en suspension (MES) s'obtiennent par la formule suivante :

$$\text{MES mg/l} = (p2-p1)/V \dots\dots\dots (3.1)$$

Avec : P1 : Poids de filtre avant filtration

P2 : Poids de filtre après filtration

La répartition de la matière en suspension dans l'eau de mer, dépend des propriétés physico-chimiques et des facteurs hydrodynamiques.

3.2 Analyse des sédiments

3.2.1 Prélèvement de sédiment

Les prélèvements des sédiments sont effectués à l'aide d'une benne inoxydable (Van Veen) qui permet de prélever le sédiment sur une surface de 1/10mètre, la benne reliée à un câble est descendue ouverte, au contact de fond, elle se ferme en piégeant les sédiments. Les échantillons sont recueillis directement en sachets ordinaires en plastiques doubles, bien fermés et étiquetés portant le numéro de chaque station.

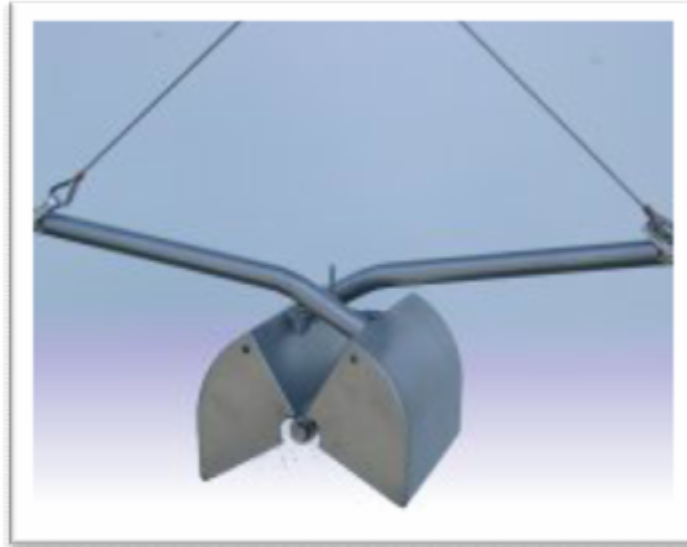


Figure III.4: Benne Van Veen actionnée à la main

3.2.2 Travail réalisé au laboratoire

Le travail consiste à l'étude granulométrique, la fraction pelitique et le dosage des carbonates de calcium (CaCO_3).

L'étude granulométrique est la technique de détermination du diamètre de grain et des proportions relatives des différentes tailles.

L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux phases.

- une phase technique expérimentale conduisant à l'évaluation en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale de sédiment
- une phase d'interprétation des résultats obtenus.

pour cela nous avons procédé de la manière suivante:

- Traitement des résultats sous forme de fiches granulométriques.
- Représentation graphique en courbe cumulatives et histogrammes de fréquence
- Exploitation des résultats pour la représentation des cartes et les différents indices et paramètres granulométriques

3.2.2.1 Protocole de l'étude granulométrique

Les échantillons de sédiment sont traités au laboratoire de l'aménagement de littoral de l'ENSSMAL selon le protocole standard (méthode de l'analyse granulométrique).

Pour chaque station, une fraction de l'échantillon est mise dans une tare et placée dans une étuve à 105°C pendant 24 heures. Ensuite nous avons pesé 100g de chaque échantillon sec, qui représente le poids initial (P_i) et nous avons rincé par l'eau courante, dans un tamis de $80\mu\text{m}$ pour éliminer la fraction fine (pélites).

Les échantillons soustraits des pelites sont remis à l'étuve et séchés à 105°C pendant 24 heures.



Figure III.5 : Etuve

Nous avons pesé pour une deuxième fois le poids final (Pf), et nous avons noté la quantité de la fraction fine qui est représentée par le poids des pelites (fraction inférieurs à $80\mu\text{m}$), qui est la différence entre le poids initial (P_i) avant rinçage et le poids final (Pf) après rinçage.

A la fin de cette opération, on passe par la suite au tamisage de la fraction grossière de chaque échantillon à fin de classer les poids obtenus en utilisant une tamiseuse électrique, composée d'une série de tamis de type (AFNOR) superposés les uns sur les autres dont les diamètres des tamis sont décroissants par unité de micromètres comme suite (2000 , 1800, 1600,1400 ,1000, 800, 630,500,400,315,250,200, 180, 100, 80 μm).

Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et les classements des grains s'obtiennent par vibration de la colonne de tamis pendant 10 minutes.

Enfin, nous avons pesé les refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision.



Figure III.6: Tamiseuse électrique

Les résultats sont notés dans des fiches granulométriques standard, et sont en suite traduits en pourcentages non cumulés et en pourcentages cumulés qui serviront pour la réalisation des histogrammes de fréquences cumulatives et des courbes granulométriques.

4 La détermination des carbonates

4.1 Principe de la méthode

Le procédé consiste à mesurer la différence de poids après réaction du sédiment avec l'acide chlorhydrique, la réaction est la suivante:



4.2 Mode opératoire

- Peser 20g (p1: poids initial) du sédiment sec dans une tare.
- Décalcification à l'HCl, après effervescence; rinçage et séchage complet de l'échantillon dans une étuve à 105°C pendant 24h.
- Pesage du sédiment décalcifié sec (p2).

La différence entre le poids du sédiment sec brut et le poids du sédiment décarbonaté représente le poids du calcaire (p):

$$P \text{ (g)} = p1 - p2 \dots\dots\dots (3.3)$$

Le taux de carbonates existant dans le sédiment est donné par la formule suivante:

$$\text{CaCO}_3 \text{ (\%)} = (P1 - P2) \cdot 100 / P1 \dots\dots\dots(3.4)$$



Figure III.7: Balance électrique

1. Paramètres physicochimiques

Les analyses concernant les paramètres physicochimique des eaux prélevées dans les différentes stations de la plage Est et du port de Sidi-Fredj ont donné les résultats figurant dans le tableau suivant :

Tableau IV.1 : Résultats des paramètres physico-chimiques

Station	Température (°C)	Salinité (PSU)	Conductivité (ms/cm)	Oxygène dissous (mg/l)	Turbidité (NTU)	MES (mg/l)	pH
1	17	36,5	47,3	4,8	65	98,45	8,15
2	16,7	36,6	46,6	5	57	77,60	8,17
3	16,5	36,7	46,4	8,1	89	113,40	8,21
4	16,4	36,6	46,3	8,1	76	83,11	8,26
5	16,4	36,6	46,2	8	81	95,92	8,24
6	16,4	36,6	46,2	7,2	78	77,82	8,27
7	16,5	36,6	46,3	7,3	71	83,21	8,25
8	16,3	36,5	46,4	6,4	80	99,65	8,29
9	16,8	36,6	46,6	5,6	76	84,90	8,25
A	17,5	36,1	46,8	4,6	89	90,91	8,24
B	17,9	35,2	46	4,5	86	83,77	8,18
C	18,2	35,8	47,2	4,4	77	69,98	8,15
D	18	36,1	47,3	4,8	99	100,34	8,17
E	18	36,4	47,5	4,8	83	98,79	8,24

1.1 La température

La température est l'un des descripteurs de base pour la connaissance du milieu marin. Elle joue un rôle important dans les cycles biologiques et influe sur la répartition des espèces. La mesure de la température est indispensable pour le traitement ou l'interprétation d'autres paramètres comme la saturation des gaz dissous et la mesure du PH. La température est un paramètre nécessaire à la détermination de la stratification verticale et de la circulation océanique. **(Aminot et Kérrouel, 2004)**

La mesure de la température est très utile pour les études limnologiques et du point de vue industriel pour les calculs d'échanges thermiques. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond. **(Rodier et coll, 2005)**. Le milieu peut être perturbé et même peut induire une pollution thermique en cas d'une élévation de la température. **(Gaujous, 1995)**

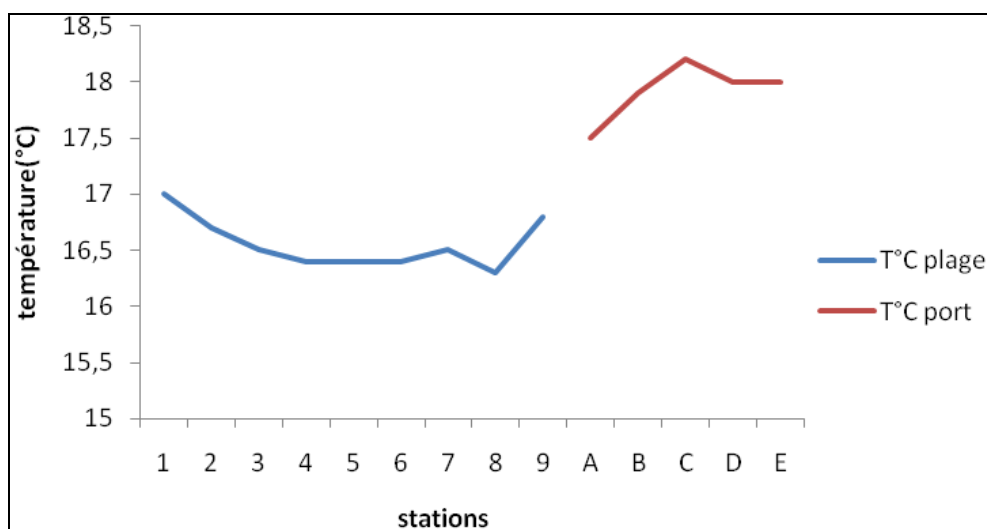


Figure IV.1 : Variation des températures suivant les stations dans le port et la plage Est de Sidi Fredj

Les valeurs de la température enregistrées dans la plage Est de Sid-Fredj restent très rapprochées dans toutes les stations avec une légère variation. Elles varient entre un maximum de 17°C (station n°1) et un minimum de 16,3°C (stations n°8).

En revanche les températures enregistrées dans le port de Sidi-Fredj sont plus élevées que celles de la plage (**figure IV.1**). Elles varient globalement entre un maximum de 18,2°C (station C) et un minimum de 17,5°C (station A)

L'augmentation de la température au niveau du port est due essentiellement à la circulation permanente des bateaux et à la stagnation des eaux.

D'une manière générale, les températures enregistrées [**tableau IV.1**], restent normales et témoignent de niveau thermique de la saison d'échantillonnage.

1.2 Conductivité

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm. L'unité de conductivité est le Siemens par mètre (S/m) dont : 1 S/m = 10⁴ μS/cm = 10³ ms/m. La conductivité d'un liquide dépend largement de la température (**Jean, 2005**). La conductivité de l'eau de mer est très élevée en raison de la forte concentration en sels dissous. Du fait de la proportionnalité des concentrations des différents ions, la conductivité permet de déterminer la salinité avec une grande précision (**Aminot, 2004**).

Au niveau de notre zone d'étude, la conductivité fluctue entre un minimum de 46,2 S/m enregistré dans la station n°5 au niveau de la plage et un maximum de 47,5 dans le bassin E au niveau de port.

D'une manière générale, nous remarquons que la conductivité dans le port est un peu plus élevée que celle de la plage [**tableau IV.1**].

1.3 Salinité

La salinité (S‰) est définie conventionnellement comme la masse en grammes des composés solides séchés à poids constant à 480°C, obtenue à partir de 1kg d'eau de mer. Il est supposé que la matière organique a été oxydée, le brome et l'iode remplacés par leur équivalent en chlore et les carbonates convertis en oxydes (**Rodier et coll, 2005**).

La salinité est un facteur important dans le milieu marin, elle indique la teneur en sels dissous. La salinité de l'eau d'une zone, dépend de sa situation géographique et des facteurs climatiques qui y règnent.

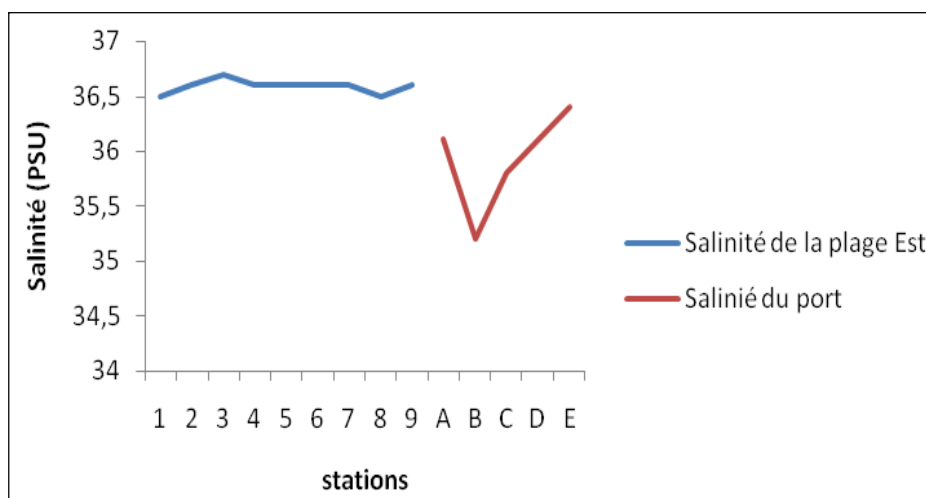


Figure IV.2: Variation des salinités dans le port et la plage Est de Sidi Fredj

Les valeurs relevées pour la salinité dans les différentes stations de la plage sont très rapprochées, elles varient entre 36,5 PSU (station n°1) et 36,7 PSU (station n°3). Les valeurs enregistrées sont normales par rapport à la période d'échantillonnage.

La représentation graphique des variations de la salinité (**figure IV.2**) montre que les valeurs enregistrées dans les bassins de port sont différentes l'une par rapport à l'autre, elles varient de 35,2 PSU (bassin A) à 36,4 PSU (bassin E), ceci est dû probablement à des faibles échanges entre les bassins.

1.4 Oxygène dissous :

La mesure de l'oxygène dissous concerne exclusivement l'oxygène moléculaire O₂ en solution. Il intervient dans la plus part des processus biologiques permettant la vie terrestre et marine (**Aminot, 2004**).

La concentration d'oxygène dissous dans l'eau résulte de processus physiques, chimiques et biologiques. (**Diaz et al, 1995**).

En l'absence de processus chimiques et biologiques, la concentration de l'oxygène dans l'eau au contact de l'air n'est qu'en fonction de la pression atmosphérique, de la température et de la salinité (**Aminot, 2004**).

Les fluctuations de la teneur en oxygène dans les différentes stations étudiées [tableau IV.1] permettent de localiser les zones où le renouvellement des eaux est important et de déterminer le degré de pollution dans les milieux les plus ou moins fermés.

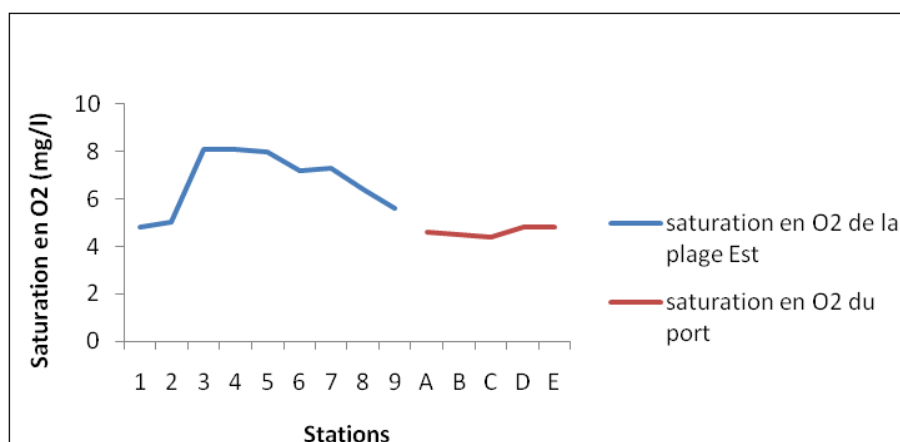


Figure IV.3: Variation de saturation en oxygène dissous dans le port et la plage Est de Sidi-Fredj

En observant la **figure IV.3** nous avons remarqué des variations importantes de la teneur en oxygène dissous exprimées en mg/l entre le port et la plage.

Au niveau de la plage, les valeurs de l'oxygène enregistrées varient entre 4,8 mg/l (station n°1) dans la passe d'entrée du port et 8,1mg/l (station n°4).

Plus on s'éloigne du port, plus la teneur en oxygène dissous devient plus importante. Ceci est dû probablement au renouvellement permanent des eaux et au régime des courants qui aèrent les masses d'eaux.

Dans le port, nous constatons une diminution remarquable de la teneur en oxygène dissous par rapport à la plage. Elle varie entre 4,4mg/l (bassin C) et 4,8mg/l (bassins D et E), ceci dû à la nature de port qui est un milieu fermé, pollué et pauvre en oxygène dissous.

1.5 Potentiel d'hydrogène

Le pH est relatif à la concentration en ions hydrogène (H^+) dans un milieu, donc à l'acidité de ce milieu. Cette notion a été introduite par Sorensen en 1909 qui l'avait définie comme le cologarithme décimal de la concentration en ions H^+ . On note :

$$PH = -\log_{10}C_H \dots\dots\dots(IV.1)$$

C'est un indicateur de certaines pollutions directes ou indirectes.

La mesure du pH aura deux applications à considérer séparément le suivi de la qualité des eaux et les études thermodynamiques des équilibres chimiques. (**Aminot, 2004**)

Le pH de l'eau de mer, voisin de 8,2, est fixé par la présence des carbonates (CO_3^{2-}). La modification des concentrations en (CO_2) (respiration, photosynthèse, échange air-océan) ou en (CO_3^{2-}) entraînera une modification du pH. (**Aminot et Chaussepied, 1983**)

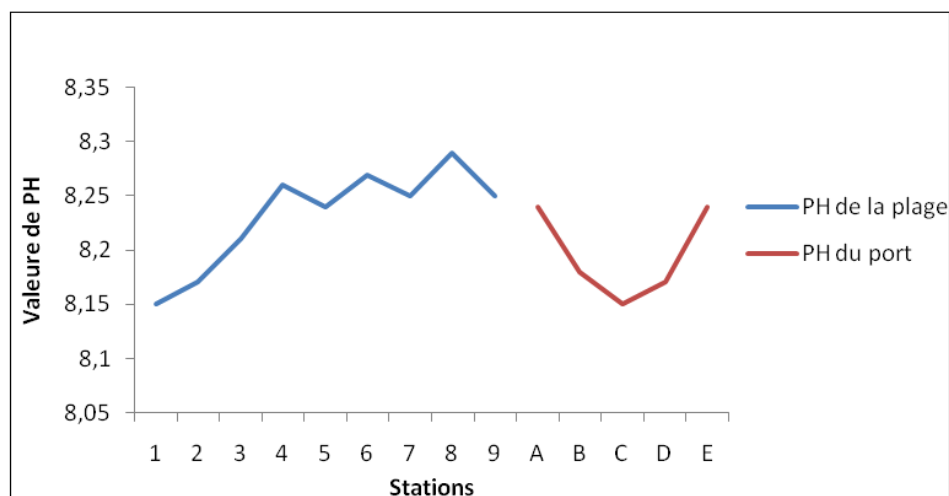


Figure IV.4: Variation du PH dans le port et la plage Est de Sidi-Fredj

Les mesures de pH ont donné des résultats très rapprochés dans le port et dans la plage, elles varient entre 8,15 (station n°1) et 8,27 (station n°5) [**tableau IV.1**].

Les résultats retrouvés semblent très logiques vu la faible activité biologique qui caractérise notre zone d'étude.

1.6 Matière en suspension (MES)

Les matières en suspension réduisent la transparence de l'eau et de ce fait la production primaire photosynthétique, elles présentent une surface de contact importante pour des échanges physico-chimiques, chimiques ou biologiques avec l'eau de mer. (**Aminot et Chaussepied, 1983**)

Selon (**Ivanoff, 1972**) : « En plus des substances dissoutes, les eaux de mer contiennent des matières en suspension de toutes tailles et de toutes formes, minérales ou organiques, vivantes ou détritiques, de nature, soit biogénique (bactéries, phytoplancton, zooplancton, poissons), soit terrigène (apports fluviaux, produits de l'érosion des côtes, débris déversés par l'homme), soit éolienne (particules transportées par les courants atmosphériques et tombant la mer) et soit enfin météorique ».

On peut considérer la matière en suspension comme des transporteurs importants des polluants fertilisants, toxiques, biologiques (**Lacaze, 1996**). Elle a de sévères conséquences sur les animaux aquatiques par le colmatage de leurs branchies (**Ramade, 2000**).

En observant le [**tableau IV.1**], nous avons remarqué que les concentrations en matière en suspension dans notre zone est très importante. Elles varient entre un minimum de 69,98 mg/l (bassin C) et un maximum de 113,40 mg/l (station n° 3).

1.7 Turbidité (Tu)

La turbidité d'une eau est due à la présence des matières en suspension finement divisées : argile, limon, grains de silice, matières organiques, etc. . L'appréciation de l'abondance de ces matières mesure son degré de turbidité. Celui-ci sera d'autant plus faible que le traitement de l'eau aura été plus efficace. Les mesures de turbidité ont donc un grand intérêt dans le contrôle de l'épuration des eaux brutes. **(Rodier et coll, 2005)**

La transparence intervient sur la quantité de lumière disponible pour le développement des végétaux aquatiques, autrement dit pour la production primaire. La turbidité correspond à cette caractéristique en se référant à l'opacité du milieu. **(Aminot, 2004)**

Les valeurs de la turbidité de notre zone d'étude sont représentées dans le **[tableau IV.1]**.

Elles sont comprises entre un minimum de 57 NTU dans la station n°2 et un maximum de 99 NTU enregistré dans le bassin D.

2 Résultats et interprétation de l'analyse granulométrique

2.1 Résultats de l'analyse granulométrique

Les résultats de l'analyse granulométrique des sédiments prélevés dans les 14 stations sont représentés dans les **[tableaux IV2 et IV3]**.

Tableau IV.2 : Pourcentages des refus cumulés dans les différentes stations

Q (μm)	Station n°1	Station n°2	Station n°3	Station n°4	Station n°6	Station n°7	Station A	Station B	Station C	Station D	Station E
80	1,42	1,2	1,06	6,17	1,25	4,83	30,65	10,28	8,93	0,96	5,24
100	14,77	13,58	13,34	25,56	15,47	32,46	45,2	24,98	42,1	10,73	35,48
140	26,76	26,09	27,02	38,61	28,75	54,715	62,15	37,42	61,74	21,68	57,78
160	54,17	54,69	55,5	61,15	52,26	84,87	74,02	49,45	77,64	43,16	80,02
180	66,02	65,21	64,3	66,43	59,62	90,35	83,22	52,82	81,52	49,77	85,52
200	84,44	84,27	83,23	78,07	74,02	95,42	88,35	60,51	88,49	65,73	94,3
250	90,37	90,41	89,97	83,47	81,83	96,39	91,7	66,75	91,57	73,73	97,06
315	94,87	95,01	94,2	88,95	90,83	96,76	93,7	73,63	93,85	83,18	98,49
400	95,74	96,21	96,56	92,25	92,54	96,87	95,53	78,74	94,86	89,11	98,81
500	97,09	97,64	98	95,82	96,1	97,03	96,78	86,1	96,33	94,21	99,11
630	97,76	98,19	98,61	97,79	97,86	97,14	97,81	91,96	97,39	97,01	99,29
800	98,22	98,57	98,93	98,82	98,98	97,21	100	97,97	98,35	98,63	99,5
1000	99,89	99,89	99,85	99,8	99,53	99,71	100	100	100	100	100
1400	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1600	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1800	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
2000	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Les résultats obtenus sont traduits graphiquement par des courbes cumulatives (**Figures IV.5**).

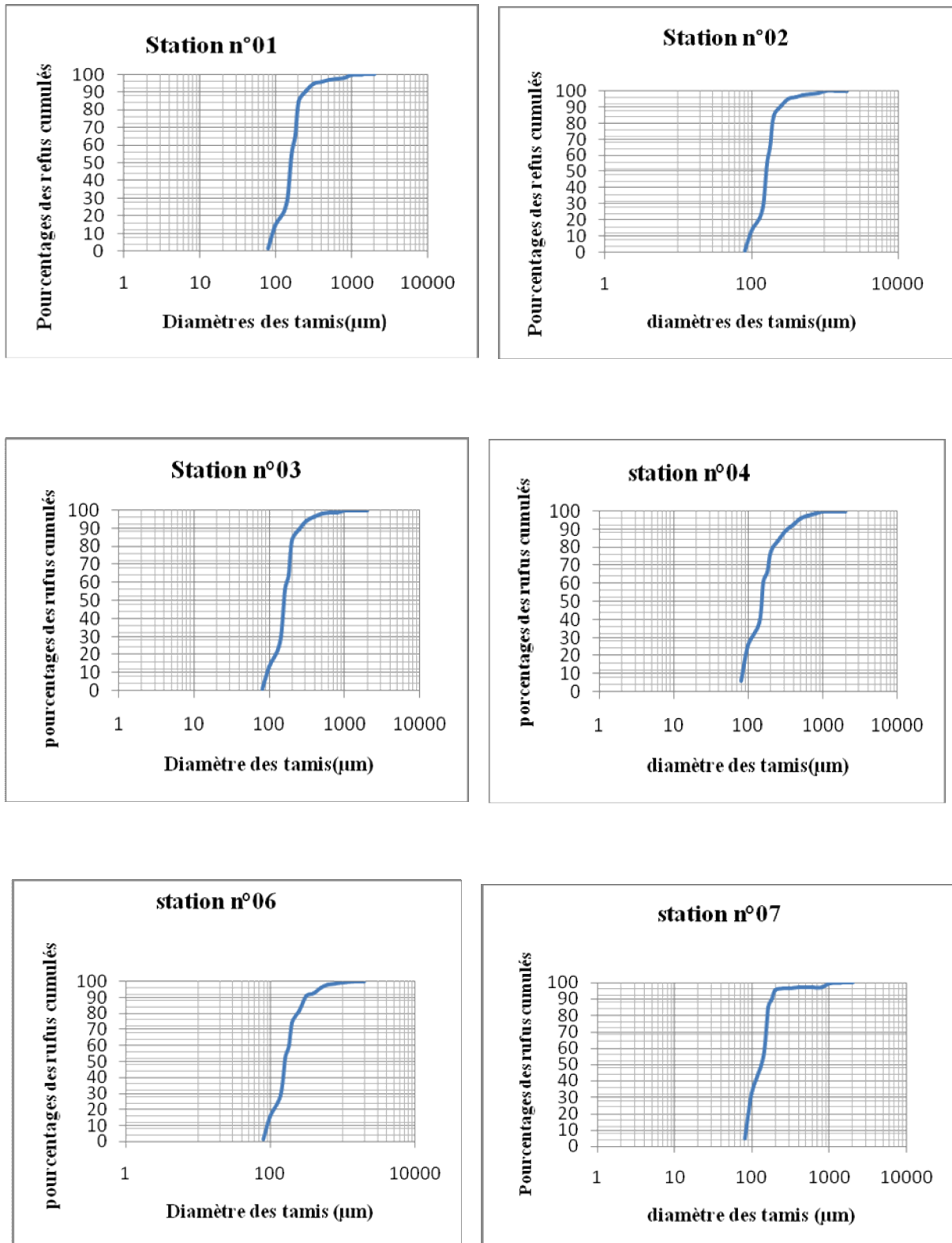


Figure IV.5: Courbes granulométriques des différentes stations de la plage Est de Sidi-Fredj

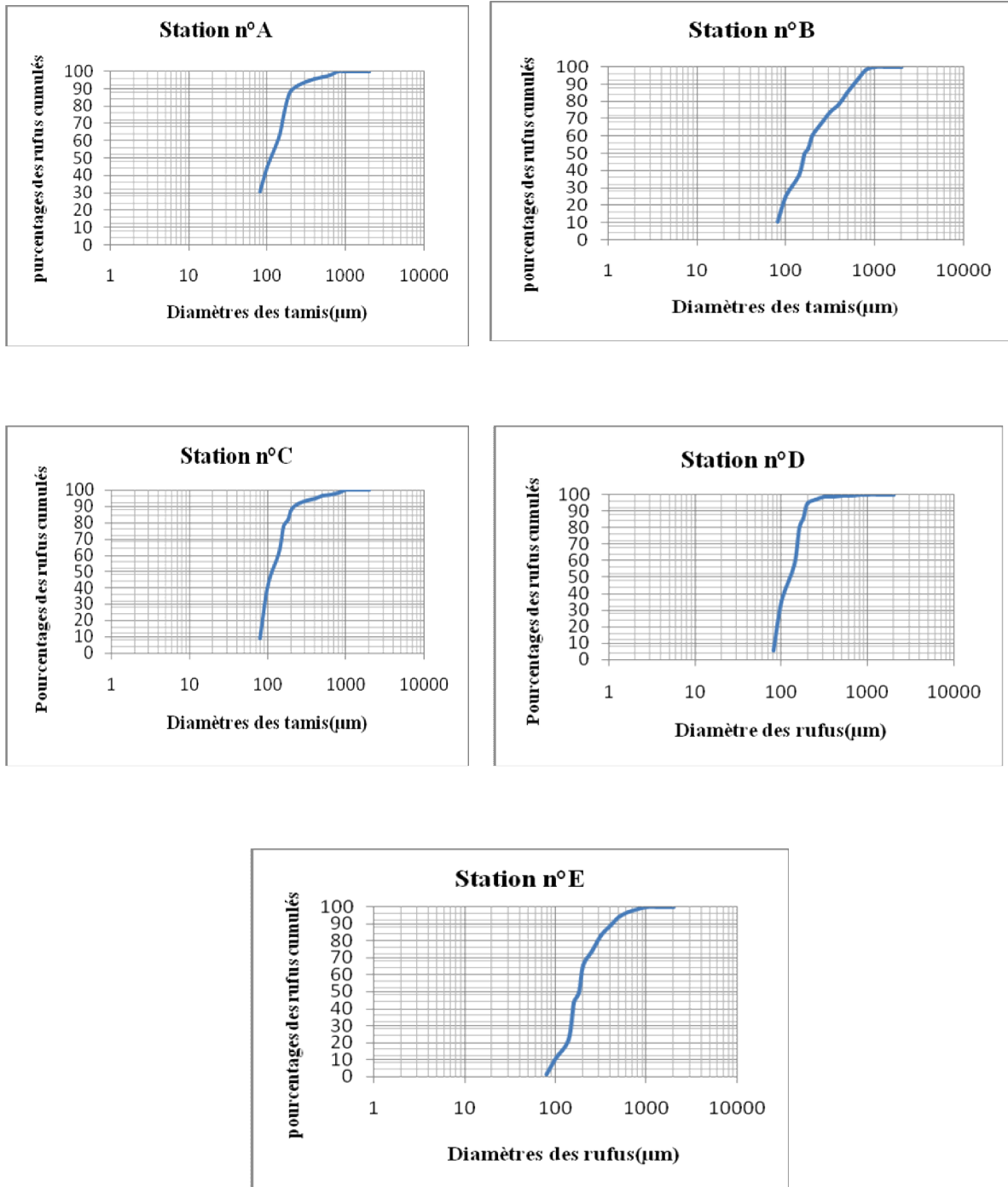


Figure IV.6 : Courbes granulométriques des différentes stations du port de Sidi-Fredj

L'examen de ces courbes granulométrique permet de tirer et de déterminer les différents paramètres et indices granulométriques permettant de caractériser la distribution granulométrique des sédiments.

2.2 Détermination des indices granulométriques

Les valeurs des différents indices granulométriques et des quartiles ainsi que le taux des pelites et des CaCO₃ pour les 14 stations sont représentés dans le tableau récapitulatif suivant :

Tableau IV.3: Paramètres granulométriques des sédiments du port et de la plage Est de Sidi - Fredj

Stations	Pelites (%)	CaCO ₃ (%)	Q ₂₅ (µm)	Q ₅₀ (µm)	Q ₇₅ (µm)	SO	SK
1	5,67	7,6	135	157	188	1,1800816	1,02965638
2	9,4	7,3	138	156	189	1,17028425	1,07174556
3	8,1	6,15	135	157	190	1,18634203	1,04061017
4	8,07	8	100	152	192	1,38564065	0,83102493
5	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche
6	8,34	8,5	130	157	200	1,24034735	1,05480953
7	9,97	9,25	93	133	153	1,28263841	0,80439821
8	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche
9	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche	Roche
A	77,59	11,45	80	110	161	1,4186261	1,06446281
B	68,9	17,45	100	160	340	1,84390889	1,328125
C	62,38	3	88	112	155	1,32716376	1,08737245
D	29,06	6,35	144	180	255	1,33072662	1,13333333
E	6,5	5,35	92	125	155	1,29799176	0,91264

2.2.1 Le quartile Q50 ou indice de taille (médiane)

La médiane représente le diamètre du grain dépassé par 50% des grains de l'échantillon (Vatan, 1967), elle permet de définir la nature du sédiment. (Monbet, 1976)

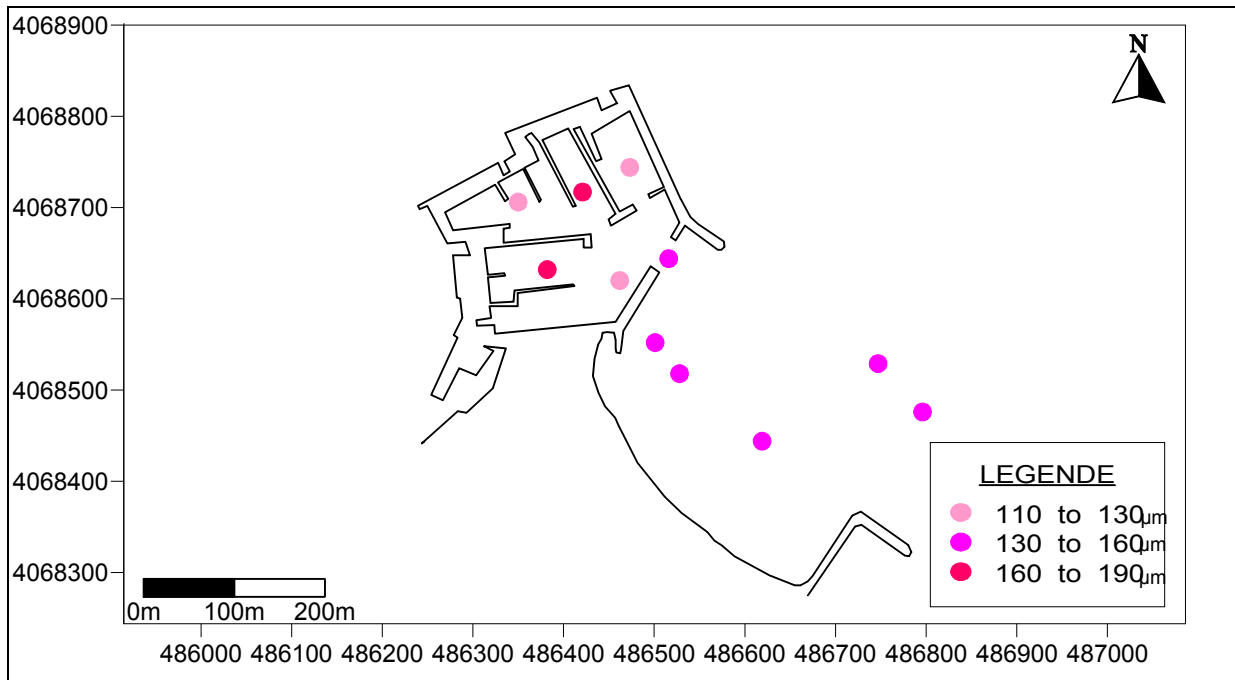


Figure IV.7: Répartition des médianes dans le port et la plage Est de Sidi-Fredj.

La répartition cartographique des médianes montre que la médiane varie entre (110 et 180µm) avec une moyenne de 145,36 µm, d’après la classification de Monbet en (1976), c’est du sable fin qui prédomine notre zone d’étude.

2.2.2 Le quartile inférieur Q25

Il correspond au diamètre de grain représentant 25% du poids du sédiment. Il varie entre 80 et 144µm, avec une moyenne de 112µm

2.2.3 Le quartile supérieur Q75

Il correspond au diamètre de grain représentant 75% du poids de sédiment. Le quartile supérieur varie entre 153 et 340µm, avec une moyenne de 198µm.

2.2.4 Indice de classement de Trask ou indice de tri

Appelé également indice de trask (Sorting de Trask) et noté S_0 , il représente la dispersion des tailles de part et d’autre de la médiane. Exprimé par la formule suivante :

$$S_0 = (Q_{75} / Q_{25})^{1/2} \dots\dots\dots(IV.2)$$

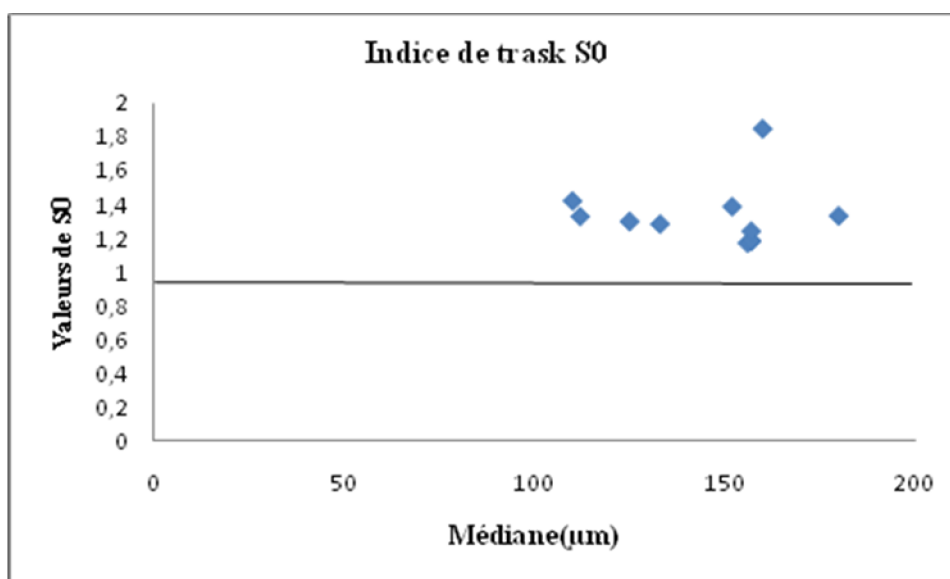
Cet indice permet de faire un tri du sédiment selon les coupures adaptées par (FOLK, 1966). Les différentes classes de sédiment selon l’indice de Trask sont montrées dans le [tableau IV.4].

Tableau IV. 4 : Classement des sédiments selon l'indice de Trask S_0 . (Folk ,1966)

indice	signification
$S_0 \leq 2,5$	Sédiment bien classé
$2,5 < S_0 \leq 3$	Sédiment normalement classé
$3 > S_0 \leq 4$	Sédiment mal classé

L'indice de classement est inférieur à 2, compris entre 1,17 et 1,84, il est homogène dans toutes les stations.

Les résultats montrent que le sédiment de la plage Est et le sédiment du port de Sidi-Fredj sont très bien classés.

**Figure IV.8:** Relation entre l'indice de classement et la médiane

2.2.5 Indice d'asymétrie ou indice de Skewnes (SK)

Cet indice indique le tri d'un sédiment par rapport à la médiane, il informe sur l'homogénéité et l'évolution du sédiment. il est exprimée par la formule suivante :

$$SK = (Q_{25} \times Q_{75}) / (Q_{50})^2 \dots \dots \dots (IV.3)$$

Si $SK > 1$, le tri est maximum dans la fraction grossière (prédominance des grains de diamètre supérieur à la médiane).

Si $SK = 1$, le tri est régulier, désigne une symétrie de la courbe par rapport à la médiane, la fraction fine est aussi bien représentée que la fraction grossière.

Si $SK < 1$, la courbe est dissymétrique avec un décalage et un tri maximum du côté de la fraction fine (prédominance des grains de diamètres inférieur à la médiane).

Le calcul de l'indice d'asymétrie, nous a permis de définir :

72 % des échantillons (stations 1, 2, 3, 6, A, B, C et D) ont un $SK > 1$, nous constatons que les sédiments présentent un tri maximum de coté fin.

28% des échantillons (stations 4,7etE) ont un $SK < 1$, ce qui signifie que le classement du sédiment est maximal du coté grossier.

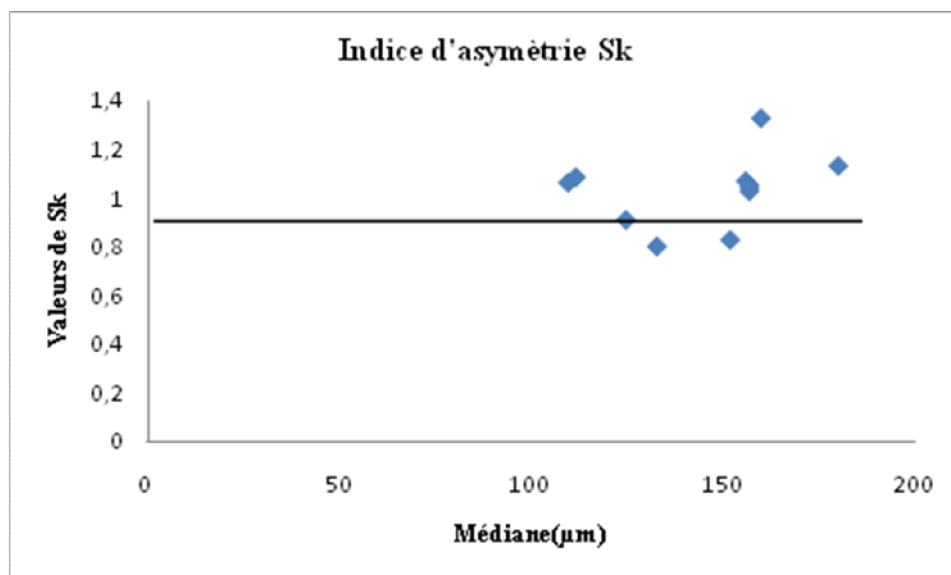


Figure IV.9: Relation entre l'indice d'asymétrie et la médiane

En général, les sédiments de la plage Est et du port de Sidi-Fredj sont des sédiments fins et homogènes vu la situation géographique de cette zone semi fermée et étroite.

Le régime hydrodynamique dû au vent d'Ouest étant affaibli par le promontoire rocheux de Sidi-Fredj ainsi que la présence des épis en L de coté Est, ont rendu notre zone très calme par conséquence elle n'engendre qu'un dépôt des sable fins.

3. Pelites

L'étude de la fraction fine de diamètre inférieur à $80\mu\text{m}$, consiste à établir les cartes de la répartition des pelites au sein de notre zone d'étude. Les pelites, nous renseignent sur les secteurs brassés ou non par les houles.

Le tableau suivant donne la classification des sédiments suivant le taux de la fraction pelitique :

Tableau IV. 5: Classification des sédiments selon le taux des pelites. (Folk ,1966)

Type de dépôt	Taux des pelites(%)
Sable peu vaseux	<5
Sable vaseux	5à25
Vase sableuse	25à75
Vase	>75

Les résultats de l'analyse pelitique sont représentés dans le [tableau IV.3]

Dans la plage Est de Sidi-Fredj les pourcentages des pelites varient entre 5,67% station 1 et 9,97% station 7. D'après la classification des sédiments selon le taux des pelites, tous les échantillons sont classés pour des sables vaseux (**Figure IV.10**).

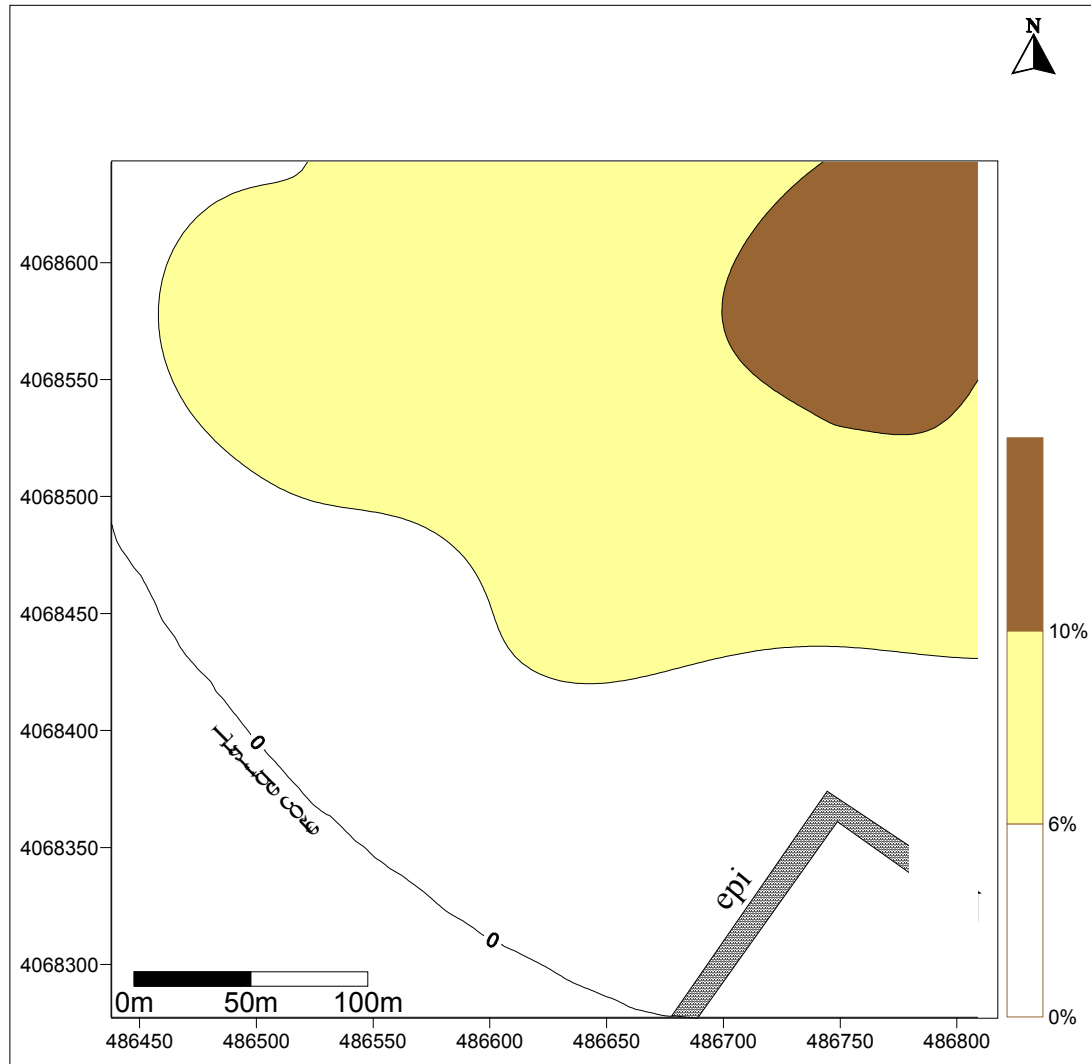


Figure IV.10 Répartition des pelites dans la plage Est de Sidi-Fredj

Ces résultats montrent que les sédiments de la plage Est de Sidi-Fredj sont faiblement brassés par les houles par conséquent ces eaux sont moins renouvelées ce qui favorise le dépôt de la fraction fine.

Dans le port de Sidi-Fredj, les pourcentages des pelites varient entre 6,5% pour la station E et 77,59% pour la station A.

D'après la classification des sédiments, selon le pourcentage des pelites les échantillons des bassins (B, C et D) sont classés comme de vase sableuse et l'échantillon de bassin A comme vase (**Figure IV.11**).

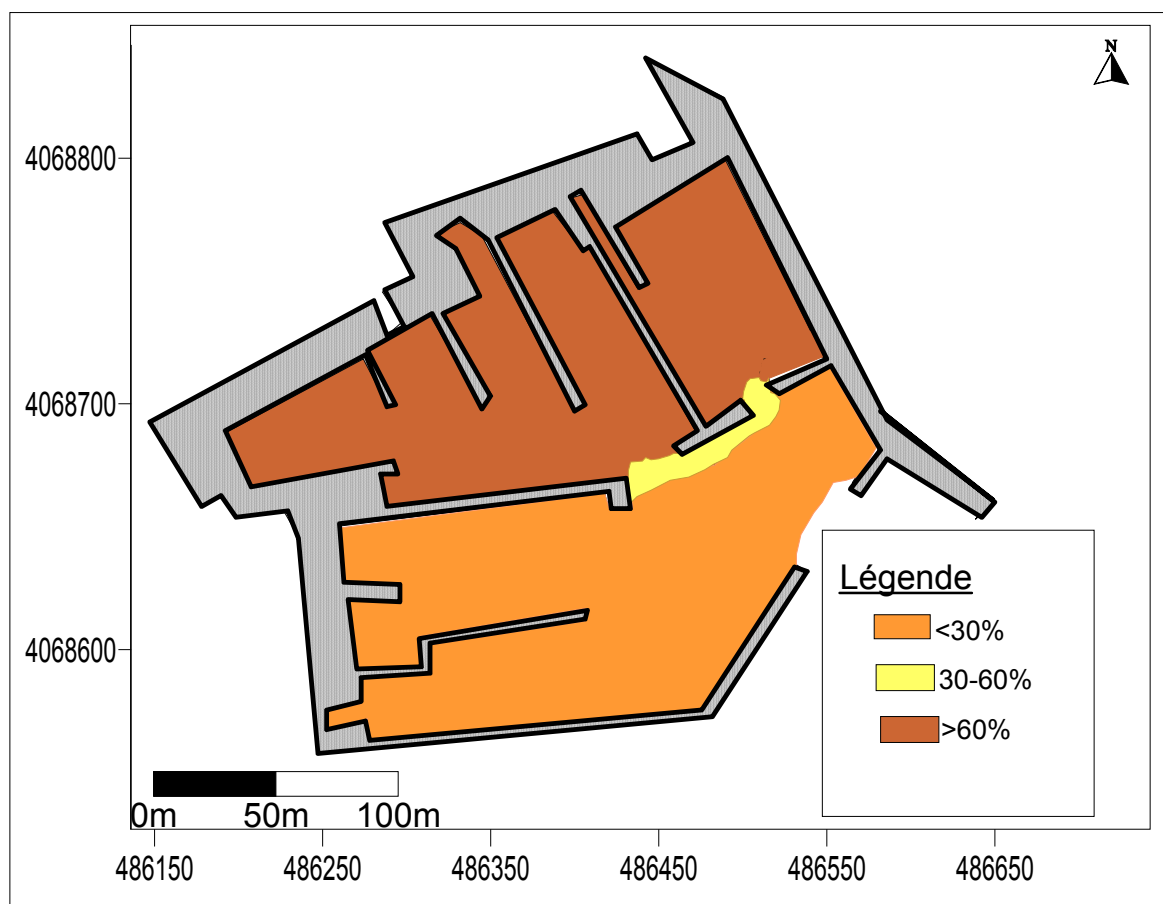


Figure IV.11: Répartition des pelites dans le port de Sidi-Fredj

Cela dû au très faible renouvellement des eaux a l'abri des houles qui favorise le dépôt des pelites, à l'exception du bassin E où nous avons enregistré une faible quantité des pelites (6,5%), que nous avons classé comme sable vaseux expliqué par son rapprochement de la passe d'entrée du port et le renouvellement de ces eaux par les échange avec l'extérieur du port.

4 Carbonates

Les contenus en CaCO_3 sont généralement considérés comme reflétant la quantité des composants biogènes (calcite et aragonite) et terrigènes (calcite) présents dans le sédiment.

Les teneurs en carbonate (CaCO_3) sont représentées dans le [tableau IV.3].

La répartition du taux des carbonates des sédiments du port et de la plage Est de Sidi-Fredj montre des teneurs faibles, elles varient entre un maximum de 17,45% et un minimum de 3% avec une moyenne de 8,21%. (figure IV.12)

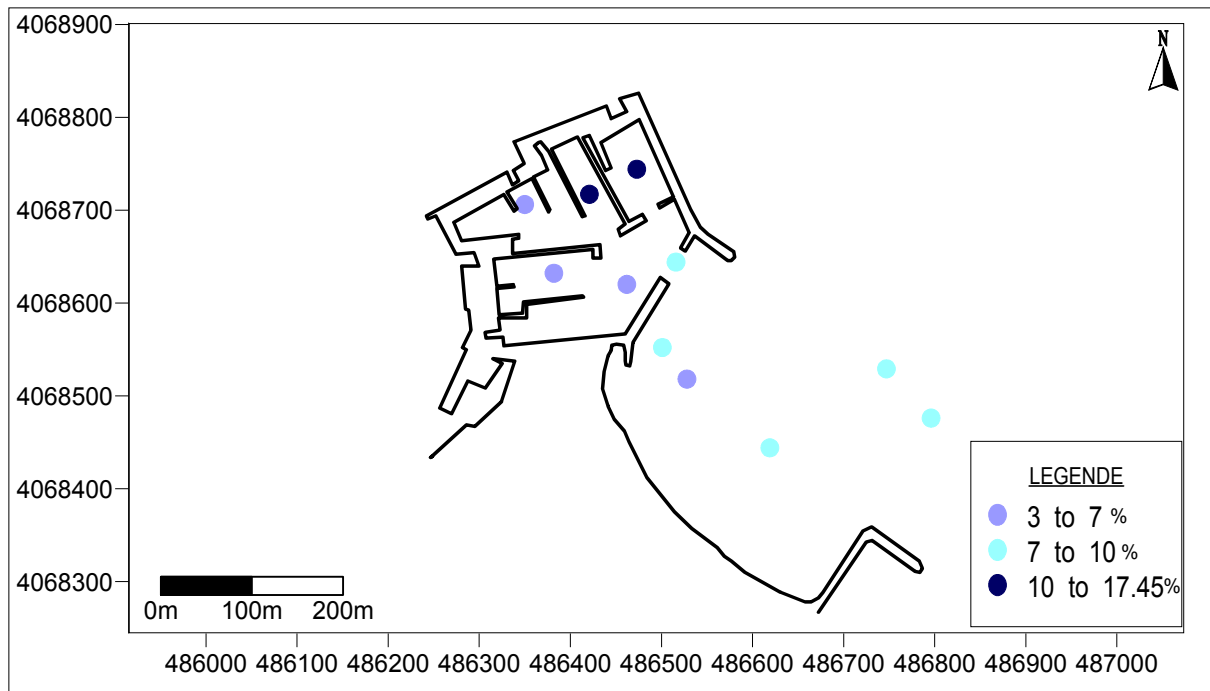


Figure IV.12 : Répartition des carbonates de calcium dans le port et plage Est de Sidi- Fredj.

5 Application du logiciel SDDS à l'imagerie bathymétrique

5.1 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.

5.2 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 IV.13**) développé en langage 'Visual Basic 4', sa principale fonction est le calcul de la radiance spectrale réfléchiée par la cible au niveau du capteur et la détermination du rayonnement diffus par une masse d'eau. (**Bachari,1997**)



Figure IV.13: Présentation du logiciel « SDDS » d'application de la simulation des données satellites.

Pour déterminer les différentes radiations au sol, les données ou paramètres d'entrée demandés par le logiciel sont d'ordre astronomique, géographique et atmosphérique.

Une banque des signatures spectrales est introduite, elle englobe les principaux objets au sol qui ont une réflectance dans la bande du visible. Les résultats de simulation dépendent du choix 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.

- **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°.
- * Béta0 : 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.

- **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 qui suit :

Tableau IV.6: Paramètres 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 de 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 IV.14)**

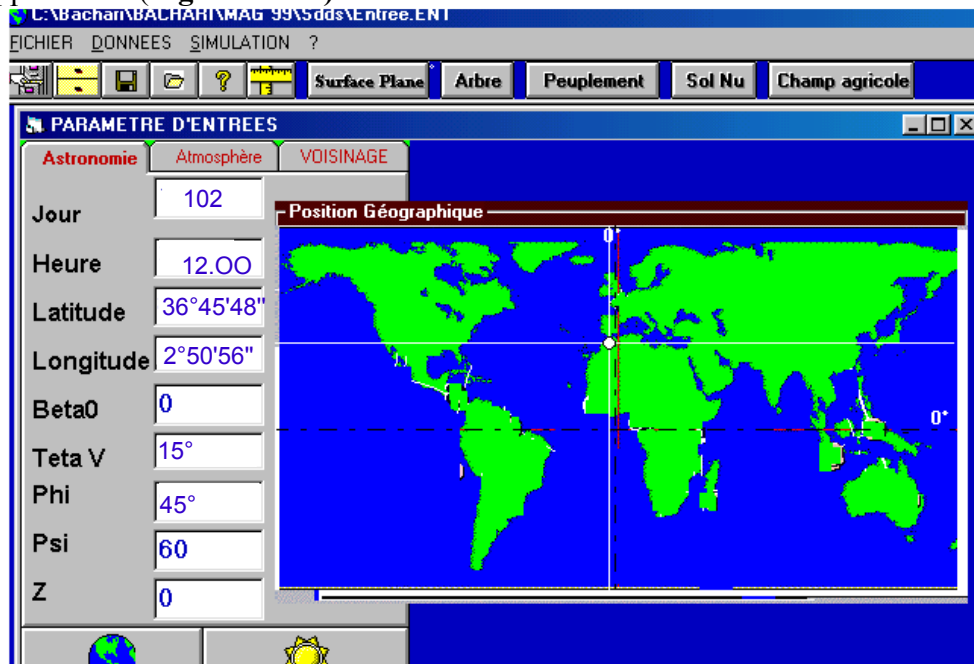


Figure IV.14 : Introduction des données d'entrée au logiciel SDDS

5.3 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 IV.15)**

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.

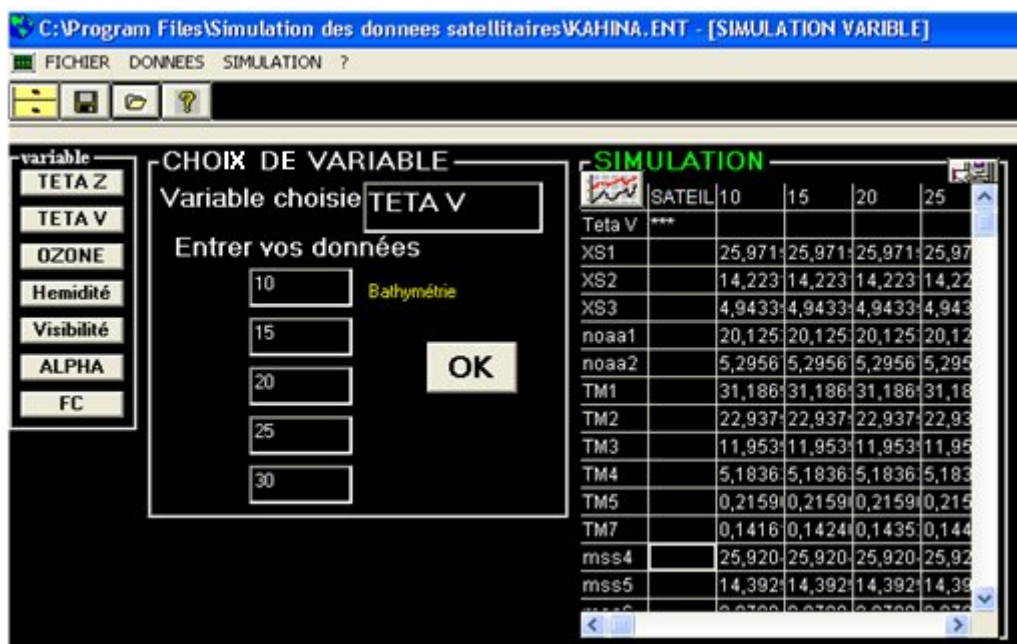


Figure IV.15 : Variation de la luminance sur les différents canaux satellitaires par station

5.4 Applications aux stations

Les résultats de la luminance obtenus par le logiciel pour les différentes stations sont regroupées dans les tableaux suivants :

Tableau IV.7: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les trois canaux du satellite SPOT (plage Est de Sidi-Fredj)

Téta V		10			20		
Stations	Prof	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3
1	1	94,0508	66,5789	18,0067	93,7723	66,7378	18,2267
2	1	94,0509	66,6002	18,16	93,7724	66,7594	18,3821
3	1,5	92,0756	59,5739	14,5954	91,8458	59,8285	14,7378
4	2	90,3893	54,4313	13,1953	90,1987	54,7241	13,2733
5	2,5	88,9064	50,6073	12,6293	88,7493	50,9054	12,6687
6	5	83,2587	41,7523	12,2857	83,2197	41,9287	12,2865
7	5	83,2587	41,7507	12,2747	83,2197	41,9271	12,2755
8	5,5	82,3615	41,0285	12,2727	82,3393	41,1790	12,2731
9	6	81,5200	40,4765	12,2719	81,5131	40,6039	12,2721
1	38	64,6848	38,9945	12,4371	64,7894	38,9945	12,4371
11	35	65,2017	38,9945	12,4371	65,3126	38,9945	12,4371
29	26	67,4099	38,9946	12,4371	67,5367	38,9947	12,4371
54	19	70,2455	38,9974	12,4371	70,3737	38,9981	12,4371
58	13	74,1363	39,0474	39,0474	74,2411	39,0557	39,0557
81	10	76,9455	39,2314	12,4371	77,0198	39,2597	12,4371

Tableau IV.8: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les six canaux du satellite Landsat TM (plage Est de Sidi-Fredj)

	Téta V	10						20					
Station	Prof	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
1	1	102,94	88,28	51,56	19,51	1,72	0,36	102,58	88,06	51,80	19,75	1,77	0,37
2	1	102,94	88,28	51,65	19,66	1,74	0,38	102,30	87,89	52,07	20,07	1,82	0,39
3	1,5	102,09	85,36	45,25	15,87	1,05	0,24	101,75	85,22	45,50	16,02	1,07	0,25
4	2	101,26	82,90	41,27	14,38	0,77	0,19	100,96	82,82	41,51	14,46	0,79	0,19
5	2,5	100,47	80,79	38,64	13,78	0,66	0,17	100,19	80,75	38,85	13,82	0,67	0,18
6	5	96,93	73,37	33,56	13,41	0,60	0,15	96,76	73,44	33,65	13,41	0,60	0,15
7	5	96,93	73,37	33,55	13,40	0,60	0,15	96,76	73,44	33,64	13,40	0,60	0,15
8	5,5	96,29	72,30	33,21	13,40	0,60	0,15	96,14	72,38	33,28	13,40	0,60	0,15
9	6	95,68	71,33	32,96	13,40	0,60	0,15	95,54	71,42	33,02	13,40	0,60	0,15
1	38	77,62	57,17	32,58	13,57	0,60	0,15	77,77	57,23	32,58	13,57	0,60	0,15
11	35	78,47	57,44	32,58	13,57	0,60	0,15	78,61	57,51	32,51	13,57	0,60	0,15
29	26	81,74	58,76	32,58	13,57	0,60	0,15	81,87	58,86	32,58	13,57	0,60	0,15
54	19	85,34	60,74	32,58	13,57	0,60	0,15	85,43	60,86	32,58	13,57	0,60	0,15
58	13	89,55	63,87	32,59	13,57	0,60	0,15	89,57	64,00	32,59	13,57	0,60	0,15
81	10	92,20	66,42	32,64	13,57	0,60	0,15	92,17	66,54	32,65	13,57	0,60	0,15

Tableau IV. 9: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les quatre canaux du satellite Landsat MSS (plage Est de Sidi-Fredj)

Téta V		10				20			
Stations	prof	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	1	93,912	64,372	26,254	11,777	93,633	64,519	26,484	11,921
2	1	93,912	64,409	26,430	11,904	93,633	64,557	26,662	12,050
3	1,5	91,931	57,857	22,472	9,533	91,703	58,083	22,627	9,627
4	2	90,225	53,172	20,866	8,602	90,038	53,429	20,956	8,654
5	2,5	88,717	49,720	20,180	8,222	88,564	49,980	20,228	8,248
6	5	82,968	41,654	19,658	7,995	82,935	41,816	19,661	7,996
7	5	82,968	41,651	19,644	7,986	82,935	41,813	19,647	7,986
8	5,5	82,061	40,969	19,632	7,985	82,044	41,109	19,634	7,985
9	6	81,212	40,440	19,624	7,984	81,210	40,561	19,626	7,984
1	38	64,653	38,875	19,853	8,103	64,756	38,875	19,853	8,103
11	35	65,168	38,875	19,853	8,103	65,277	38,875	19,853	8,103
29	26	67,345	38,877	19,853	8,103	67,467	38,877	19,853	8,103
54	19	70,110	38,885	19,853	8,103	70,233	38,887	19,853	8,103
58	13	73,899	38,962	19,854	8,103	74,000	38,972	19,854	8,103
81	10	76,655	39,182	19,854	8,103	76,728	39,213	19,855	8,103

Tableau IV. 10: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les trois canaux du satellite Spot (port de Sidi-Fredj)

Téta V		10			20		
Stations	Prof	XS1	XS2	XS3	XS1	XS2	XS3
A	4	85,2499	43,9247	12,1830	85,1713	44,1580	12,1870
B	3	87,5753	47,7175	12,2562	87,4475	48,0021	12,2749
C	1,5	92,0755	59,5411	14,3688	91,8457	59,7953	14,5086
D	2	90,3892	54,4032	13,0048	90,1987	54,6958	13,0815
E	1,5	92,0756	59,5450	14,3953	91,8457	59,7993	14,5355

Tableau IV.11: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les six canaux du satellite Landsat TM (port de Sidi-Fredj)

Téta V		10						20					
Station	Prof	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
A	4	98,27	75,86	34,61	13,32	0,59	0,14	98,06	75,9	34,74	13,32	0,59	0,14
B	3	99,71	78,95	36,74	13,40	0,61	0,15	99,46	78,93	36,93	13,42	0,62	0,15
C	1,5	102,09	85,36	45,10	15,65	1,03	0,23	101,8	85,22	45,36	15,80	1,06	0,23
D	2	101,26	82,91	41,15	14,20	0,76	0,18	101	82,82	41,39	14,28	0,78	0,18
E	1,5	102,09	85,36	45,12	15,68	1,03	0,23	101,8	85,22	45,38	15,83	1,06	0,23

Tableau IV.12: Valeurs de la luminance ($w/m^2/sr$) pour les quatre canaux du satellite Landsat MSS (port de Sidi-Fredj)

Téta V		10				20			
Stations	prof	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
A	4	84,9904	43,65	19,558	7,904	84,92	43,86	19,57	7,9067
B	3	87,3604	47,09	19,696	7,9445	87,24	47,34	19,72	7,957
C	1,5	91,9312	57,8	22,199	9,3424	91,7	58,02	22,35	9,4346
D	2	90,2251	53,12	20,631	8,4402	90,04	53,38	20,72	8,4909
E	1,5	91,9312	57,81	22,231	9,3647	91,7	58,03	22,38	9,4571

5.5 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)**

Dans les figures ci-dessous, nous représentons la variation de la luminance pour un Téta V égal à 10 en fonction de la profondeur pour les différents canaux des satellites SPOT et LANDSAT. Les courbes représentant la variation de la luminance pour Téta V égale 20 et 30 sont en Annexe.

5.6 Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau pour la plage Est d Sidi-Fredj

Les résultats obtenus pour les variations de la luminance avec les profondeurs des stations du port et de la plage Est de Sidi-Fredj sont représentés dans les figures suivant :

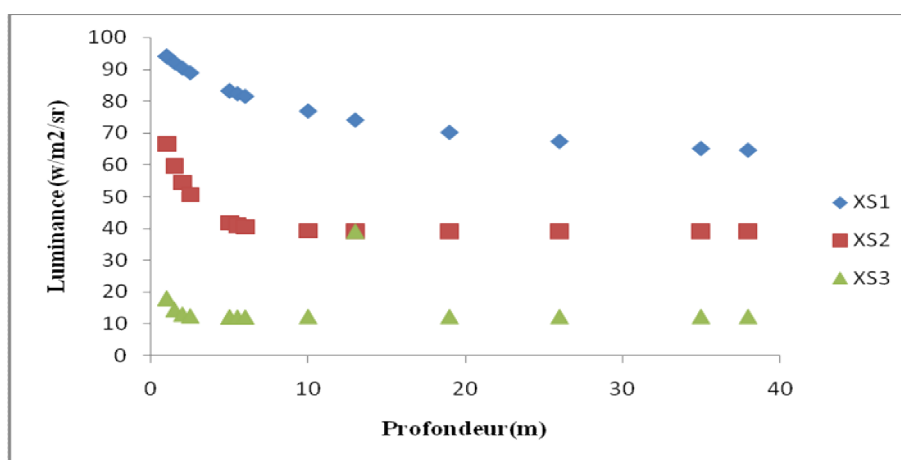


Figure IV.16 : Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SPOT), plage Est de Sidi-Fredj

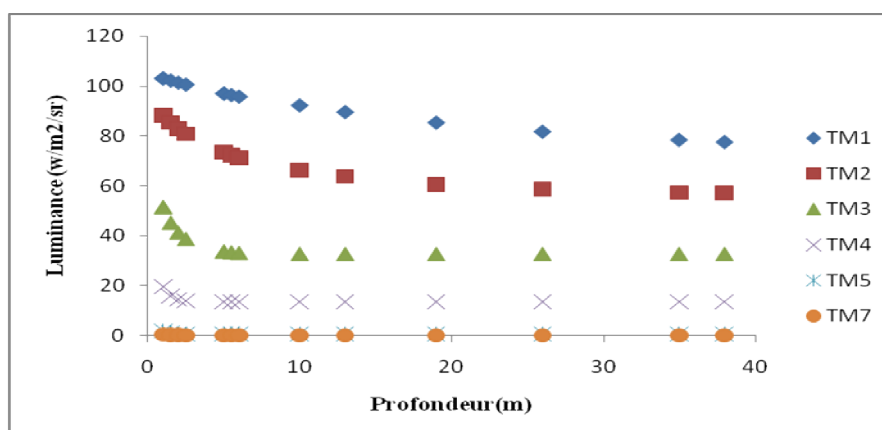


Figure IV.17: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM), plage Est de Sidi-Fredj

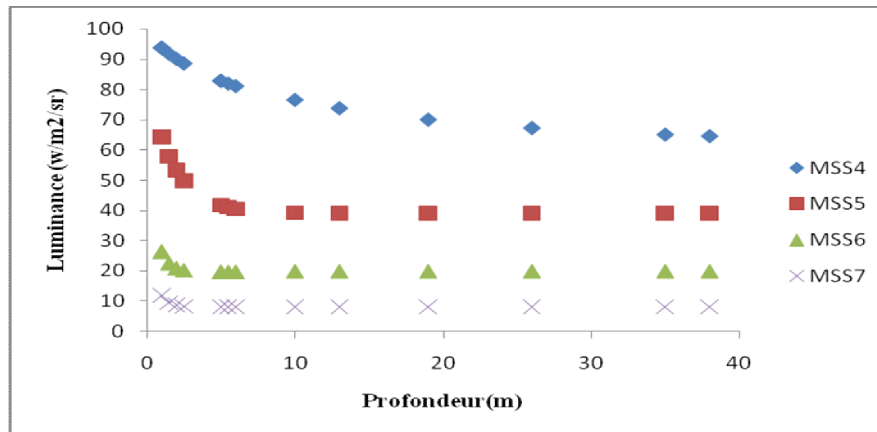


Figure IV.18 : Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-MSS), plage Est de Sidi-Fredj

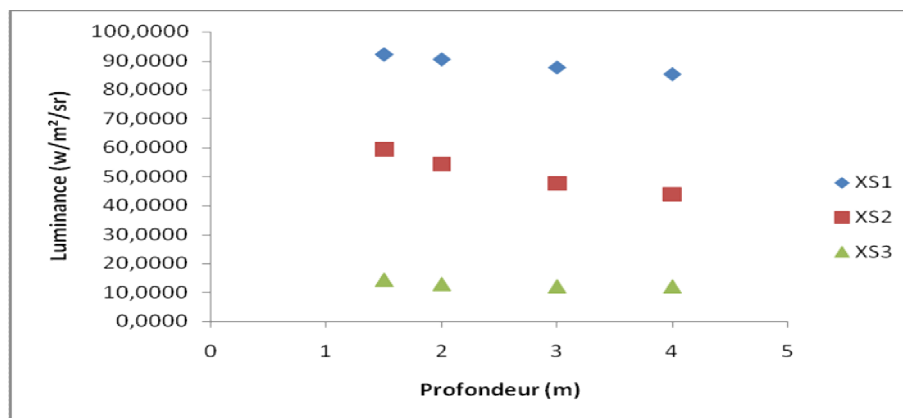


Figure IV.19: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (SPOT), port de Sidi-Fredj

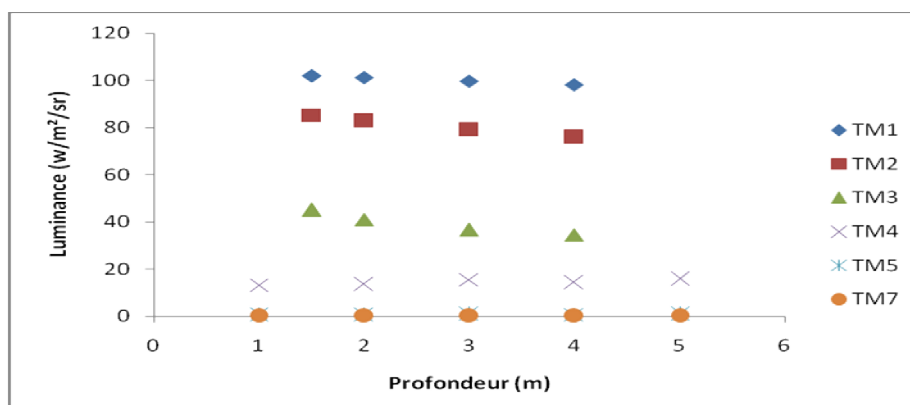


Figure IV.20: Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-TM), port de Sidi-Fredj

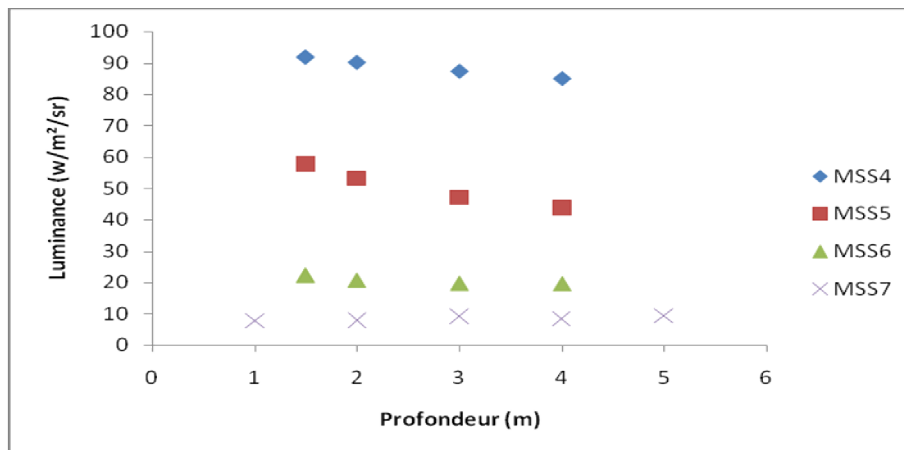


Figure IV.21 : Variation de la radiation en fonction de la profondeur de l'eau (LANDSAT-MSS), port de Sidi-Fredj

En observant les graphes des variations de la radiation en fonction de la profondeur, La résolution spectrale permet d'observer dans les eaux du port et de la plage Est de Sidi-Fredj le fond de façon satisfaisante jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre 35m sur les canaux (XS1, TM1, MSS4, et TM2) et les fonds de 6m sur le canal XS2, TM3, et MSS5 .

Quant aux canaux XS3, MSS6, MSS7, TM4, TM5, TM7, ils n'apportent aucune information bathymétrique dans le canal infrarouge, pour ces bandes spectrales 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.

La figure ci-dessous montre la diminution de la luminance avec l'augmentation de la profondeur

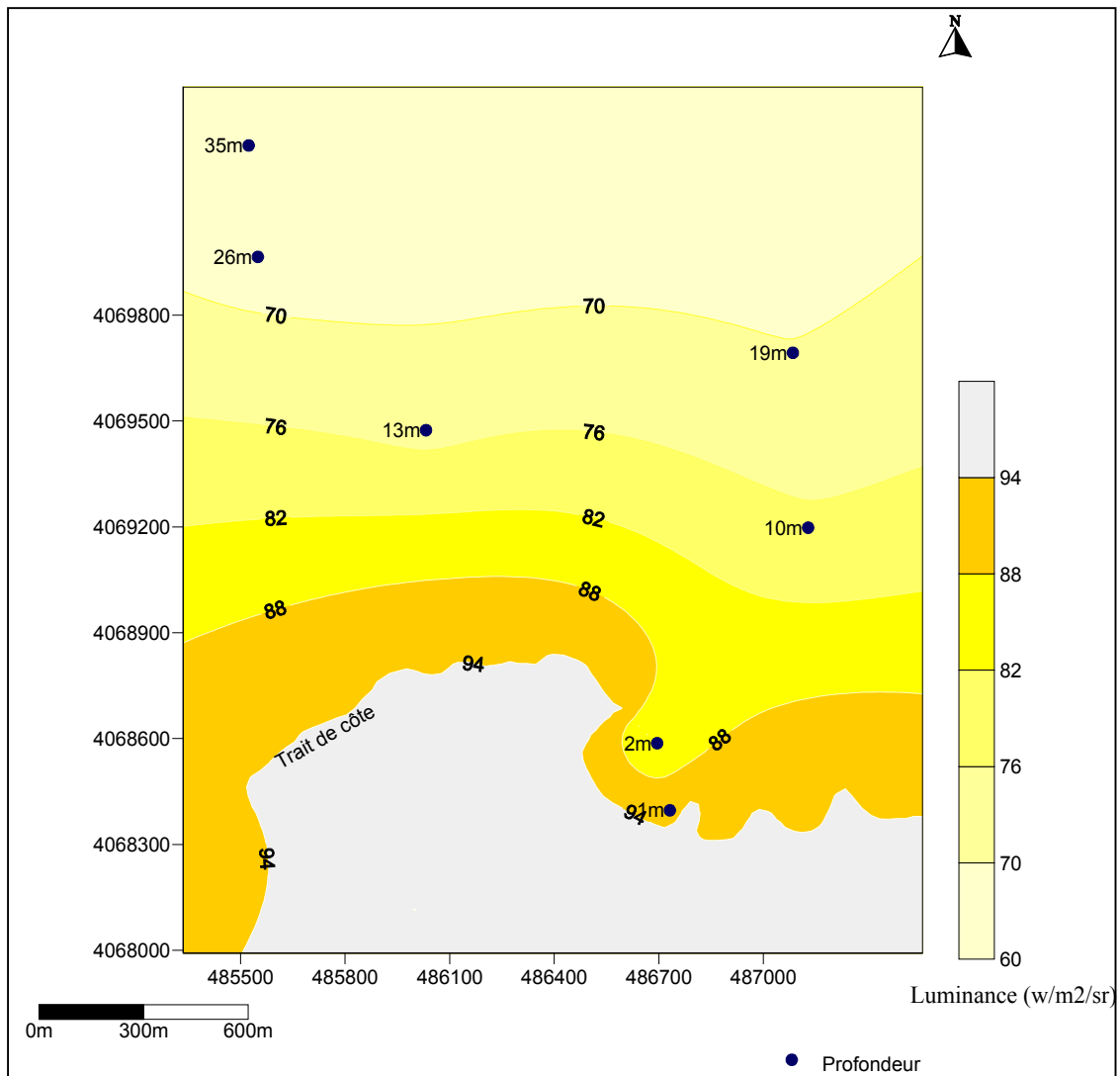


Figure IV.22: Distribution de la luminance en fonction de la profondeur

5.7 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 :

$$L = a \cdot CN + b \dots\dots\dots(IV.4)$$

La réflectance est aussi en relation avec le compte numérique :

$$Réf = c \cdot CN + d \dots\dots\dots(IV.5)$$

Tel que : **L** : luminance donnée par le SDDS après simulation (w/m²/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 IV.13 : Relations de conversion en comptes numériques et en réflectances dans les différents canaux satellitaires.

Canaux	Comptes numériques	Réflectance
XS1	$CN = 1,23 L + 0,22$	$Réf = 3,0604.10^{-3} CN - 0,3418$
XS2	$CN = 1,24 L - 0,08$	$Réf = 3,2166.10^{-3} CN - 0,2676$
XS3	$CN = 1,32 L - 0,59$	$Réf = 4,7972.10^{-3} CN - 0,2136$
TM1	$CN = 1,6611 L + 2,4917$	$Réf = 2,3320.10^{-3} CN - 0,3904$
TM2	$CN = 0,8547 L + 2,3932$	$Réf = 4,3850.10^{-3} CN - 0,3307$
TM3	$CN = 1,2407 L + 1,4888$	$Réf = 3,4250.10^{-3} CN - 0,2654$
TM4	$CN = 1,227 L + 1,8405$	$Réf = 4,1144.10^{-4} CN - 0,2801$
TM5	$CN = 95,525 L + 3,4234$	$Réf = 5,0293.10^{-3} CN - 0,2285$
TM7	$CN = 177,55 L - 21,9809$	$Réf = 4,9826.10^{-4} CN - 9,5667$
MSS4	$CN = 4,792 L - 1,437$	$Réf = 8,0244.10^{-4} CN - 0,3496$
MSS5	$CN = 7,216 L - 2,164$	$Réf = 3,6758.10^{-4} CN - 0,2717$
MSS6	$CN = 8,881 L - 4,4405$	$Réf = 3,9660.10^{-4} CN - 0,2436$
MSS7	$CN = 10,583 L - 3,175$	$Réf = 4,5686.10^{-4} CN - 0,2246$

5.8 Analyse corrélative et modélisation.

En effectuant une série d'observations simultanés afin d'obtenir une 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).

5.8.1 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 du port et de la plage Est de Sidi-Fredj aux canaux XS pour Téta V(10) dans les figures suivantes.

Les courbes de corrélation des autres canaux de Spot et Landsat sont représentées dans l'Annexe.

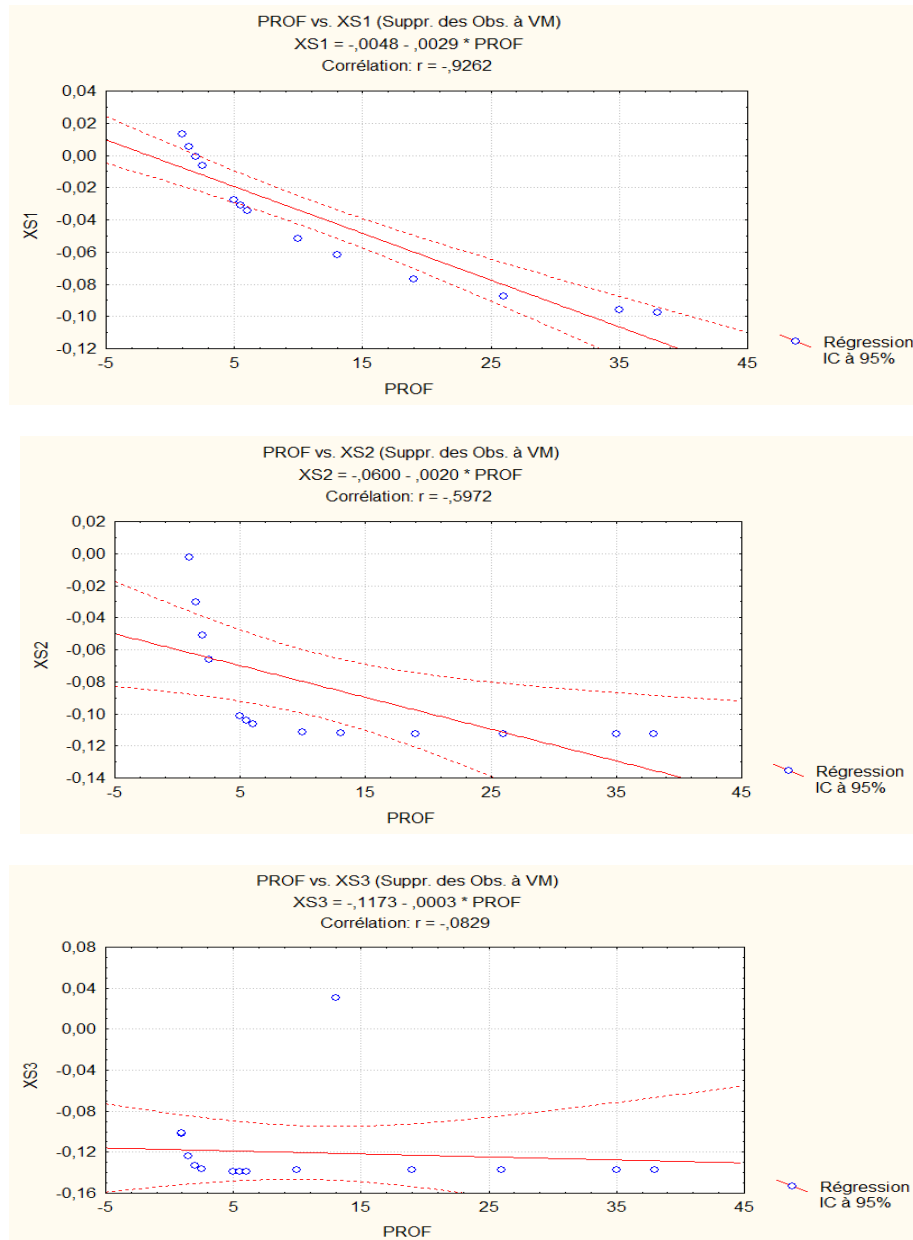


Figure IV.23: Courbes de corrélation des profondeurs de la plage Est de Sidi-Fredj aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation à Téta V(10)

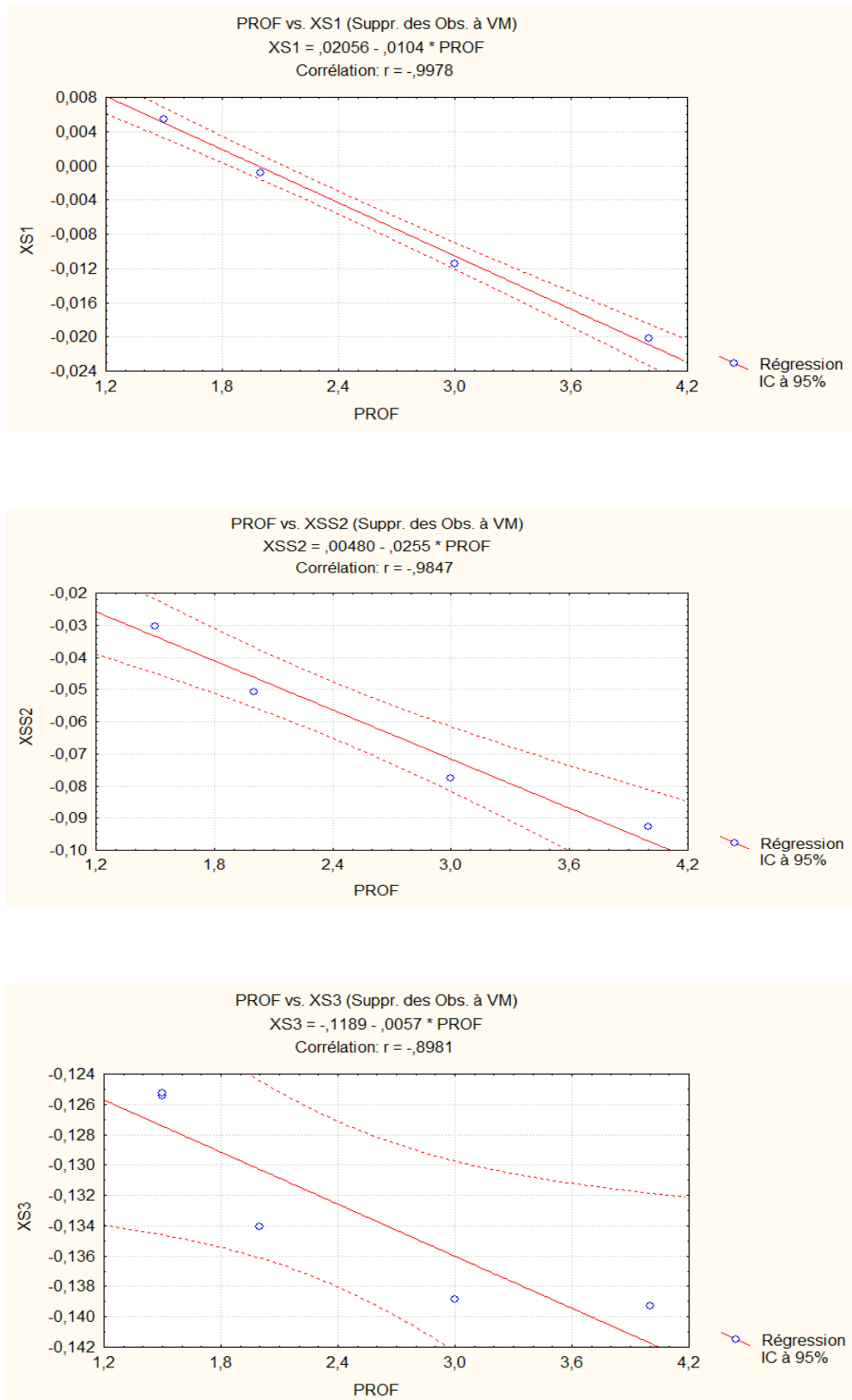


Figure IV.24: Courbes de corrélation de la profondeur du port du Sidi-Fredj aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation Téta V(10)

Tableau IV.14 : Résultats des analyses corrélatives. TETA V(10)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf(XS1) = f(PROF)	Réf(XS1) = -0,0048 - 0,0029 * PROF	r = -0,9262
Réf(XS2) = f(PROF)	Réf(XS2) = -0,0600 - 0,0020 * PROF	r = -0,5972
Réf(XS3) = f(PROF)	Réf(XS3) = -0,1173 - 0,0003 * PROF	r = -0,0829
Réf(MSS4) = f(PROF)	Réf(MSS4) = -0,0082 - 0,0029 * PROF	r = -0,9233
Réf(MSS5) = f(PROF)	Réf(MSS5) = -0,1369 - 0,0012 * PROF	r = -0,6031
Réf(MSS6) = f(PROF)	Réf(MSS6) = -0,1686 - 0,0003 * PROF	r = -0,4153
Réf(MSS7) = f(PROF)	Réf(MSS7) = -0,1816 - 0,0002 * PROF	r = -0,4076
Réf(TM1) = f(PROF)	Réf(TM1) = 0,00765 - 0,0027 * PRO	r = -0,9753
Réf(TM2) = f(PROF)	Réf(TM2) = -0,0170 - 0,0029 * PROF	r = -0,8699
Réf(TM3) = f(PROF)	Réf(TM3) = -0,0874 - 0,0013 * PROF	r = -0,5517
Réf(TM4) = f(PROF)	Réf(TM4) = -0,2716 - 0,0000 * PROF	r = -0,4099
Réf(TM5) = f(PROF)	Réf(TM5) = 0,24856 - 0,0066 * PROF	r = -0,4285
Réf(TM7) = f(PROF)	Réf(TM7) = -9,558 - 0,0002 * PROF	r = -0,4411

Tableau IV.15 : Résultats des analyses corrélatives. TETA V(20)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf(XS1) = f(PROF)	Réf(XS1) = -0,0054 - 0,0029 * PROF	r = -0,9279
Réf(XS2) = f(PROF)	Réf(XS2) = -0,0592 - 0,0020 * PROF	r = -0,6016
Réf(XS3) = f(PROF)	Réf(XS3) = -0,1168 - 0,0003 * PROF	r = -0,0887
Réf(MSS4) = f(PROF)	Réf(MSS4) = -0,0087 - 0,0029 * PROF	r = -0,9250
Réf(MSS5) = f(PROF)	Réf(MSS5) = -0,1364 - 0,0012 * PROF	r = -0,6074
Réf(MSS6) = f(PROF)	Réf(MSS6) = -0,1682 - 0,0003 * PROF	r = -0,4193
Réf(MSS7) = f(PROF)	Réf(MSS7) = -0,1813 - 0,0002 * PROF	r = -0,4116
Réf(TM1) = f(PROF)	Réf(TM1) = 0,00643 - 0,0026 * PROF	r = -0,9768
Réf(TM2) = f(PROF)	Réf(TM2) = -0,0173 - 0,0029 * PROF	r = -0,8730
Réf(TM3) = f(PROF)	Réf(TM3) = -0,0866 - 0,0013 * PROF	r = -0,5549
Réf(TM4) = f(PROF)	Réf(TM4) = -0,2715 - 0,0000 * PROF	r = -0,4129
Réf(TM5) = f(PROF)	Réf(TM5) = 0,25878 - 0,0070 * PROF	r = -0,4305
Réf(TM7) = f(PROF)	Réf(TM7) = -9,558 - 0,0003 * PROF	r = -0,4443

Tableau IV.16: Résultats des analyses corrélatives. TETA V(30)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf(XS1) = f(PROF)	Réf(XS1) = -0,0065 - 0,0028 * PROF	r = -0,9307
Réf(XS2) = f(PROF)	Réf(XS2) = -0,0579 - 0,0021 * PROF	r = -0,6091
Réf(XS3) = f(PROF)	Réf(XS3) = -0,1159 - 0,0003 * PROF	r = -0,0983
Réf(MSS4) = f(PROF)	Réf(MSS4) = -0,0099 - 0,0028 * PROF	r = -0,9278
Réf(MSS5) = f(PROF)	Réf(MSS5) = -0,1357 - 0,0013 * PROF	r = -0,6147
Réf(MSS6) = f(PROF)	Réf(MSS6) = -0,1677 - 0,0003 * PROF	r = -0,4258
Réf(MSS7) = f(PROF)	Réf(MSS7) = -0,1808 - 0,0002 * PROF	r = -0,4183
Réf(TM1) = f(PROF)	Réf(TM1) = 0,00451 - 0,0025 * PROF	r = -0,9778
Réf(TM2) = f(PROF)	Réf(TM2) = -0,0177 - 0,0029 * PROF	r = -0,8767
Réf(TM3) = f(PROF)	Réf(TM3) = -0,0855 - 0,0014 * PROF	r = -0,5618
Réf(TM4) = f(PROF)	Réf(TM4) = -0,2715 - 0,0000 * PROF	r = -0,4203
Réf(TM5) = f(PROF)	Réf(TM5) = 0,27094 - 0,0074 * PROF	r = -0,4369
Réf(TM7) = f(PROF)	Réf(TM7) = -9,557 - 0,0003 * PROF	r = -0,4519

Tableau IV.17: Résultats des analyses corrélatives des stations du port. Téta V(10)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf(XS1) = f(PROF)	Réf(XS1) = 0,02056 - 0,0104 * PROF	r = -0,9978
Réf(XS2) = f(PROF)	Réf(XS2) = 0,00480 - 0,0255 * PROF	r = -0,9847
Réf(XS3) = f(PROF)	Réf(XS3) = -0,1189 - 0,0057 * PROF	r = -0,8981
Réf(MSS4) = f(PROF)	Réf(MSS4) = 0,01843 - 0,0108 * PROF	r = -0,9979
Réf(MSS5) = f(PROF)	Réf(MSS5) = -0,0980 - 0,0153 * PROF	r = -0,9846
Réf(MSS6) = f(PROF)	Réf(MSS6) = -0,1627 - 0,0038 * PROF	r = -0,9089
Réf(MSS7) = f(PROF)	Réf(MSS7) = -0,1776 - 0,0029 * PROF	r = -0,8963
Réf(TM1) = f(PROF)	Réf(TM1) = 0,01968 - 0,0059 * PROF	r = -0,9997
Réf(TM2) = f(PROF)	Réf(TM2) = 0,02054 - 0,0144 * PROF	r = -0,9965
Réf(TM3) = f(PROF)	Réf(TM3) = -0,0441 - 0,0183 * PROF	r = -0,9746
Réf(TM4) = f(PROF)	Réf(TM4) = -0,2709 - 0,0005 * PROF	r = -0,8989
Réf(TM5) = f(PROF)	Réf(TM5) = 0,38313 - 0,0856 * PROF	r = -0,9026
Réf(TM7) = f(PROF)	Réf(TM7) = -9,553 - 0,0031 * PROF	r = -0,9084

Tableau IV.18: Résultats des analyses corrélatives des stations du port .TETA V(20)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf(XS1) = f(PROF)	Réf(XS1) = 0,01936 - 0,0101 * PROF	r = -0,9978
Réf(XS2) = f(PROF)	Réf(XS2) = 0,00592 - 0,0255 * PROF	r = -0,9853
Réf(XS3) = f(PROF)	Réf(XS3) = -0,1175 - 0,0061 * PROF	r = -0,9013
Réf(MSS4) = f(PROF)	Réf(MSS4) = 0,01721 - 0,0105 * PROF	r = -0,9979
Réf(MSS5) = f(PROF)	Réf(MSS5) = -0,0974 - 0,0154 * PROF	r = -0,9851
Réf(MSS6) = f(PROF)	Réf(MSS6) = -0,1618 - 0,0041 * PROF	r = -0,9114
Réf(MSS7) = f(PROF)	Réf(MSS7) = -0,1769 - 0,0031 * PROF	r = -0,8996
Réf(TM1) = f(PROF)	Réf(TM1) = 0,01813 - 0,0057 * PROF	r = -0,9997
Réf(TM2) = f(PROF)	Réf(TM2) = 0,01962 - 0,0141 * PROF	r = -0,9966
Réf(TM3) = f(PROF)	Réf(TM3) = -0,0426 - 0,0185 * PROF	r = -0,9753
Réf(TM4) = f(PROF)	Réf(TM4) = -0,2708 - 0,0005 * PROF	r = -0,9020
Réf(TM5) = f(PROF)	Réf(TM5) = 0,40349 - 0,0911 * PROF	r = -0,9055
Réf(TM7) = f(PROF)	Réf(TM7) = -9,553 - 0,0033 * PROF	r = -0,9114

Tableau IV.19: Résultats des analyses corrélatives des stations du port .TETA V(30)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
Réf(XS1) = f(PROF)	Réf(XS1) = 0,01711 - 0,0097 * PROF	r = -0,9978
Réf(XS2) = f(PROF)	Réf(XS2) = 0,00752 - 0,0255 * PROF	r = -0,9863
Réf(XS3) = f(PROF)	Réf(XS3) = -0,1152 - 0,0067 * PROF	r = -0,9066
Réf(MSS4) = f(PROF)	Réf(MSS4) = 0,01490 - 0,0101 * PROF	r = -0,9980
Réf(MSS5) = f(PROF)	Réf(MSS5) = -0,0964 - 0,0153 * PROF	r = -0,9860
Réf(MSS6) = f(PROF)	Réf(MSS6) = -0,1605 - 0,0044 * PROF	r = -0,9156
Réf(MSS7) = f(PROF)	Réf(MSS7) = -0,1757 - 0,0034 * PROF	r = -0,9051
Réf(TM1) = f(PROF)	Réf(TM1) = 0,01528 - 0,0054 * PROF	r = -0,9997
Réf(TM2) = f(PROF)	Réf(TM2) = 0,01784 - 0,0137 * PROF	r = -0,9967
Réf(TM3) = f(PROF)	Réf(TM3) = -0,0404 - 0,0188 * PROF	r = -0,9764
Réf(TM4) = f(PROF)	Réf(TM4) = -0,2706 - 0,0006 * PROF	r = -0,9072
Réf(TM5) = f(PROF)	Réf(TM5) = 0,43925 - 0,1006 * PROF	r = -0,9102
Réf(TM7) = f(PROF)	Réf(TM7) = -9,552 - 0,0035 * PROF	r = -0,9164

5.9 Interprétation des résultats de l'analyse

L'ajustement linéaire entre les variables réflectances des différents canaux et profondeurs de la plage Est de Sidi-Fredj 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 IV.14, 15 et 16]. 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 TM7 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.

En revanche dans le port l'ajustement linéaire entre les réflectances des différents canaux de SPOT et LANDSAT et les profondeurs ont donné des valeurs de coefficient de corrélation avec des faibles variations entre les canaux mais qui sont tous à forte corrélation [tableaux IV17, 18 et 19]. Cela est dû aux faibles profondeurs des bassins du port et par conséquent l'absorption de rayonnement incident est très faible et l'enregistrement de la luminance au niveau des différents canaux sera plus important. 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 $r = -0,9778$ pour la palge Est de Sidi-Fredj et $r = -0,9997$ dans le port, ceci est dû au fait que la résolution spectrale au sein de satellite est la plus grande pour une longueur d'onde comprise entre 0,45-12,5 μ m. la résolution radiométrique de TM1 est plus fine que celle de TM2 respectivement pour les bandes spectrales: 0,45-0,52 et 0,52-0,60 μ m.

Dans les eaux très claires, le fond est visible de façon satisfaisante jusqu'à des profondeurs pouvant atteindre une vingtaine de mètres .Il est imperceptible dans les eaux très troubles, car sa part dans le signal émergent est très faible. La signature spectrale du fond varie avec les différents types de fonds, de sable, de vases ou de roches. (Moblely, 1994; Morel et al.,2007)

5.10 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(prof)**, nous avons inverser les équations pour trouver la profondeur en fonction de la réflectance

Prof (Z) =f(Réf) pour les canaux qui donnent les meilleurs corrélations dans les deux zones d'études, la plage et le port (**figure IV25 et IV26**) respectivement.

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

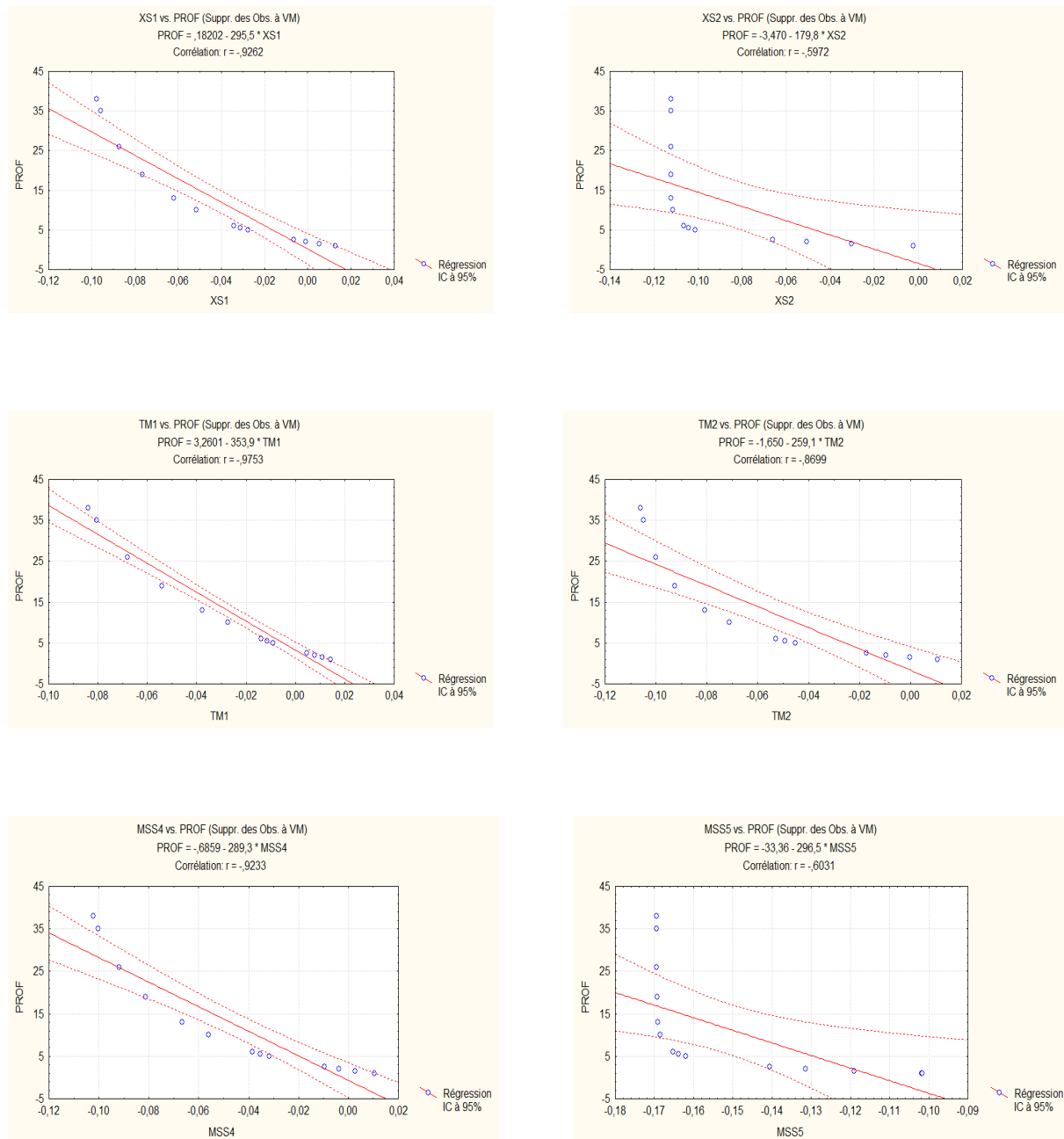


Figure IV.25: Ajustement linéaire entre réflectance et profondeur, après inversion des échelles pour la plage Est de Sidi-Fredj

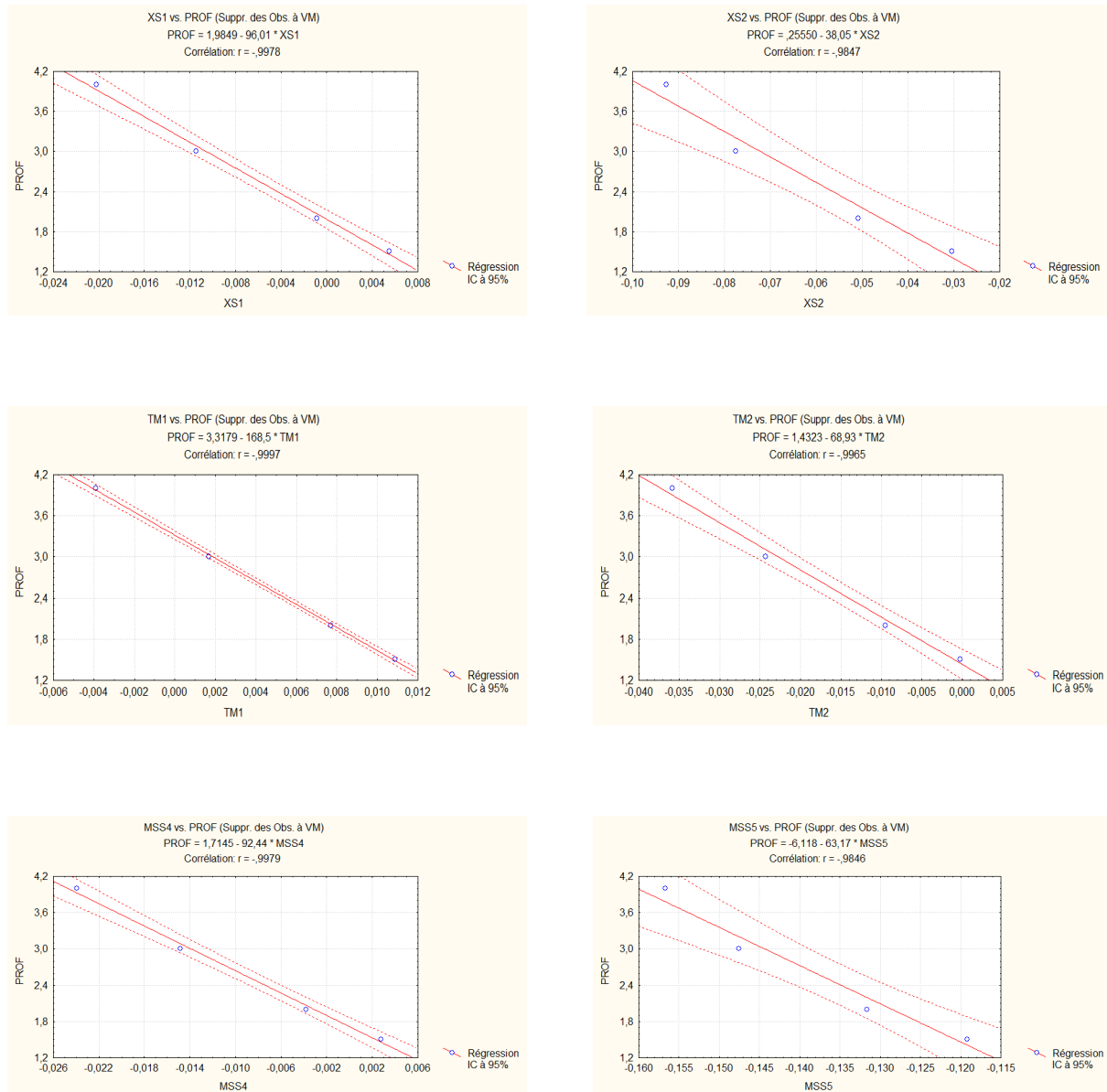


Figure IV.26: Ajustement linéaire entre réflectance et profondeur, après inversion des équations pour le port de Sidi-Fredj

Tableau IV.20 : Ajustement linéaire $prof(z)=f(Réf)$ (Plage Est de Sidi-Fredj)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
PROF (Z) = F (REF XS1)	PROF (Z) = 0,18202 - 295,5 *Réf(XS1)	r = -0,9262
PROF(Z) = F (REF XS2)	PROF(Z) = -3,470 - 179,8 *Réf(XS2)	r = -0,5972
PROF (Z)= F (REF TM1)	PROF(Z) = 3,2601 - 353,9 *Réf(TM1)	r = -0,9753
PROF(Z) = F (REF TM2)	PROF(Z) = -1,650 - 259,1 * Réf(TM2)	r = -0,8699
PROF(Z) = F (RÉF MSS4)	PROF(Z) = -0,6859 - 289,3 *Réf(MSS4)	r = -0,9233
PROF(Z) = F (RÉF MSS5)	PROF(Z) = -33,36 - 296,5 * Réf(MSS5)	r = -0,6031

Tableau IV.21: Ajustement linéaire $\text{prof}(z)=f(\text{Réf})$ (Port de Sidi-Fredj)

Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
$\text{PROF}(Z) = F(\text{REF XS1})$	$\text{PROF}(Z) = 1,9849 - 96,01 * \text{Réf}(\text{XS1})$	$r = -0,9978$
$\text{PROF}(Z) = F(\text{REF XS2})$	$\text{PROF}(Z) = ,25550 - 38,05 * \text{Réf}(\text{XS2})$	$r = -0,9847$
$\text{PROF}(Z) = F(\text{REF TM1})$	$\text{PROF}(Z) = 3,3179 - 168,5 * \text{Réf}(\text{TM1})$	$r = -0,9997$
$\text{PROF}(Z) = F(\text{REF TM2})$	$\text{PROF}(Z) = 1,4323 - 68,93 * \text{Réf}(\text{TM2})$	$r = -0,9965$
$\text{PROF}(Z) = F(\text{RÉF MSS4})$	$\text{PROF}(Z) = 1,7145 - 92,44 * \text{Réf}(\text{MSS4})$	$r = -0,9979$
$\text{PROF}(Z) = F(\text{RÉF MSS5})$	$\text{PROF}(Z) = -6,118 - 63,17 * \text{Réf}(\text{MSS5})$	$r = -0,9846$

6 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.

Pour le site étudié, la profondeur de l'eau est telle que le rayonnement solaire ne peut pratiquement pas interagir avec le fond de la mer. (Morel, 1982; Bachari et al.,2004)

Concernant la simulation des données satellites, il est nécessaire de connaître la nature du fond. L'application de l'outil de Simulation des Données satellites nécessite la détermination de la sédimentologie de la zone d'étude (Nanu & Robertson, 1990).

La quantification de ces images par notre formule montre qu'il y a une convergence considérable des résultats entre l'image corrigée et celle de la carte bathymétrique réelle par rapport à l'image brute convertie en profondeur (Figure IV30, IV31, IV32, IV.33).

**Figure IV.27:** Application des modèles d'inversion de la bathymétrie sur PCASATWIN

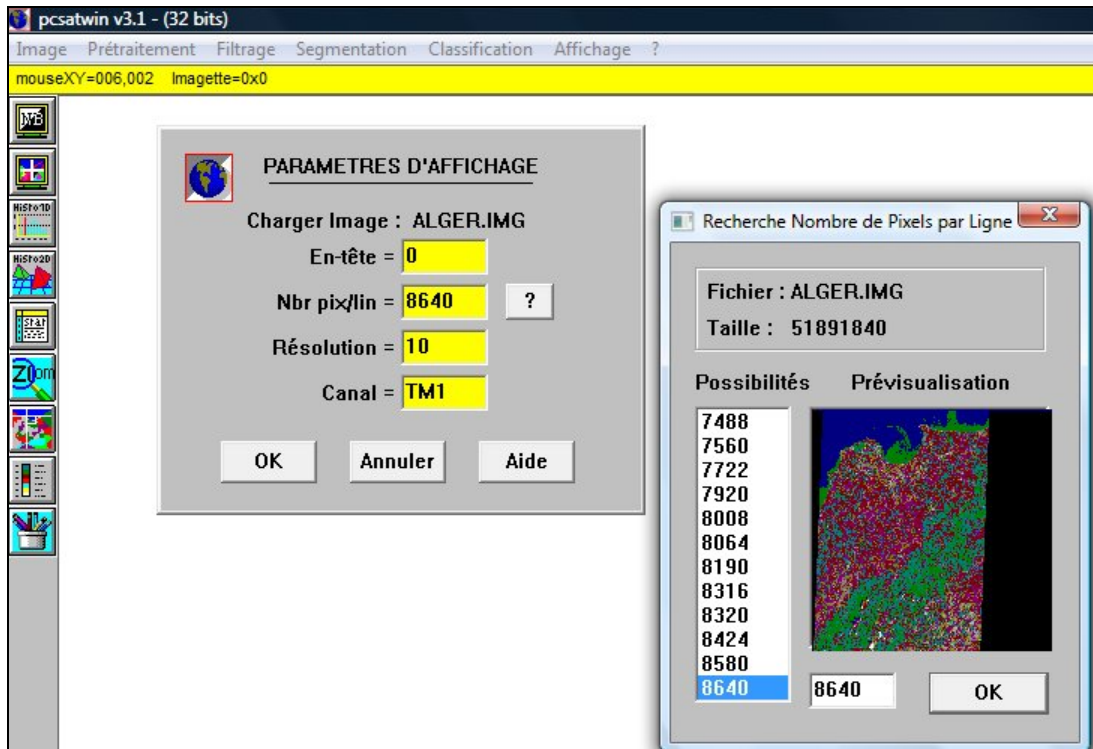


Figure IV.28: Paramètres d'affichage et prévisualisation de l'Image Satellite Landsat TM de la côte algéroise.

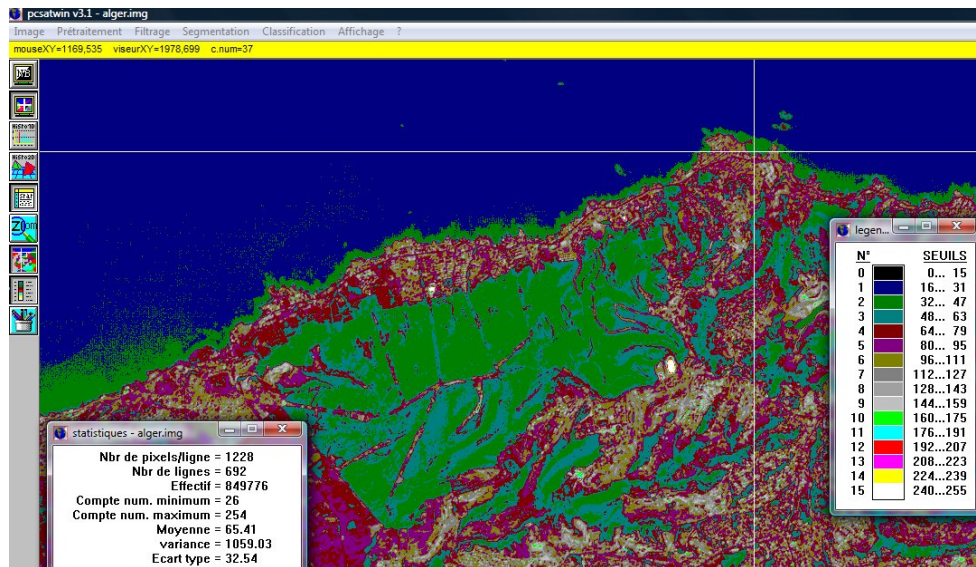


Figure IV.29: Traitement de l'Image Satellite Landsat TM .

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

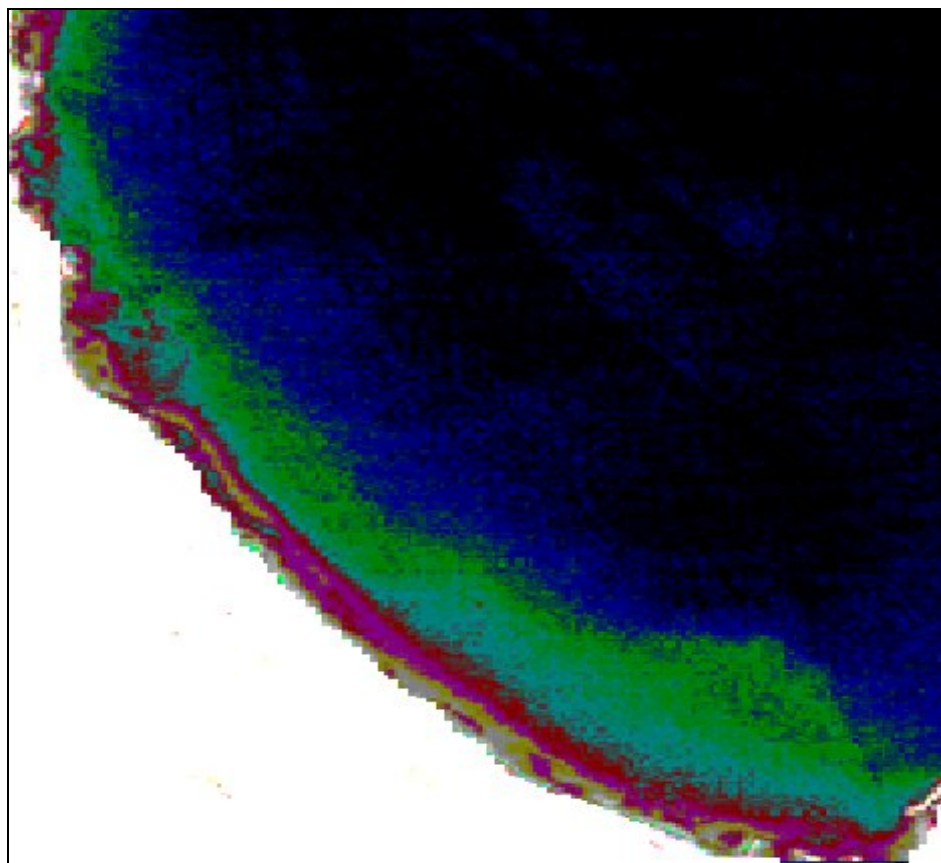


Figure IV.30: Image satellitaire (Spot) traitée de la baie d'El Djamilia

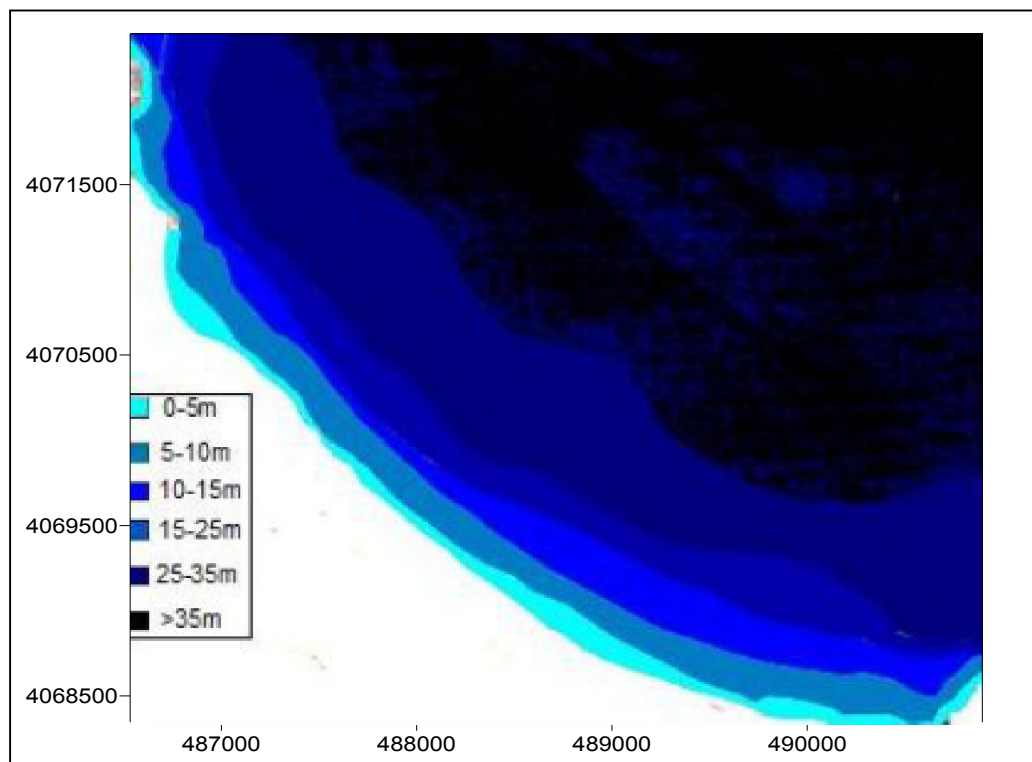


Figure IV.31 : Carte bathymétrique de la baie d'El Djamilia extraite à partir d'une image traitée satellite SPOT-XS1.

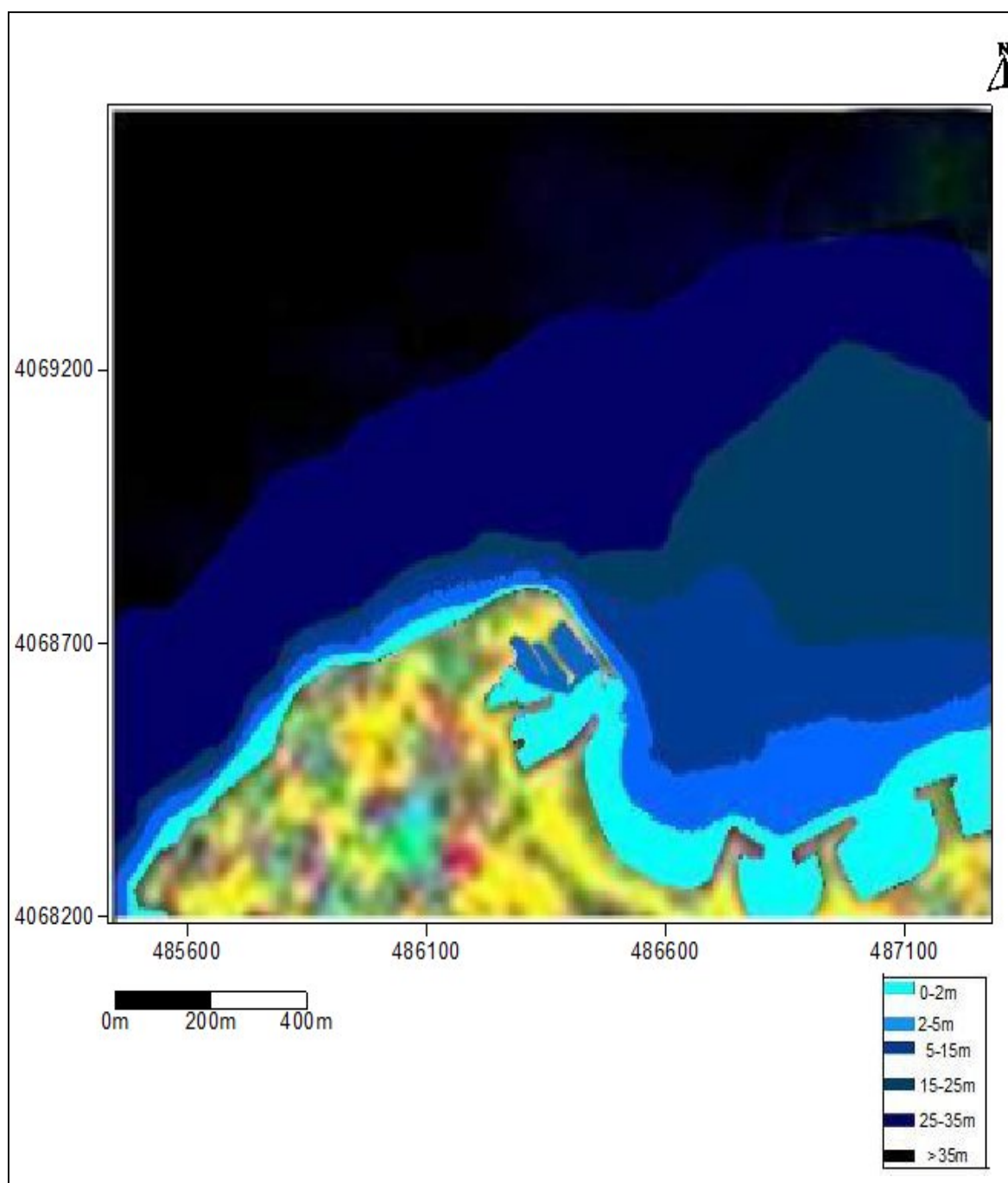


Figure IV.32 : Carte bathymétrique de la plage Est Sidi-Fredj Tirée de photo satellite traitée (Spot XS1)

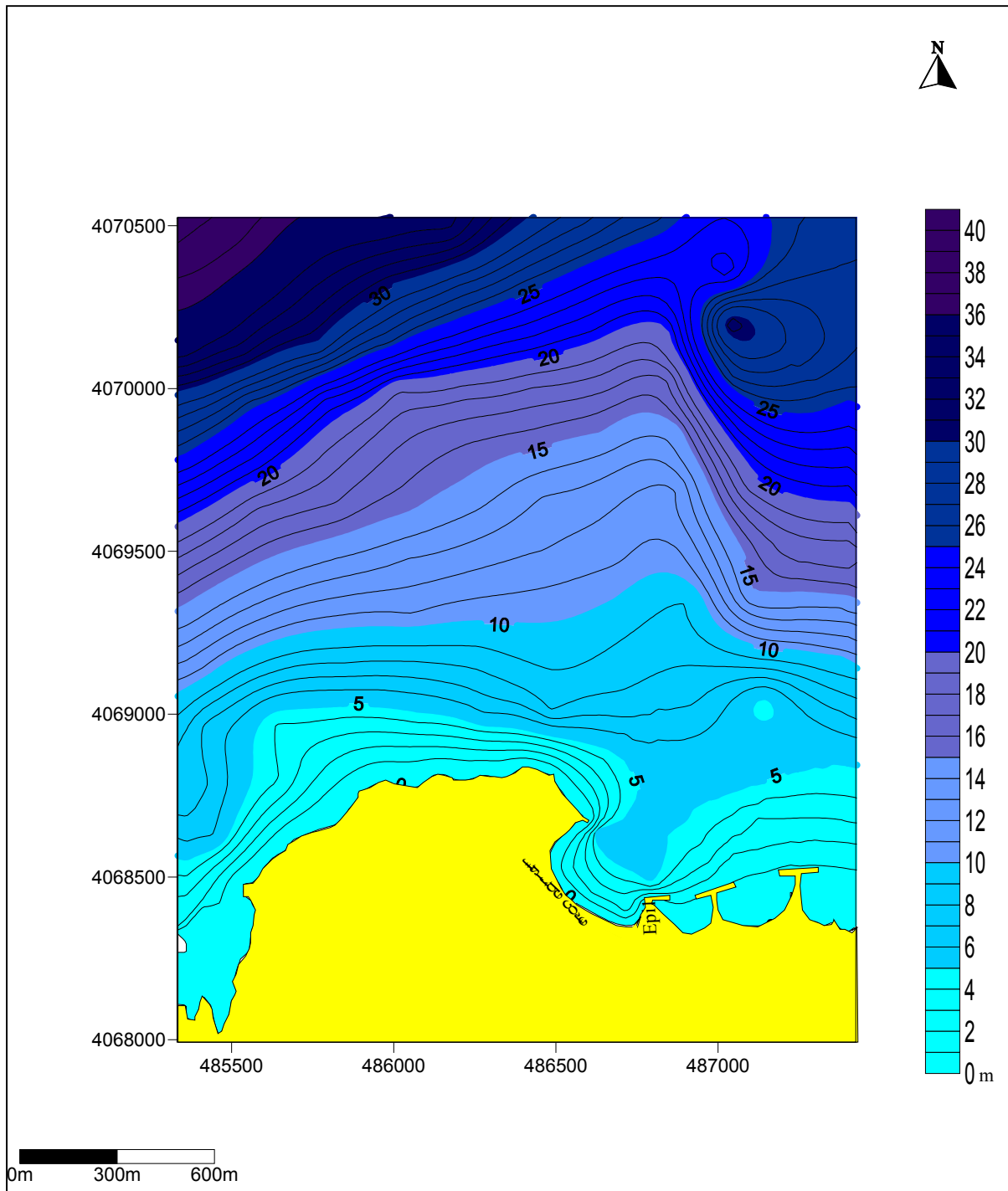


Figure IV.33 : Carte bathymétrique in situ de la plage Est Sidi-Fredj

La télédétection multispectrale réalise une observation d'un grand espace en nanoseconde dans plusieurs spectres (Morel, 1980). L'image résultante se présente comme étant une matrice numérique manipulable et exploitable.

L'élément de matrice nommé pixel est caractérisé par la résolution spatiale, la résolution spectrale et la résolution temporelle. Sa valeur numérique est une convolution des propriétés optiques de la source (soleil), du milieu perturbateur (atmosphère), de l'objet au sol et des propriétés optoélectroniques des capteurs. La thématique étudiée nous impose la démarche que nous développons afin d'extraire l'information voulue et utile à partir des images satellites. (**Abdellaoui, 2009; Abdellaoui,1986**).

L'objectif du présent travail est double:

- Obtenir des modèles entre la réponse spectrale de l'eau de mer avec les propriétés physiquement optiques en utilisant des mesures in situ.
- Réaliser un modèle d'inversion pour aboutir à une cartographie:
 - o de la présence des matériaux en suspension et des constituants de la masse d'eau marine.
 - o et de la bathymétrie aux environs de la côte.

D'autre part, en s'inspirant des différentes approches développées et des caractéristiques des satellites, nous avons essayé de mettre en évidence l'utilisation de la télédétection afin de trouver des relations entre les paramètres optiques et les descripteurs de la qualité de l'eau. Il devient donc nécessaire de s'appuyer sur des modèles de réflectances que l'on inverse pour déterminer la bathymétrie des zones côtières. (**Bachari et al.,2004**)

Les relations développées sont utilisées pour transformer les images en images indicatrices de la profondeur de l'eau. Des cartes numériques sont établies pour étudier la bathymétrie des eaux côtières. (**Houma,2009; Walker, 1996; Weber et al.,1991**)

▪ **Résultats des modèles d'inversion pour le port de Sidi fredj**

Nous obtenons une carte de données bathymétriques issues des modèles appliqués avec les paramètres de radiation satellitale (**Figure IV. 34**)

Les valeurs sont calculées dans chaque bassin du port.

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 $0,55\mu\text{m}$, comme le canal 2 de Thématic 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.



- Abbad.F-Z et Bouchene.K,2003** : Caractérisation de la pollution des eaux de la baie d'Alger en utilisant des images satellites, application aux hydrocarbures. Mémoire d'ingénieur. Option: Génie de l'Environnement. USTH. 86P
- Abdellaoui A., 1986.** Détermination des variations spatio temporelles du bilan énergétique au sol par télédétection visible et infra rouge. *Thèse de doctorat ès sciences physiques et chimiques* ; Université Louis Pasteur Strasbourg.
- Abdellaoui A., 2009** .Potentialité de l'imagerie satellitale moyenne résolution pour le suivi du transport de sable en milieu oasien ; Séminaire international « Dynamiques des Paysages et Télédétection : Aspects Environnementaux et Développement Durable », Manouba, Tunisie, 9-11 Juin 2009.
- Alsichikh.S et Lainser.K, 2008** : Paramètres océanographiques, gestion littoral et imagerie bathymétrique (baie de Bou-Ismaïl et baie d'Eldjamila). Mémoire d'ingénieur. Option: Aménagement du littoral. ISMAL. 76p.
- Aminot.A et Chaussepied.M, 1983** : Manuel des analyses chimiques en milieu marin. Ed CNEXO, Brest. 395 p.
- Aminot.A et Kerouel.R, 2004:** Hydrologie des écosystèmes marins. Paramètres et analyses. Ed Ifremer. 336 p.
- Amrani .S et Ferhat R, 1994:** Etude des caractéristiques physico-chimique et bactériologiques de l'eau dans un port de plaisance (Sidi-Fredj). Mémoire DEUA.ISMAL. 78P.
- 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., Belkessa R., et Houma F., 2004.**Contribution of multispectral satellite imagery to the bathymetric analysis of coastal sea bottom. MWWD-IEMES 3rd *International Conference on Marine Waste Water Discharges and Marine Environment* CATANIA 27/09-2/10.
- Bachari N.E.I., et Houma F., 2006.** Détermination des cartes bathymétriques des zones côtières à partir des images satellites. *Rapport du premier congrès Méditerranéen d'Océanologie, du 20-22 Novembre 2006, Sidi Fredj- Alger Algérie.* P:16.
- Benghanem I et al, 2006:** Morphologies et sédimentologie de la zone Est de Sidi-Fredj. Mémoire DEUA.ISMAL. 56P
- Bonn.F,1996** :Précis de télédétection, Vol 2, application thématique. Les presses de l'université du Québec, Canada.484P.
- Bonn .F et Rochon.G,1982:** Précis de télédétection, Vol 1, principes et méthodes. Les presses de l'université du Québec, Canada.485P.

- Bouzi L et Nehad M, 2006:** reconnaissance bathymétrique de la baie d'Eldjamila à partir des données satellitaire. Mémoire d'ingénieur. Option : Aménagement du littoral. ISMAL. 57p
- Bricaud, 1981**
- Caloz.R, 2001 :** Précis de télédétection, traitements numériques d'image de télédétection
- Clark et al, 1987 :** Du satellite à la classe.128P
- Diaz et al, 1995**
- Dridi.K et Meziani.S, 2003 :** Apport de la télédétection pour déterminer la bathymétrie des zones littorales, Application baie d'Alger. Mémoire d'ingénieur d'état En Aménagement du littoral. ISMAL. p 3-93
- Farmer C.T., Moore C.A., Zika R.G., and Sikorski R.J., 1993.** Effects of low and high Orinoco River flow on the underwater light field of the Eastern Caribbean Basin. Journal of Geophysical Research, vol. 98, no C2, p. 2279-2288.
- Ferdinand.b et Guy.R ,1996 :** Précis de télédétection, principes et méthodes, Vol 1. P 1-3.
- Fernand .V, 2002 :** L'espace nouveau territoire, Atlas des satellites et des politiques spatiales. 382P
- Fingas M., and Brown C.E., 2000.** Review of oil spill Remote Sensing in proceedings of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and coastal Environments, Environmental Reaserch Institute of Michingan, Ann Arbor,Michingan,pp.1211-1218.
- Folk.K, 1966:** Petrology of sedimentary rooks. Edition Masson (Paris) p.327
- Gaujous.D, 1995 :** La pollution des milieux aquatiques, aide-mémoire, Technique et documentation. 40-41 p.
- Girard. M et Girard .C, 1989 :** Télédétection appliquée aux Zones tempérées et intertropicales, Edition Masson.P 64-70.
- Grid-Geneva., 2000.** Quarterly Bulletin n°2, Remote Sensing Training for Lebanon's Environment Observatory.
- Harbi.R et Sibachir.R, 2009 :** Reconnaissance bathymétrique et morphologique dans la baie de Zammouri en utilisant les images satellitaires. ENSSMAL.56P
- Houma F., 2007.** Caractérisation des polluants de la côte oranaise et algéroise par analyse physico-chimique et corrélation avec les données satellites. *Thèse de doctorat, USTHB Alger, Océanographie biologique et Environnement Marin, 225 P.*
- Houma F., Belkessa R., and Bachari N.E.I., 2006.** Contribution of multispectral satellite imagery to the bathymetric analysis of sea bottom Application to Algiers city, Algeria. 3éme congrés International, Physique des interactions, Rayonnement – Matières PIRM III. 05-07 Avril 2006 Settat - El Djedida Maroc.
- 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 § télédetection, ParisXII, 235p.

- Houma F., Abdellaoui A., Bachari N.E.I., and Belkessa R., 2010.** Contribution of Multispectral Satellite Imagery to the Bathymetric Analysis of Coastal sea bottom. Application to Algiers bay, Algeria. *Journal Physical Chemical News*, Maroc.
- Ibrahim M., Cracknell A P., 1990.** Bathymetry using Landsat MSS data of Penang Island in Malaysia. *International Journal of Remote Sensing*, vol.2, n°4, p.557-559.
- Ivanoff. A , 1972 :** Paramètres physico-chimiques des eaux de mer. *Ed Librairie Vuibert*. Tome I. 208 p.
- Jean.M et al, 1995 :** télédétection des ressources en eau.
- Krishnamoorthy R., Gnappazham L., and Navamuniyammal M.,1988.** Indian Remote Sensing Satellite Data Application Potential in Coastal Studies, 27th *International Symposium on Remote Sensing of Environment*, p.119-122.
- Legouic M., 1987.** Utilisation de Spot en hydrographie.SPOT1 : Utilisation des images, bilan, résultats. Paris, Novembre 1987,Cepadues -Editions,Toulouse,p.1063-1068.
- Lacaze.J-C, 1996 :** La pollution des mers. Ed Flammarion. 118 p.
- Lambert Castel F., et Penot M., 1981.** Actions des pétroles de l'Amoco Cadiz sur la croissance et certains aspects du métabolisme d'une algue phytoplanctonique *Pavlova lutheri* (DROPP) Green. *In Indices Biochimiques et milieux marins* .Actes du colloque des journées du GABIM, 14, CNEXO, Brest, pp.411-422.
- Leclaire. L, 1972 :** la sédimentation holocène sur le versant méridional du Algero-baleares (Pré - continent Algerien).P183-205.
- LEM, 1984 :** Etude de protection de rivage Sidi-fredj , club des pins(P.3à5)
- Lemoalle J.,1978.** Application des images Landsat à la courbe bathymétrique du lac Tchad. *Cahier ORSTOM, série Hydrobiologie*, Vol XII, n°1,p.31-37.
- Lemoalle J.,1978.** Application des images Landsat à la courbe bathymétrique du lac Tchad. *Cahier ORSTOM, série Hydrobiologie*, Vol XII, n°1,p.31-37.
- Leroy M., 1992.** Capteurs imageurs optiques C.N.E.S.
- Loubersac L., Burban P.Y., Lemaire O., Varet H., et Chenon F., 1991.** « Integrated Study of Aitutaki's Lagoon (Cook Island) Using SPOT Satellite Data and in-situ Measurements: Bathymetric Modelling », *Geocarto International*, vol.6, n°2, p. 282-283.
- Loubersac L., Burban PY., Lemaire O., Chenon F., and Varet H., 1989.** « Nature des fonds et bathymétrie du lagon de l'atoll d'Aitutaki (îles Cook) d'après des données SPOT-1 », *Photo-interprétation*, n°5/6, p.29-40.

- Madi. F ; 2009.** Apport du système d'information géographique (SIG) pour la modélisation de la couleur des eaux marines. (Cas : la baie d'Alger). Mémoire d'ingénieur . ENSSMAL. p10-19
- Magron .F, 2007 :** Bathymétrie des eaux peux profondes . Lettre d'information sur la pêche. p 44-48
- Minghelli-Roman A., Polidori L., Mathieu-Blanc S., Loubersac L, and François Cauneau ., 2007.** Bathymetric Estimation Using MeRIS Images in Coastal Sea waters .IEEE Geoscience And Remote Sensing Letters, Vol. 4, No. 2, April 2007
- Mobley C.D., 1994.** Light and water. Radiative transfer in natural waters. Academic Press Inc., San Diego, 592 p.
- Monbet.Y, 1976 :** Etude bionomique du plateau continental au large d'Arcachon(Application de l'analyse factorielle) thèse de 3eme cycle. Université d'Aix Marseille. p 91.
- Morel A., and Gentili B., 2004.** Radiation transport within oceanic (case1) water; Journal Of Geophysical Research, VOL. 109, C06008, doi:10.1029/2003JC002259, 22pages .
- Morel A., Gentili B., Claustre H., Babin M., Bricaud A., Ras J., and Tie`che F., 2007.** Optical properties of the "clearest" natural waters. Laboratoire d'Océanographie de Villefranche, Université Pierre et Marie Curie and CNRS, Limnol. Oceanogr., 52(1), 2007, 217–229 ; E 2007, by the American Society of Limnology and Oceanography, Inc.
- Oukazi.H, 1993 :** Le port de plaisance de Sidi-Fredj: Approche critique à travers son fonctionnement et son impact sur l'environnement immédiat. Mémoire d'ingénieur. ISMAL. 209p
- Prieur L., MOREL A., 1975.** Relations théoriques entre le facteur de réflexion diffuse de l'eau de mer à diverses profondeurs, et les caractéristiques optiques.UGGI. XVI° A.G. Grenoble. Aout 1975. Symposium interdisciplinaire d'optique océanique. I.S.30, n°13 : p250-251.
- Provencher.L, 1996:** Précis de télédétection, méthodes de photo-interprétation et d'interprétation d'image
- Ramade. F, 2000 :** Dictionnaire encyclopédique des pollutions. Ed Ediscience international. P 690-691.
- Robin.M, 2002 :** Télédétection des satellites aux SIG 2ème Edition. Paris : Nathan. P 15-17
- Rodier.J, 1996:** L'analyse de l'eau, eau naturelle, eaux résiduelles, eau de mer. 8ème édition. Ed Dunod, Paris. 1383 p.
- Rodier J. et al., 2005.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. Ed DUNOD, 8ème édition, Paris, 1384 P.
- Salomon. J.N., 2003.** Danger pollutions !. Collection « Scieteren », Presse Universitaire de Bordeaux, France, 170 P.
- Seguis L., Chevillotte H., Gascuel C., Boivin P., et Braudeau E., 1991.** Contribution de l'imagerie satellitaire à l'optimisation des aménagements hydro-agricoles dans la moyenne vallée du Sénégal. *In* Dubois JM., Cavayas F., et Lafrance P(réd).Télédétection appliquée à la cartographie thématique et

topographique *Actes des journées scientifiques de Montréal*, 1991, Editions AUPELF et les presses de l'Université du Québec, p.129-137.

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: 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, p.396-398.

SDDS ; Simulation des données satellitaire. Logiciel développé par Mr. Bachari

Strum B., 1980. Optical properties of water application of remot sensing to water quality determination dans G. FRAYSSE (dir), *Remot sensing application in agriculture and hydrology.* Balkema, Rotterdam, p471-495.

Vatan.A, 1967: Manuel de sédimentologie. Ed techip.Paris, 397P

Walker N., 1996. Satellite assessment of Mississippi river plume variability: Causes and predictability. *Remote Sensing of Environment*, vol. 58, p. 21-35.

Weber O., Jouanneau J.M., Ruch P., and Mirmand M.,1991. Grain-size relationship between suspended matter originating in the Gironde estuary and shelf mud-patch deposits. *Marine Geology*, vol. 96, p. 159-165.

Sources internet :

www.tiger.esa.int/training/Introduction-teledetection.pdf

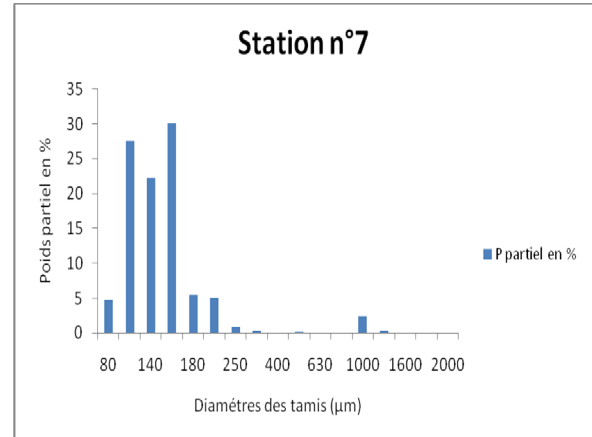
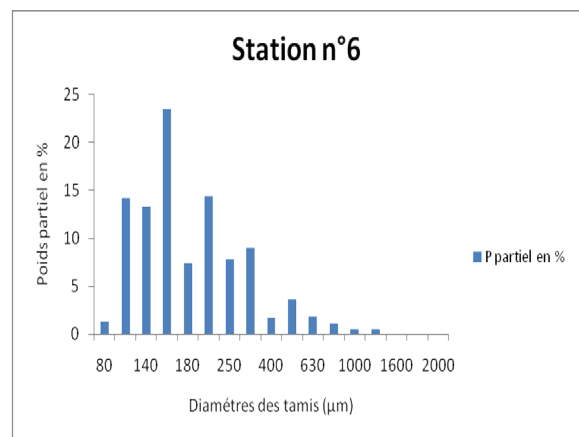
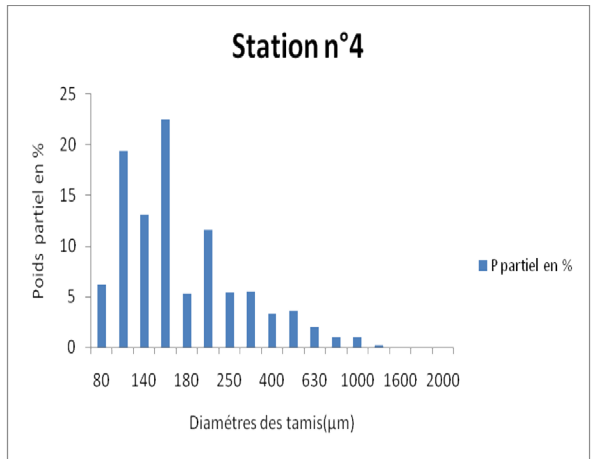
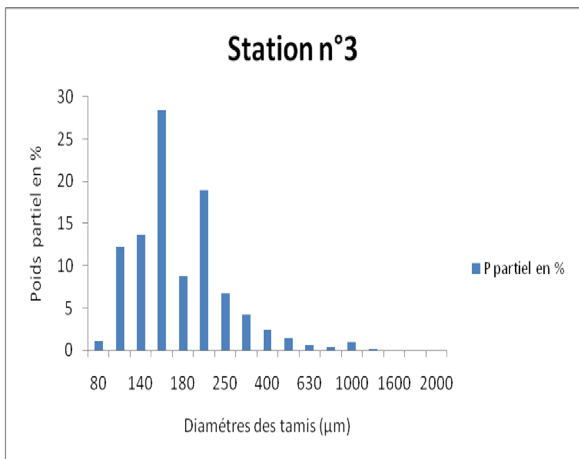
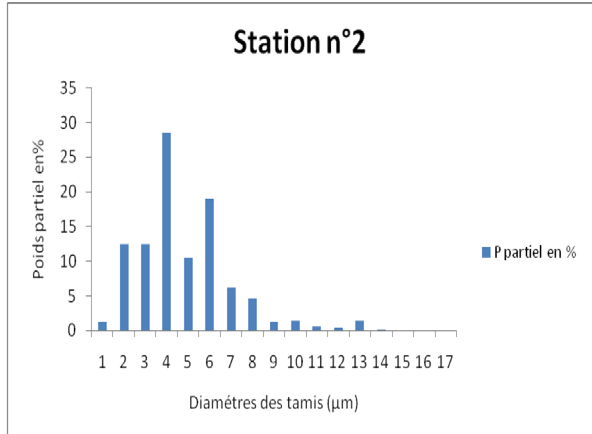
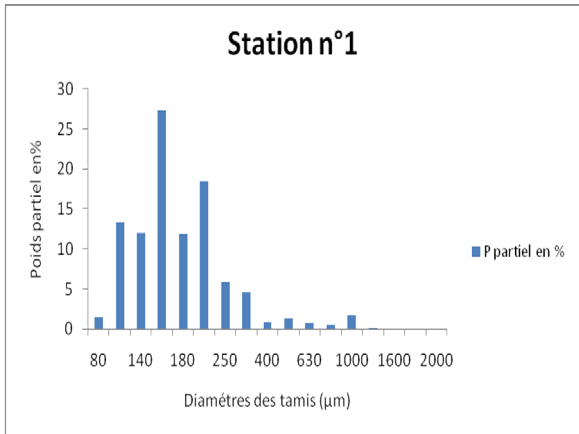
ANNEXE :

Tableau 1 : des poids partiels en pourcentage des refus des tamis de chaque station de la plage :

Poids partiel en %	Station n°1	Station n°2	Station n°3	Station n°4	Station n°6	Station n°7
Q Diamètres des tamis (µm)						
80	1,4205449	1,20547945	1,0663765	6,17861416	1,2546367	4,83172276
100	13,3573625	12,3835616	12,2742111	19,3843142	14,2155793	27,6352327
140	11,989823	12,5041096	13,6887922	13,0534102	13,2882391	22,2481395
160	27,4037952	28,6027397	28,476605	22,5388883	23,5108008	30,1566145
180	11,8520089	10,5205479	8,80304679	5,27575329	7,35326206	5,48705987
200	18,4246793	19,0575342	18,9227421	11,6392908	14,4010473	5,06497834
250	5,92600445	6,1369863	6,74646355	5,40628739	7,8114772	0,96634455
315	4,50545956	4,60273973	4,22198041	5,48243229	9,00065459	0,37765189
400	0,86928867	1,20547945	2,36126224	3,29598608	1,71285184	0,11107409
500	1,34633733	1,42465753	1,44722524	3,56793212	3,5566223	0,15550372
630	0,66786812	0,54794521	0,609358	1,96888937	1,75649138	0,11107409
800	0,46644758	0,38356164	0,31556039	1,03339497	1,12371809	0,06664445
1000	1,66436977	1,31506849	0,92491839	0,97900577	0,54549422	2,49916694
1400	0,10601081	0,10958904	0,14145811	0,19580115	0,46912503	0,28879262
1600	0	0	0	0	0	0
1800	0	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0	0

Tableau 2 : des poids partiels en pourcentage des refus des tamis de chaque station du port :

Poids partiel en %	Station A	Station B	Station C	Station D	Station E
Q Diamètres des tamis (µm)					
80	30,6559572	10,2893891	8,93141946	5,24416375	0,96256684
100	14,5470772	14,6945338	33,1738437	30,2385249	9,77540107
140	16,9567158	12,4437299	19,6438065	22,3017932	10,9518717
160	11,869701	12,0257235	15,8958001	22,2454043	21,4759358
180	9,19232485	3,37620579	3,88091441	5,49791361	6,60962567
200	5,13163766	7,68488746	6,96438065	8,77692568	15,9572193
250	3,34672021	6,23794212	3,08346624	2,76305402	8
315	2,00803213	6,88102894	2,28601808	1,42381865	9,45454545
400	1,82954038	5,11254019	1,01010101	0,32423593	5,92513369
500	1,24944221	7,36334405	1,4619883	0,2960415	5,10160428
630	1,02632753	5,85209003	1,06326422	0,18326379	2,80213904
800	2,18652387	6,01286174	0,9569378	0,21145822	1,61497326
1000	0	2,02572347	1,64805954	0,4934025	1,36898396
1400	0	0	0	0	0
1600	0	0	0	0	0
1800	0	0	0	0	0
2000	0	0	0	0	0



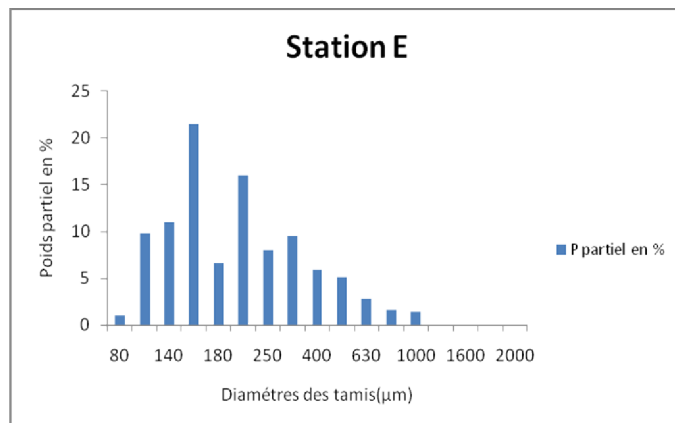
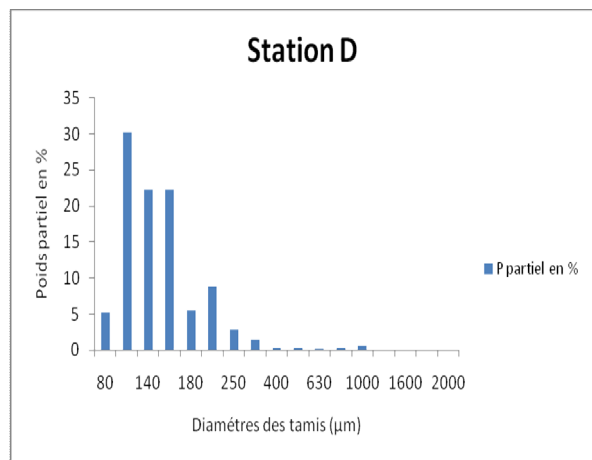
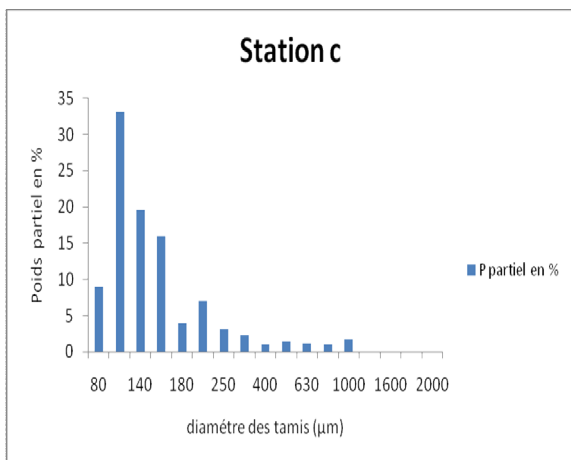
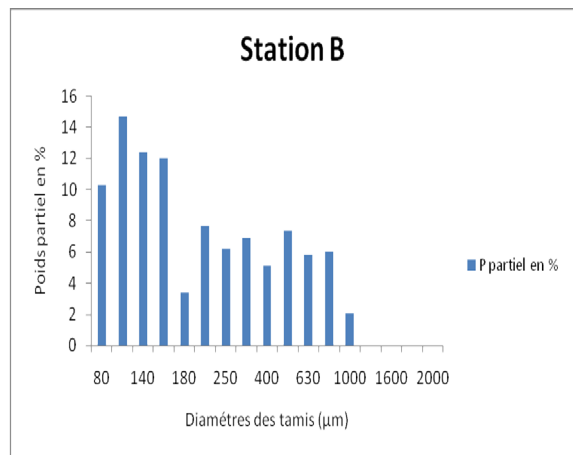
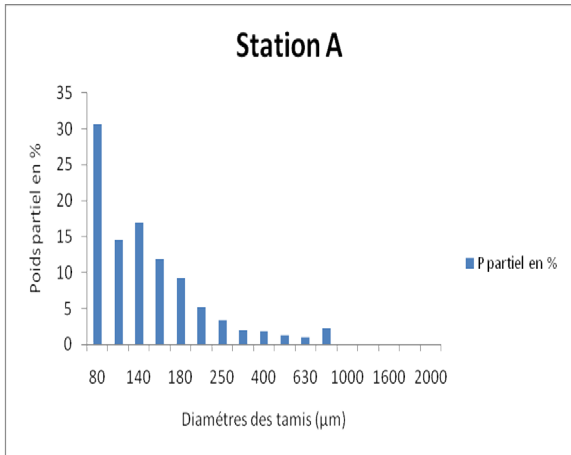


Figure1 : Histogrammes des modes

STATIONS	ALTITUDE	LONGITUDE	PROFONDEURS
1	364654,79	25013,04	38
2	364654,59	25020,62	37
3	364654,79	25028,94	35
4	364654	25037	34,5
5	364654	25046	34
6	364654	25055	30
7	364654	25102	28
8	364654	25111	26
9	364654	25119	24
10	364648	25012	36,5
11	364648	25020	35
12	364648	25020	33
13	364648	25029	30
14	364648	25038	28
15	364648	25046	26
16	364648	25054	24,5
17	364648	25102	23
18	364648	25111	22,5
19	364648	25119	34,5
20	364642	25012	32,5
21	364642	25020	30
22	364642	25029	26
23	364642	25038	23,5
24	364642	25045	22
25	364642	25055	21
26	364642	25102	20
27	364642	25111	32
28	364642	25119	29
29	364636	25012	26
30	364636	25020	22
31	364636	25029	19
32	364636	25038	18,5
33	364636	25046	18
34	364636	25054	17,5
35	364636	25103	17
36	364636	25111	27
37	364636	25119	25
38	364630	25012	22
39	364630	25020	19
40	364630	25029	17
41	364630	25038	16
42	364630	25047	15,5

43	364630	25055	15
44	364630	25103	14,5
45	364630	25111	22
46	364630	25119	20,5
47	364624	25012	18
48	364624	25020	17
49	364624	25030	15,5
50	364624	25038	14,5
51	364624	25046	13
52	364624	25055	12,5
53	364624	25102	12
54	364624	25111	19
55	364624	25120	17
56	364618	25012	15
57	364618	25020	14
58	364618	25029	13
59	364618	25038	12,5
60	364618	25046	12
61	364618	25055	11,5
62	364618	25103	11
63	364618	25111	16
64	364618	25120	14
65	364612	25012	12
66	364612	25020	11
67	364612	25029	11
68	364612	25038	10,5
69	364612	25046	10,5
70	364612	25054	10
71	364612	25103	9
72	364612	25112	15
73	364612	25120	10,75
74	364606	25012	8,25
75	364606	25020	7,75
76	364606	25029	8
77	364606	25038	8,5
78	364606	25046	9,25
79	364606	25054	8,75
80	364606	25103	8,25
81	364606	25111	10
82	364606	25120	6,75
83	364600	25012	4
84	364600	25021	3,75
85	364600	25029	4,5
86	364600	25038	6
87	364600	25046	8

88	364600	25054	7,5
89	364600	25103	7
90	364600	25112	4,25
91	364600	25120	7
92	364553	25012	4
93	364553	25021	2
94	364553	25103	6
95	364553	25112	6
96	364553	25120	5,25
97	364547	25012	1,75
98	364547	25103	4
99	364547	25111	4,25
100	364547	25120	3,75
101	364541	25103	2
102	364541	25112	2,25
103	364541	25119	1,75

Tableau 3: Les valeurs de la luminance pour les trois canaux du satellite Spot en fonction de Téta (plage)

Téta V		30		
Stations	Prof	XS1	XS2	XS3
1	1	93,244	66,950	18,594
2	1	93,244	66,972	18,753
3	1,5	91,400	60,214	14,985
4	2	89,820	55,186	13,414
5	2,5	88,428	51,386	12,742
6	5	83,103	42,233	12,288
7	5	83,103	42,231	12,277
8	5,5	82,253	41,441	12,274
9	6	81,453	40,828	12,272
1'	38	64,960	38,995	12,437
11	35	65,492	38,995	12,437
29	26	67,736	38,995	12,437
54	19	70,567	38,999	12,437
58	13	74,385	39,072	39,072
81	10	77,106	39,313	12,437

Tableau 4: Les valeurs de la luminance pour les six canaux du satellite Landsat en fonction de Téta (plage)

Téta V		30					
Stations	Prof	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
1	1	101,9233	87,6501	52,176	20,1438	1,8494	0,3826
2	1	101,9233	87,6501	52,2719	20,2945	1,8672	0,3985
3	1,5	101,1411	84,9246	45,9235	16,2858	1,1293	0,2597
4	2	100,3895	82,6145	41,907	14,6139	0,8212	0,2004
5	2,5	99,6659	80,6167	39,2107	13,9017	0,6918	0,1855
6	5	96,405	73,52	33,8114	13,418	0,6017	0,1521
7	5	96,405	73,52	33,8045	13,4078	0,6011	0,1517
8	5,5	95,8151	72,4842	33,4156	13,4042	0,6005	0,1514
9	6	95,2435	71,5371	33,1261	13,4027	0,6002	0,1512
1'	38	78,0064042	57,3388535	32,5808638	13,5734204	0,6084823	0,15402811
11	35	78,8476885	57,6345348	32,5808639	13,5734204	0,6084823	0,15402811
29	26	82,0616164	59,028276	32,5808851	13,5734204	0,6084823	0,15402811
54	19	85,5451936	61,0593169	32,5816328	13,5734204	0,6084823	0,15402812
58	13	89,5532634	64,2080288	32,5990658	13,5734204	0,6084823	0,15402888
81	10	92,0526306	66,7395422	32,6738451	13,5734214	0,60848248	0,15403848

Tableau 5: Les valeurs de la luminance pour les quatre canaux du satellite Landsat en fonction de Téta (plage)

Téta V		30			
Stations	prof	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
1	1	93,1041	64,7151	26,8652	12,1621
2	1	93,1041	64,7541	27,0464	12,2938
3	1,5	91,2593	58,424	22,8939	9,7907
4	2	89,6639	53,8313	21,1137	8,7465
5	2,5	88,2501	50,3987	20,3164	8,2970
6	5	82,8273	42,0927	19,6674	7,997
7	5	82,8273	42,0899	19,6536	7,9876
8	5,5	81,9654	41,3509	19,6389	7,9853
9	6	81,1575519	40,7700461	19,6293811	7,98438514
1'	38	64,9244469	38,875291	19,8533703	8,10307812
11	35	65,4524111	38,8754585	19,8533703	8,10307812
29	26	67,6583113	38,8774262	19,8533705	8,10307812
54	19	70,415962	38,8896852	19,8533775	8,10307812
58	13	74,1369944	38,9928342	19,8536182	8,10307812
81	10	76,812482	39,2701084	19,8549592	8,10307875

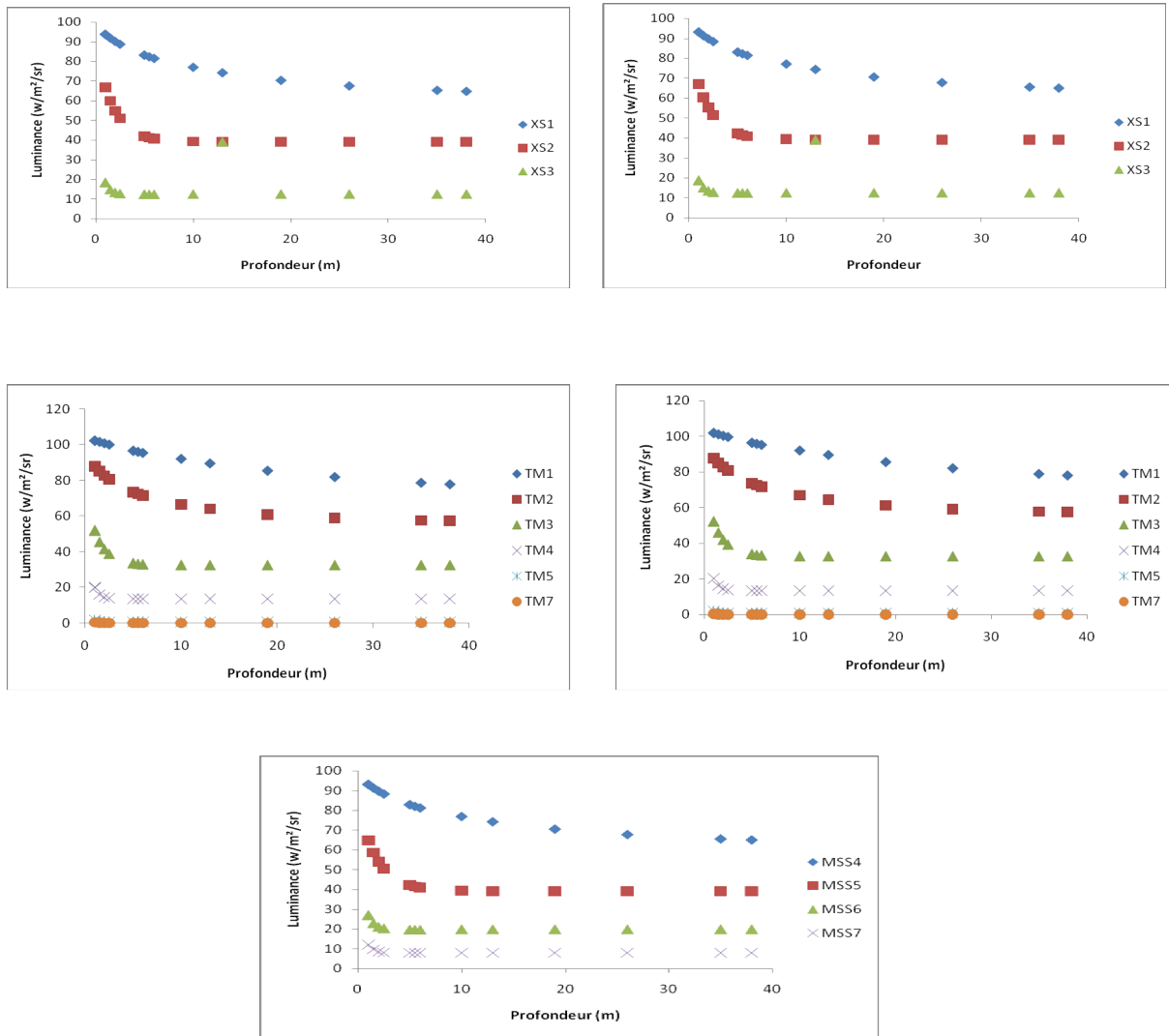


Figure 2 : Variation de la radiation à Téta V (20 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau Pour les stations de la plages Est de Sidi- Fredj

Tableau 6: Les valeurs de la luminance pour les trois canaux du satellite Spot en fonction de Téta (Port)

Téta V		30		
Bassins	Prof	XS1	XS2	XS3
A	4	84,98586814	44,55126322	12,19519982
B	3	87,17700192	48,46934332	12,31088322
C	1,5	91,40000464	60,17990487	14,7516015
D	2	89,8203534	55,15697839	13,21951581
E	1,5	91,40002418	60,18390925	14,77897105

Tableau 7: Les valeurs de la luminance pour les trois canaux du satellite Spot en fonction de Téta (Port)

Téta V		30					
Bassins	Prof	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
A	4	97,64358579	75,91338775	34,96940518	13,33521698	0,600496397	0,149932348
B	3	98,96806945	78,86302276	37,24234716	13,46414196	0,629182669	0,155929554
C	1,5	101,1411201	84,92467926	45,77871339	16,06615881	1,109389798	0,245185781
D	2	100,3895107	82,61451408	41,78545309	14,43249834	0,807795331	0,190950754
E	1,5	101,1411201	84,92467926	45,79592947	16,09193807	1,111710439	0,246880016

Tableau 8: Les valeurs de la luminance pour les trois canaux du satellite Spot en fonction de Téta (Port)

Téta V		30			
Bassins	Prof	MSS4	MSS5	MSS6	MSS7
A	4	84,74164155	44,21100871	19,58232333	7,912140337
B	3	86,97538728	47,75222427	19,7695405	7,980758204
C	1,5	91,25934919	58,36492542	22,61445206	9,594645165
D	2	89,66394871	53,78163277	20,87524608	8,582031668
E	1,5	91,25934919	58,37195241	22,64731316	9,617504503

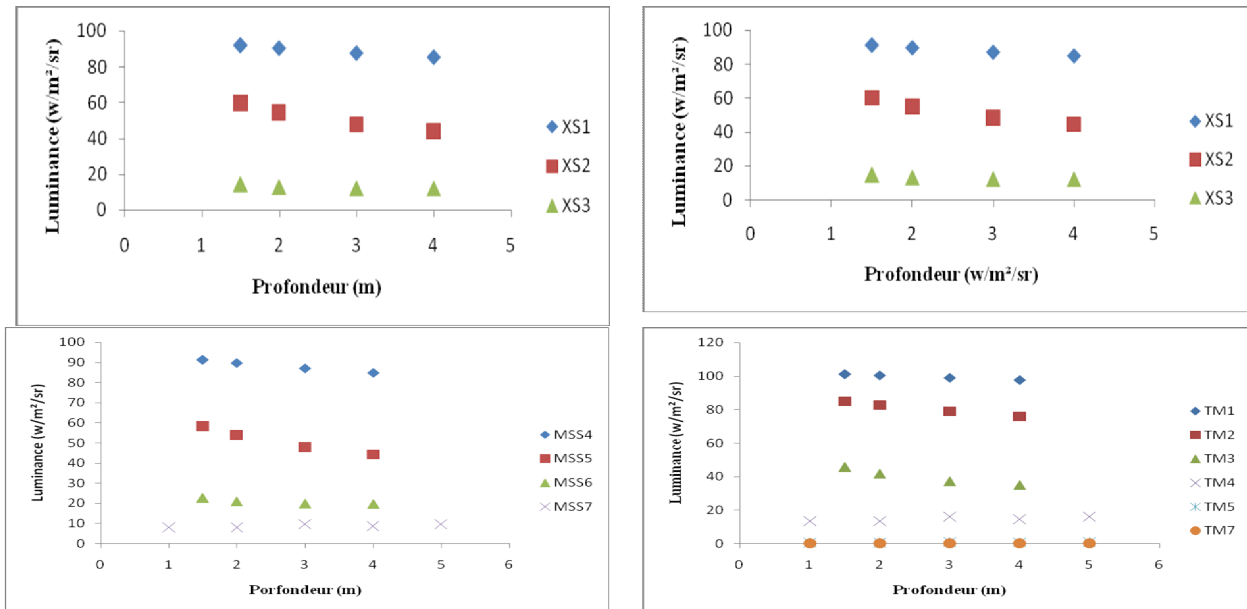


Figure 3 : Variation de la radiation à Téta V (20 et 30) en fonction de la profondeur de l'eau pour les bassins de port du Sidi- Fredj

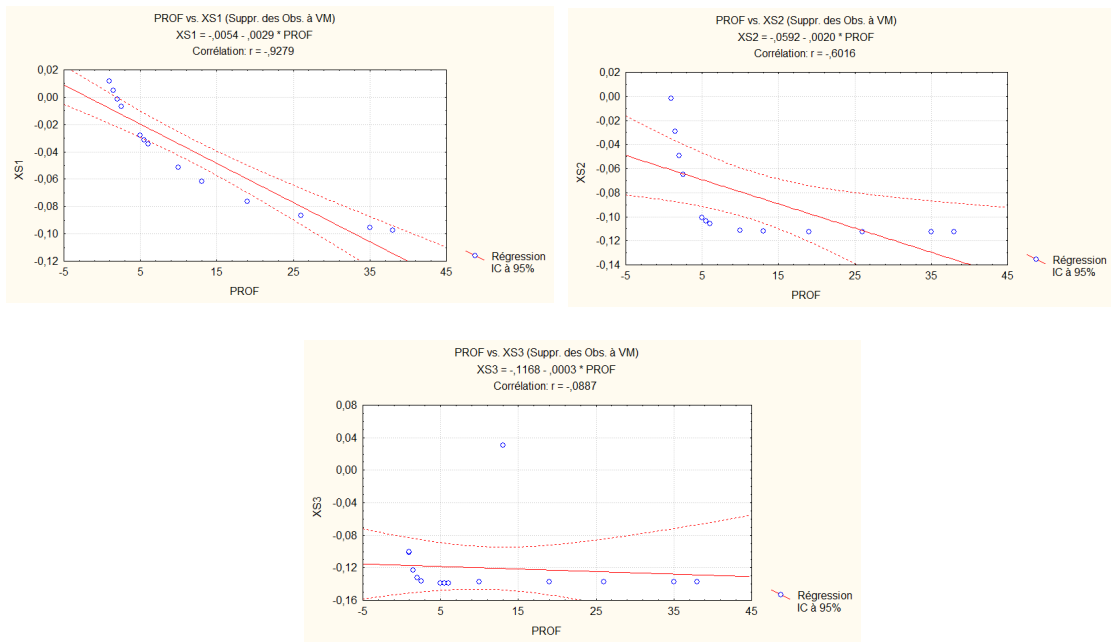


Figure 4 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage) **Téta V20**

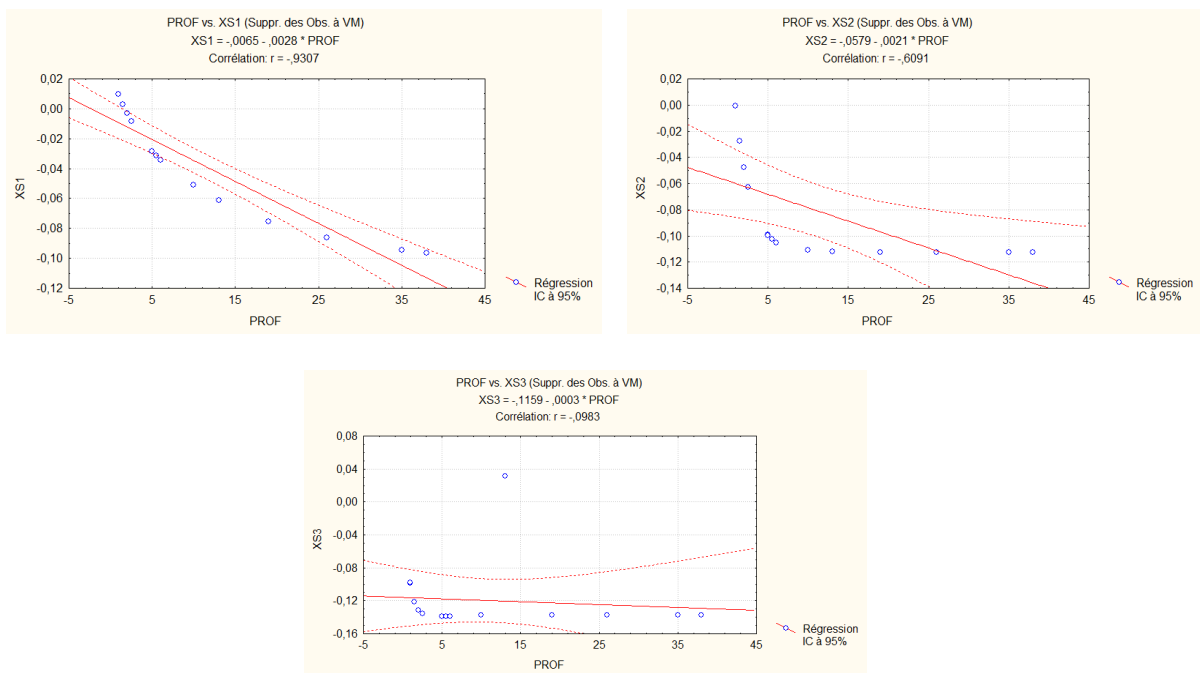
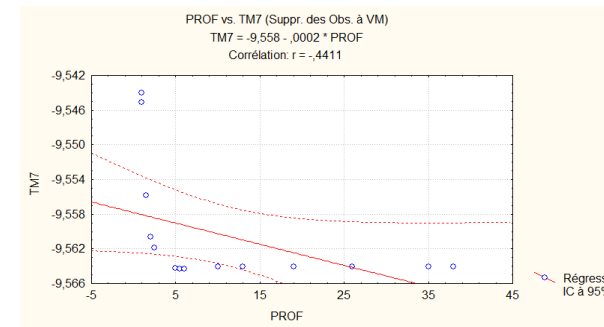
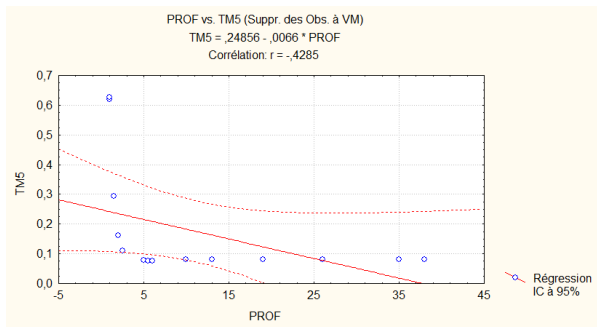
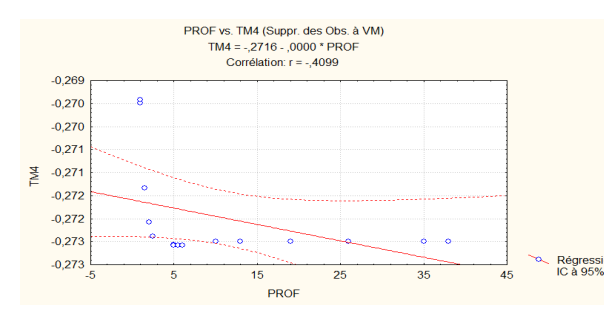
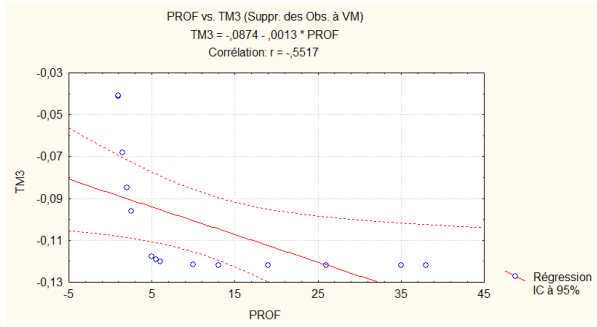
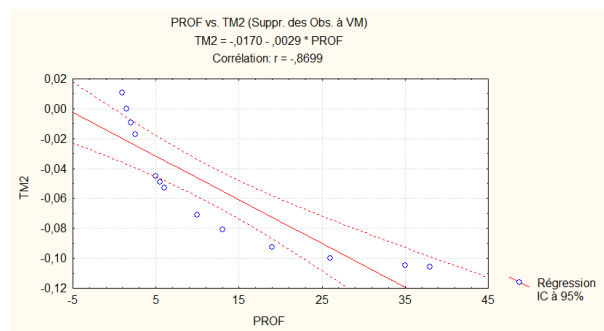
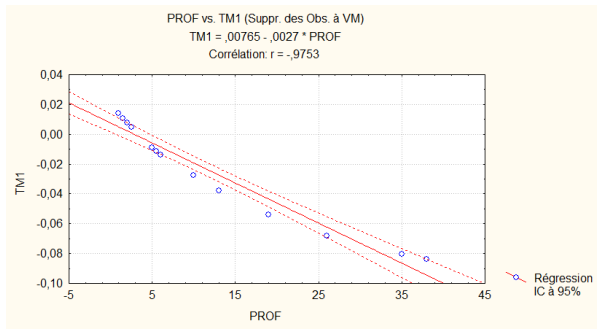
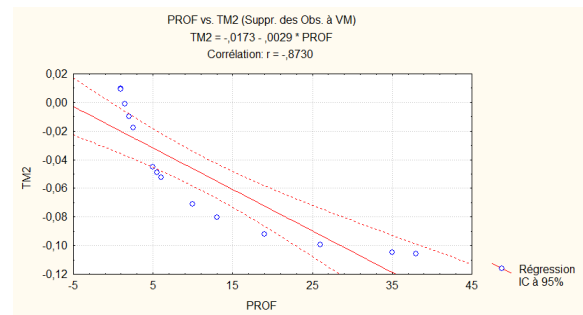
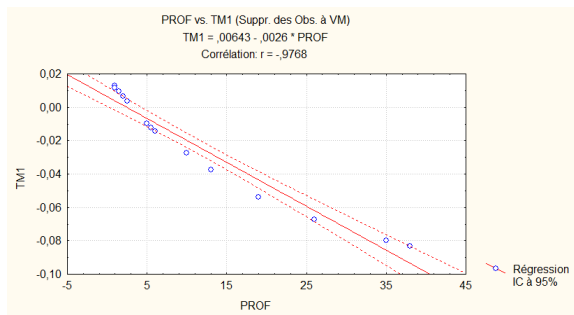
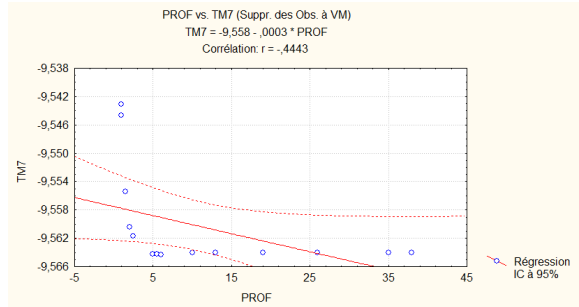
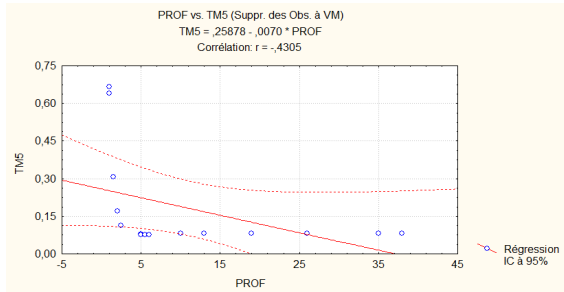
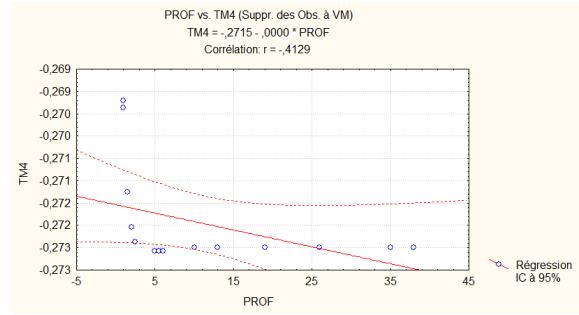
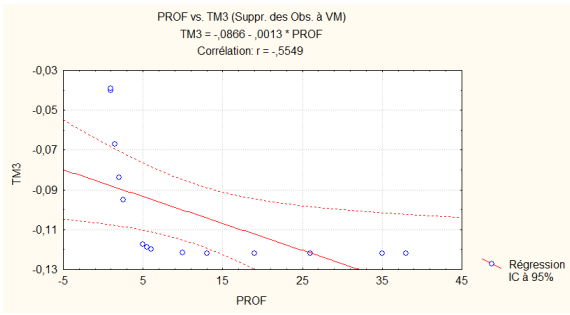


Figure 5: Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage) **Téta V30**

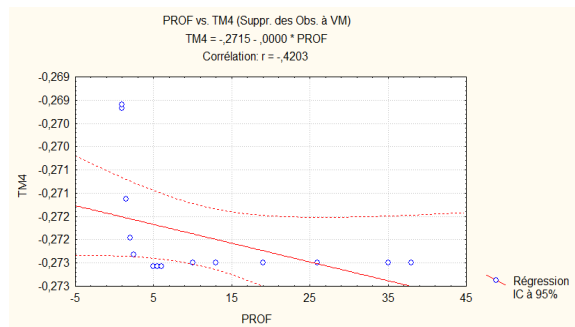
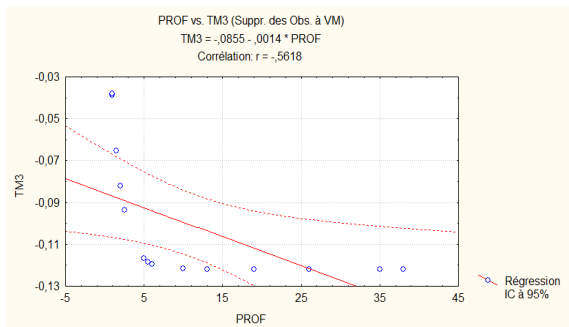
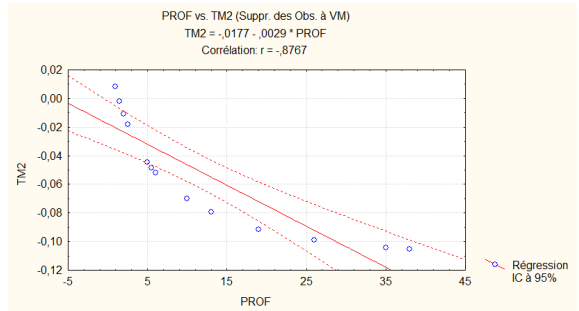
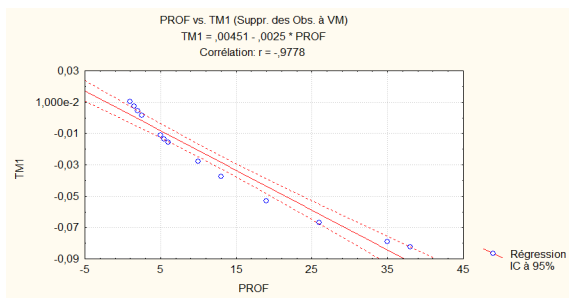


**Figure 6 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT
 Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage) Téta V10**





**Figure 7 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT
 Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage)Téta V20**



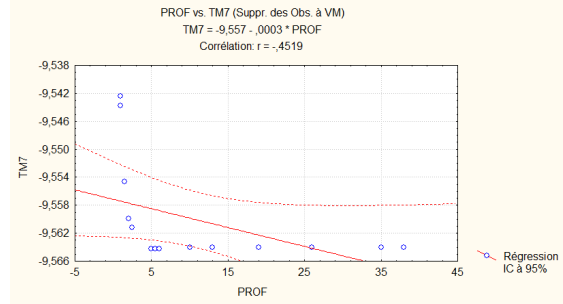
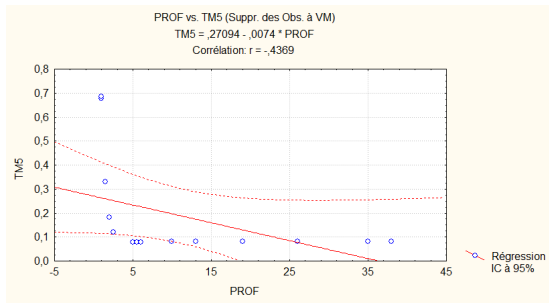


Figure 8: Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage) Téta V30

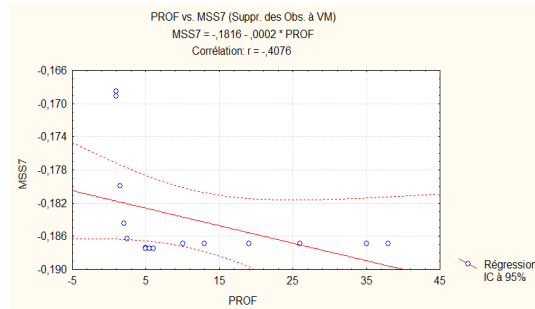
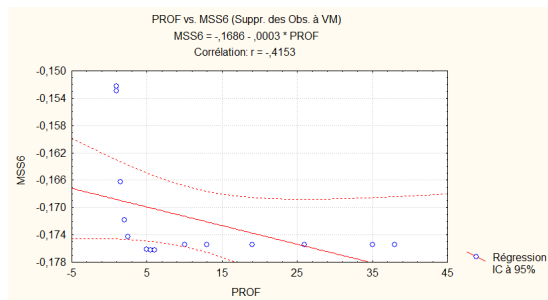
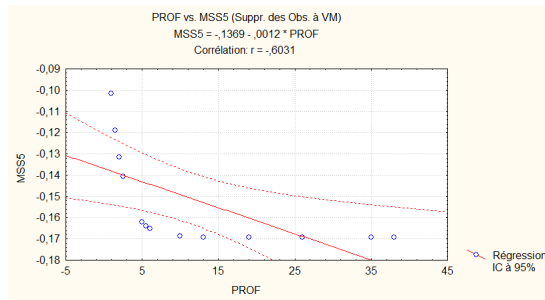
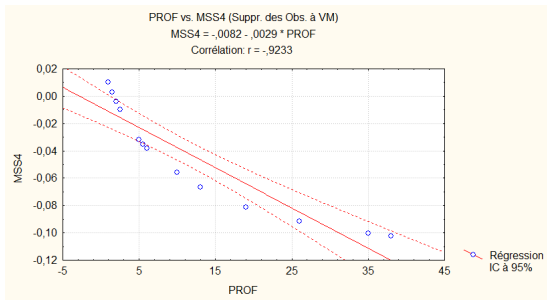
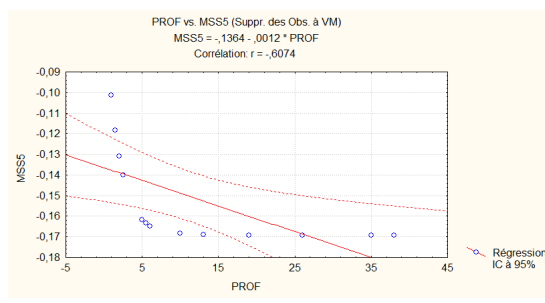
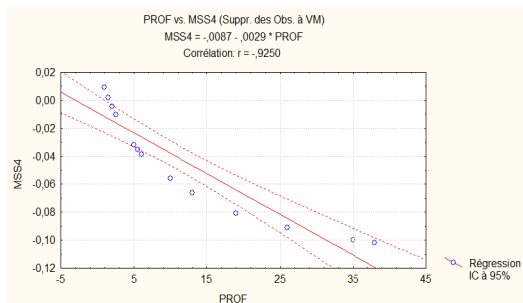


Figure 9: Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage)Téta V10



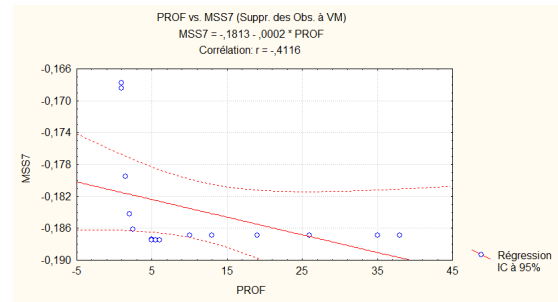
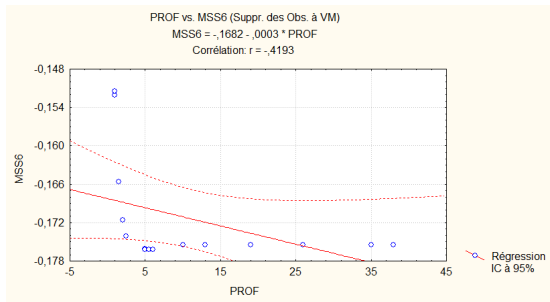


Figure10 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage)Téta V20

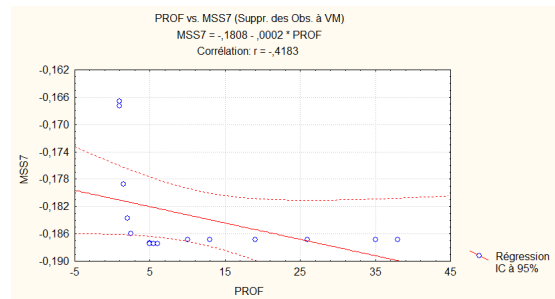
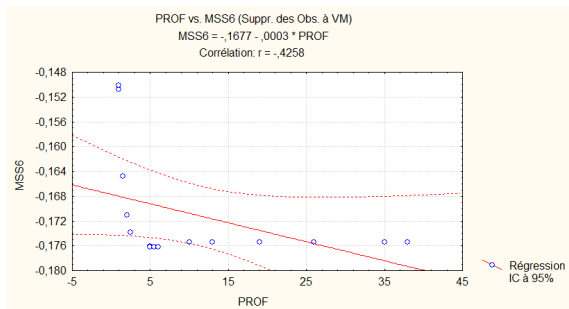
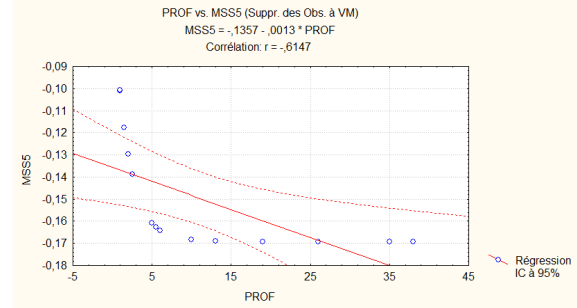
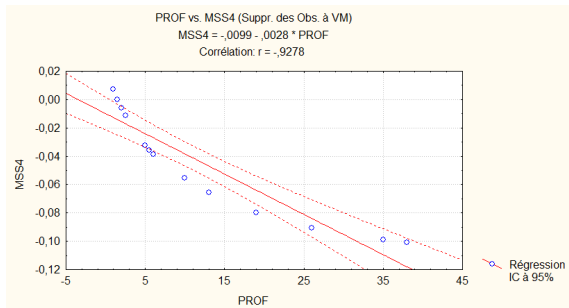


Figure 11: Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (plage) Téta V30

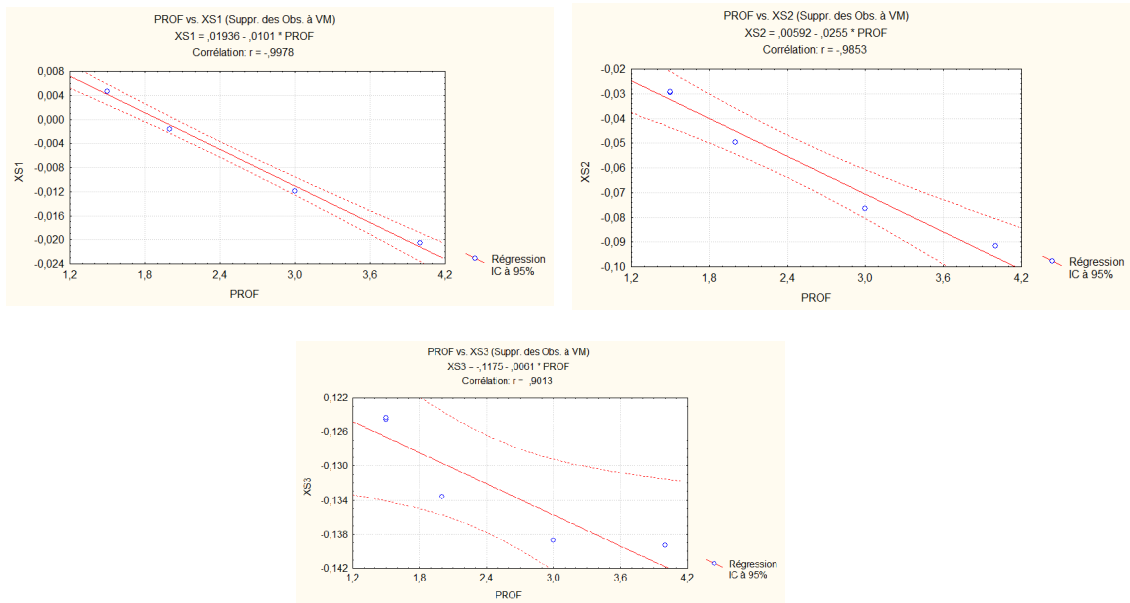


Figure 13 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (port) TétaV20

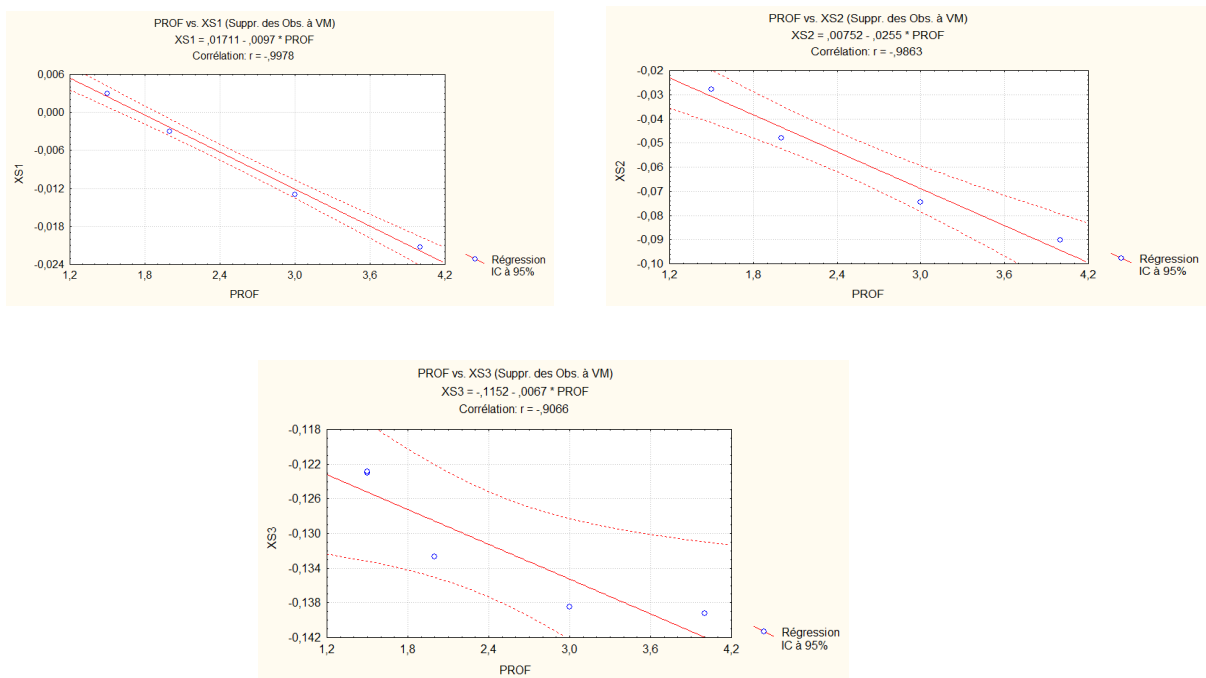


Figure 14 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison, et coefficients de corrélation (port) Téta V30

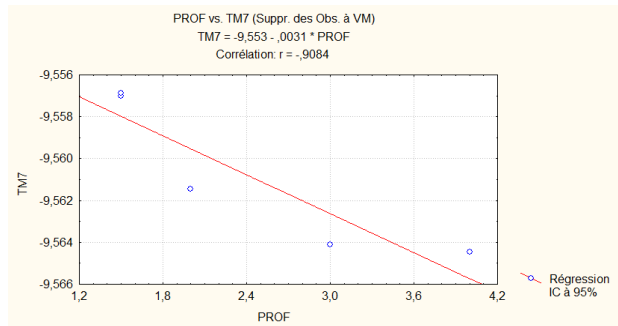
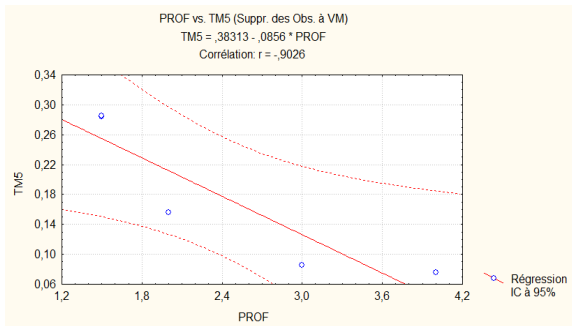
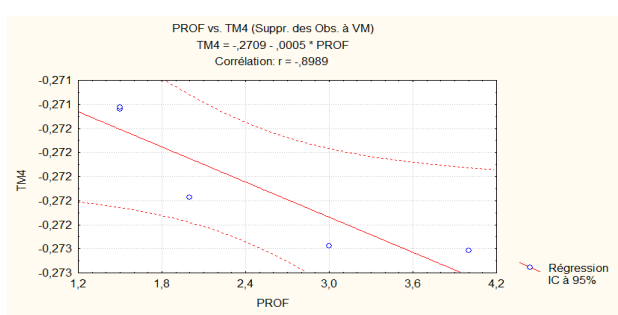
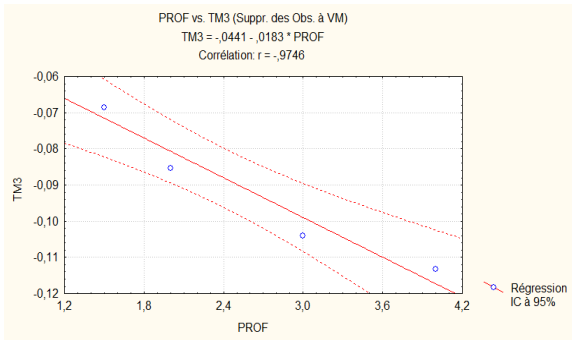
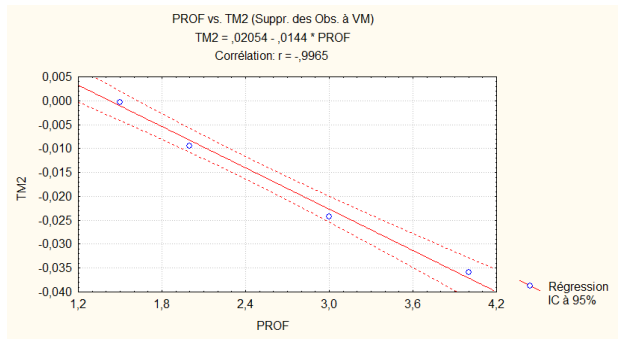
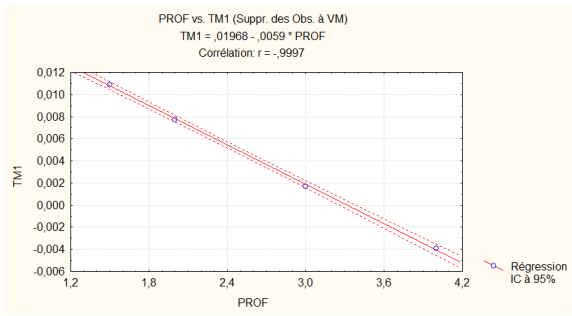
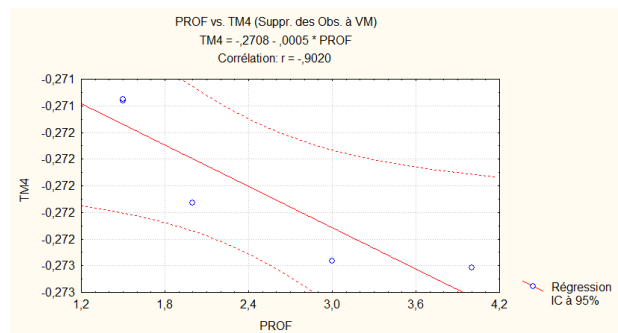
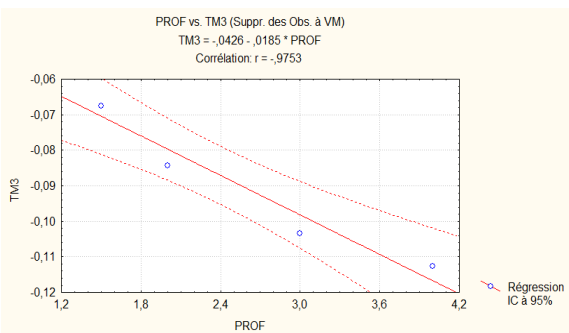
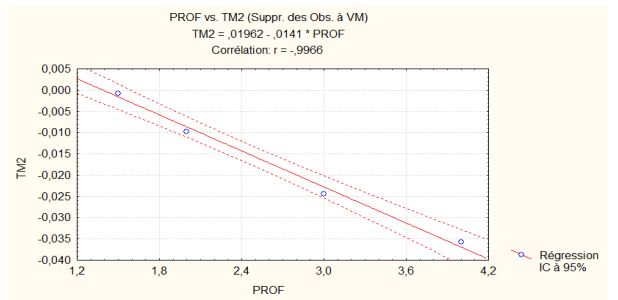
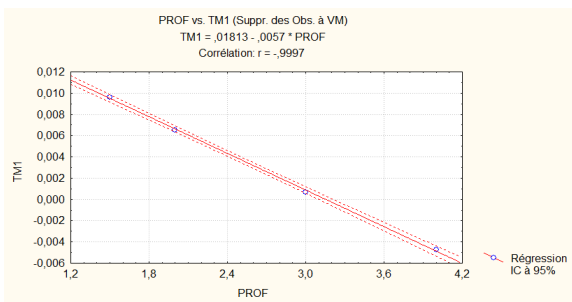


Figure 16 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (port) TétaV10



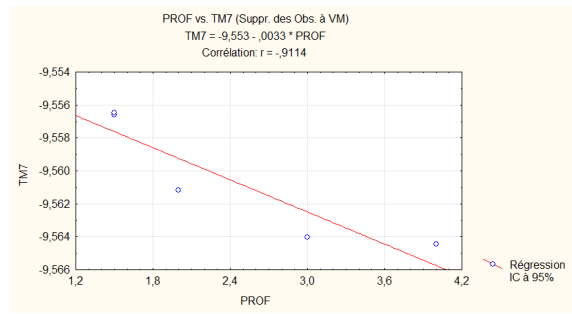
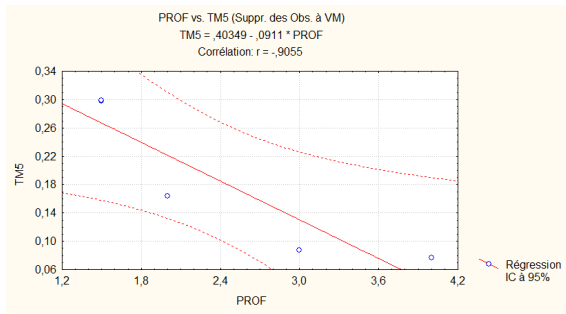


Figure 17 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (port) TétaV20

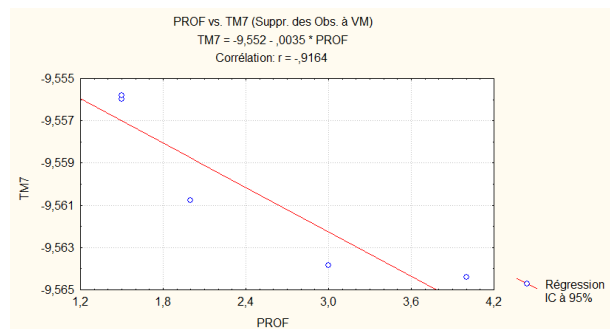
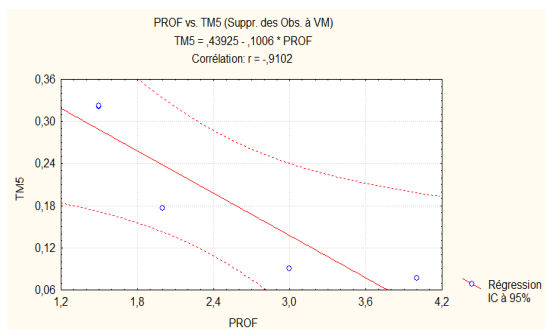
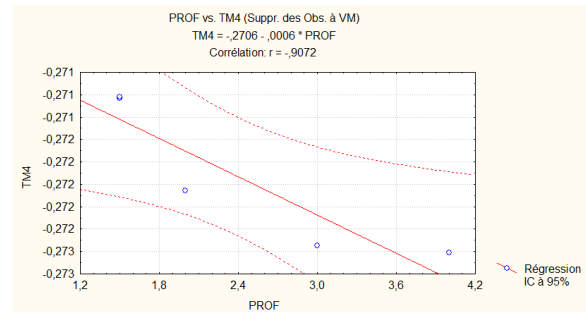
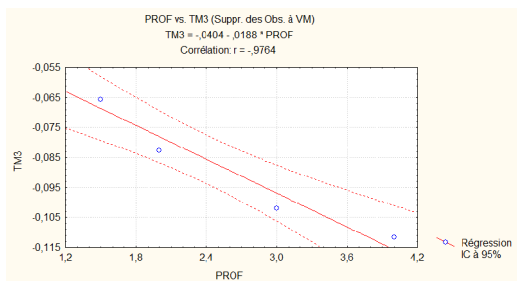
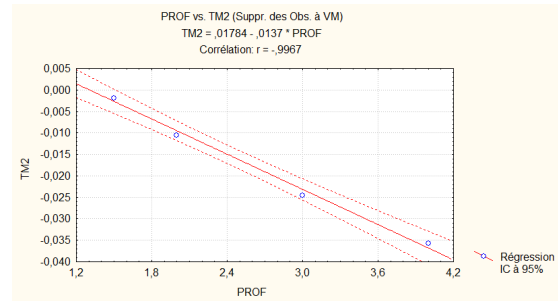
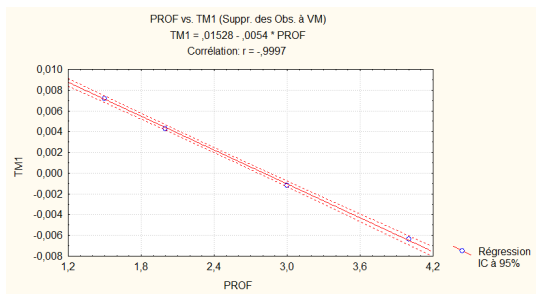


Figure 18: Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (port)

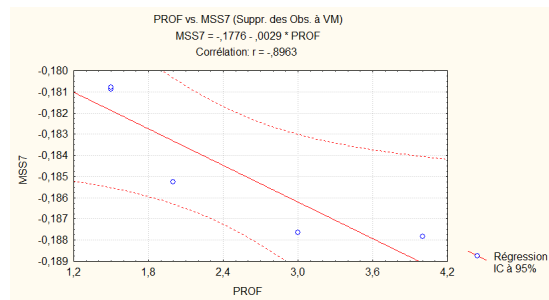
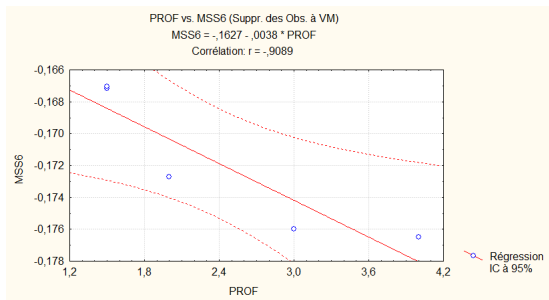
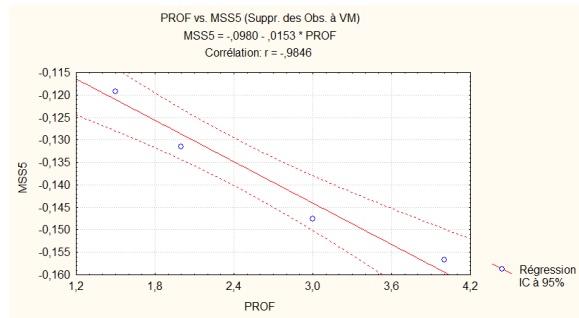
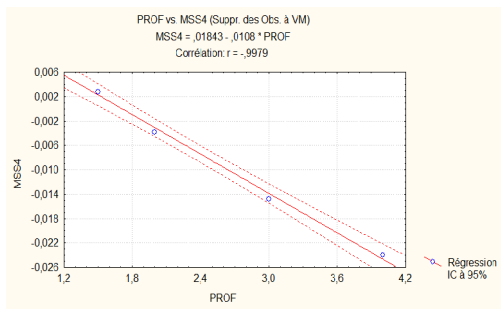


Figure 19: Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (port) TétaV10

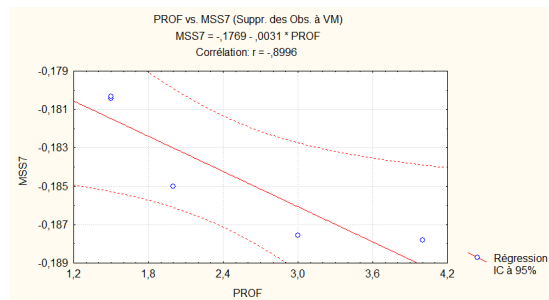
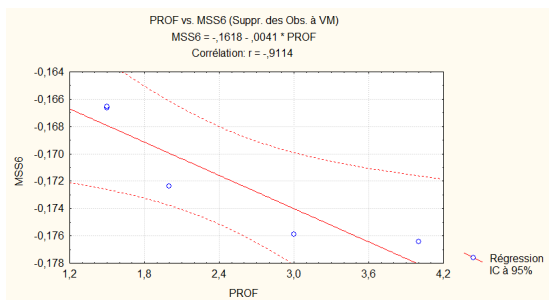
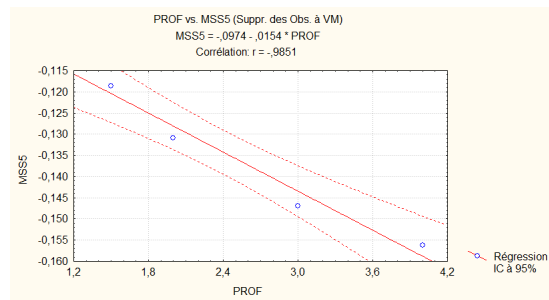
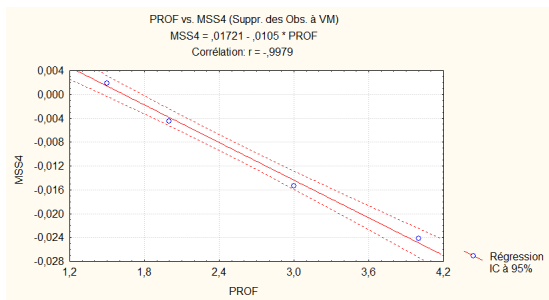


Figure 20 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (port) TétaV20

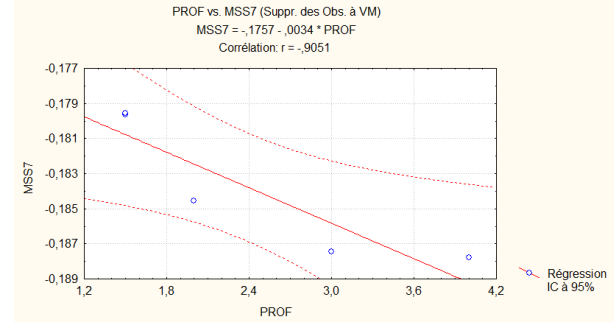
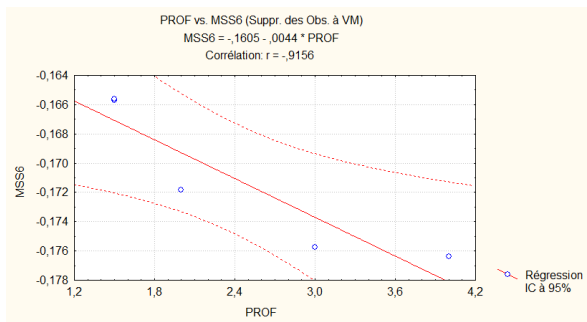
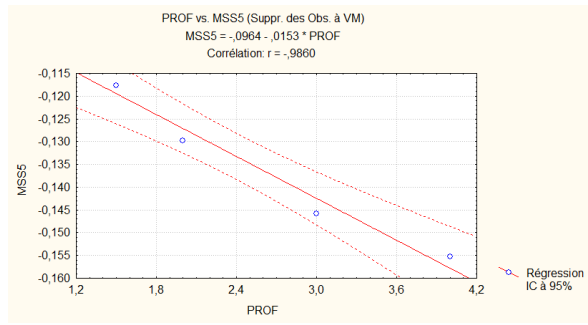
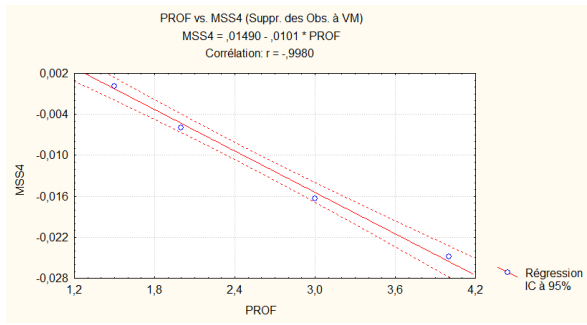


Figure 21 : Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux XS de SPOT Droites de liaison et coefficients de corrélation (port) TétaV30