

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

**Institut National des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral**



**Mémoire de fin du cursus universitaire présenté en vue de l'obtention du diplôme  
d'ingénieur en science de la mer et de l'aménagement du littoral**

**Option : Aménagement du littoral**



**Thème:**

**Reconnaissance bathymétrique de la baie d'El Djamila  
à partir des données satellitaires**

**Présenté par : Melle BOUZID Lynda  
Melle NEHAD Meriem**

**Membres du jury :**

Mr BOULAHIDID.M  
Mr DRICHE. M  
Mr HELLEL.M  
Mr BELKESSA. R  
Mme BACHARI. F

Président  
Examineur  
Examineur  
Promoteur  
Co-promotrice

**Promotion 2005/2006**

# Sommaire

<b>Introduction</b>	01
<b>Chapitre I : - Généralités -</b>	
<b>I.1 Présentation de la zone d'étude</b>	02
<b>I.2 Aspect morphologique et topographique de la zone d'étude</b>	02
I.2.1 Morphologie et topographie littorale	02
I.2.2 Morphologie et topographie sous-marine	03
<b>I.3 Données climatiques</b>	04
I.3.1 Températures et précipitation	04
I.3.2 Les vents	05
<b>I.4 Courantologie</b>	06
<b>I.5 Hydrodynamisme de la côte</b>	06
<b>I.6 Sédimentologie</b>	07
<b>Chapitre II - Matériels et méthodes -</b>	
<b>II.1 Compagne en mer</b>	08
II.1.1 Choix d'un maillage de station	08
II.1.2 Appareillage et technique de prélèvement	08
II.1.2.1 Echantillon d'eau de mer	08
II.1.2.2 Sédiments.	08
<b>II.2 Travaux au laboratoire</b>	11
II.2.1 Mesure et dosage des paramètres physico-chimiques	11
II.2.2 Sédimentologie	12
II.2.2.1 Analyse granulométrie	12
II.2.2.2 Calcul des carbonates	14
II.2.2.3 Matière organique	15
<b>II.3 Résultats</b>	16
II.3.1 Paramètres physico-chimiques	16
II.3.2 Analyse granulométrique	17

<b>Chapitre III</b>	<b>- Application de la télédétection -</b>	
<b>III.1 Télédétection</b>		25
III.1.1 Définition		25
III.1.2 Domaine d'application de la télédétection		25
III.1.3 Télédétection passive et active		25
<b>III.2 Rayonnement électromagnétique</b>		26
III.2.1 Propriétés des ondes électromagnétiques		26
III.2.2 Le spectre électromagnétique		26
III.2.3 Perturbation des ondes électromagnétiques par l'atmosphère		28
III.2.4 Les propriétés optiques de l'eau		29
III.2.5 Réflectance des surfaces marines		32
<b>III.3 Les systèmes de télédétection</b>		34
III.3.1 Les capteurs		34
III.3.2 Les satellites		35
III.3.2.1 Les satellites géostationnaires		35
III.3.2.2 Les satellites à bas défilement :		
- Satellite SPOT		36
- Satellite Landsat		37

<b>Chapitre IV</b>	<b>- Application du logiciel SDDS -</b>	
<b>Introduction</b>		39
<b>IV.1 Application du logiciel SDDS</b>		40
<b>IV.2 Analyse de la variation de la luminance</b>		41
IV.2.1 Effet de l'angle zénithal d'observation		41
IV.2.2 Effet de la profondeur		43
IV.2.3 Effet du fond sur le rayonnement incident		45
<b>IV.3 Conversion en réflectance des données satellitaire brute</b>		46
IV.3.1 Analyse corrélatrice et application		47
<b>IV.4 Interprétation des résultats d'analyse</b>		52

Conclusion

Bibliographie

Annexe

## Liste des figures

<b>Fig.I.1</b> : Situation de la baie d'El Djamila	2
<b>Fig.I.2</b> : Diagramme ombrothermique	5
<b>FigII.1</b> : Variation de la salinité en fonction de la profondeur dans la baie d'El Djamila	16
<b>FigII.2</b> : Variation de la matière en suspension en fonction de la profondeur dans la baie d'El Djamila	16
<b>FigII.3</b> : Carte de positionnement des stations de prélèvement dans la baie d'El Djamila	20
<b>FigII.4</b> : Carte de la répartition de la médiane (Q50) dans la baie d'El Djamila	21
<b>FigII.5</b> : Carte de la répartition du quartile inférieur (Q25) dans la baie d'El Djamila	21
<b>FigII.6</b> : Carte de la répartition du quartile supérieur (Q75) dans la baie d'El Djamila	22
<b>FigII.7</b> : Courbes unimodales configurées à la main	22
<b>FigII.8</b> : Courbes bimodales dessinées à la main	23
<b>FigII.9</b> : Bathymétrie de la baie d'El Djamila	24
<b>FigIII.1</b> : Onde électromagnétique	26
<b>FigIII.2</b> : Longueur d'onde du visible	27
<b>FigIII.3</b> : Structure de l'atmosphère	28
<b>FigIII.4</b> : Evolution du coefficient d'atténuation en fonction de la longueur d'onde et de l'énergie relative pour une eau claire et une eau trouble	30
<b>FigIII.5</b> : Variation de l'énergie relative en fonction de la longueur d'onde	33
<b>FigIII.6</b> : Evolution du spectre de la lumière naturelle dans l'air et dans l'eau	34
<b>FigIII.7</b> : Capteur actif	35
<b>FigIII.8</b> : Capteur passif	35
<b>FigIII.9</b> : Satellite géostationnaire	35
<b>FigIII.10</b> : Satellite à bas défilement	36
<b>FigIII.11</b> : Satellite SPOT	36
<b>FigIII.12</b> : Satellite Landsat	37
<b>FigIII.13</b> : Image satellitaire de la baie d'El Djamila	38
<b>FigIV.1</b> : Présentation du logiciel de simulation de données satellitaires	39
<b>FigIV.2</b> : Application des données d'entrée au logiciel SDDS	41
<b>FigIV.3</b> : L'effet de l'angle zénithal d'observation sur la luminance	42
<b>FigIV.4</b> : Données de la luminance en fonction de l'angle zénithal	43
<b>FigIV.5</b> : Variation spectrale de la luminance sur les canaux des satellites SPOT, LANDSAT et TM	43
<b>FigIV.6</b> : Variation de la luminance en fonction de la profondeur pour le satellite SPOT à une visibilité de 10km.	44
<b>FigIV.7</b> : Variation de la luminance en fonction de la profondeur pour le satellite SPOT à une visibilité de 25km.	44
<b>FigIV.8</b> : Variation de la radiance en fonction du type de fond de l'eau dans le canal (XS1)	45
<b>FigIV.9</b> : Variation de la radiance en fonction du type de fond de l'eau dans le canal (XS2)	45
<b>FigIV.10</b> : Relation linéaire d'étalonnage en réflectance	47
<b>FigIV.11</b> : Courbe de corrélation de la profondeur à XS1 (Visibilité 10km)	48
<b>FigIV.12</b> : Courbe de corrélation de la profondeur à XS2 (Visibilité 10km)	48
<b>FigIV.13</b> : Courbe de corrélation de la profondeur à XS3 (Visibilité 10km)	48
<b>FigIV.14</b> : Courbe de corrélation de la profondeur à XS1/XS2 (Visibilité 10km)	51
<b>FigIV.15</b> : Courbe de corrélation exponentielle de la profondeur à XS1 (Visibilité 10km)	52
<b>FigIV.16</b> : Courbe de corrélation logarithmique de la profondeur à XS1 (Visibilité 10km)	53
<b>FigIV.17</b> : Courbe de corrélation polynomiale de la profondeur à XS1 (Visibilité 10km)	53
<b>Fig IV.18</b> : Image satellitaire de Landsat TM1 traitée	54
<b>Fig IV.19</b> : Image satellitaire de Landsat TM2 traitée	54
<b>Fig IV.20</b> : Bathymétrie de la baie d'El Djamila à partir d'image de Landsat TM1 traitée	55

## Liste des tableaux

<b>Tab I.1 : Moyenne mensuelle des températures en (°C) période (1993–2003) dans la région d'Alger.</b>	4
<b>Tab I.2 : Moyenne mensuelle des précipitations en (mm) période (1993–2003) dans la région d'Alger.</b>	4
<b>Tab I.3 : Directions et fréquences des vents dominants dans la région d'Alger.</b>	5
<b>Tab I.4: Fréquences mensuelles par direction de la houle (SSMO) dans la région d'Alger</b>	6
<b>Tab II.1 : Caractéristiques des conditionnements appropriés pour les échantillons d'eau de mer (Aminot 1983)</b>	8
<b>Tab II.2 : Données et coordonnées in situ des stations de prélèvement.</b>	9
<b>Tab II.3 : Caractéristiques granulométriques des sédiments de la baie d'El Djamila.</b>	17
<b>Tab III.1 : Différentes longueurs d'ondes du spectre lumineux.</b>	27
<b>Tab III.2 : Caractéristiques des capteurs du satellite SPOT</b>	36
<b>Tab III.3 : Types de capteurs de Landsat</b>	37
<b>Tab IV.1 : Paramètres astronomiques et atmosphériques d'entrée.</b>	40
<b>Tab IV.2 : Réflectance en fonction du compte numérique dans les différents canaux du satellite SPOT</b>	46
<b>Tab IV.3: Résultats des analyses corrélatives.</b>	51

## INTRODUCTION

Le terme océanographie est généralement réservé à la description et à la cartographie des océans et de leurs fonds

La bathymétrie, ou mesure de profondeurs des mers fait partie intégrante de l'océanologie, qui est l'ensemble des sciences physique, chimique, biologique et géologique qui se consacrent à l'étude de la mer, elle constitue un instrument privilégié de l'activité océanographique

Avant l'ère spatiale, les méthodes d'observation des océans étaient entièrement basées sur la mesure d'un certains nombres de paramètres (salinité, température, courant...) à des endroits ponctuels

La bathymétrie a évolué avec les progrès de la science, de nos jours elle opère par télédétection à l'aide d'image satellitaire de **MSS** et **LANDSAT**, puis encore étendue à l'image HRV de **SPOT**. C'est une science qui permet donc de recueillir à distance des informations sur la surface de la terre, de l'atmosphère ou des planètes à l'aide du rayonnement électromagnétique dans diverse partie du spectre.

Les conditions atmosphériques peuvent interférer de deux façons sur le signal, tous d'abord, la présence d'un voile atmosphérique réduira les composantes descendantes et ascendantes du signal électromagnétique, ensuite les perturbations engendrées à l'interface air eau réduiront le pouvoir de transmission du rayonnement

Le principe de la mesure bathymétrique de ce présent travail est basé sur le model de reflectance reliant l'intensité du signal radio métrique mesuré par le satellite à la profondeur en s'appuyant sur des données de vérités terrain

Ce travail de recherche repose et se résume aux chapitres suivants :

**Chapitre I :** Consacré aux généralités sur la baie d'El Djamila.

**Chapitre II :** Regroupe les mesures in situ et les travaux au laboratoire.

**Chapitre III :** Développe les principes de la télédétection et son champ d'application.

**Chapitre VI :** Application du logiciel SDDS pour déterminer la bathymétrie de la  
baie d'El Djamila.

# Chapitre I : Généralités

## **I.1 -Présentation de la zone d'étude**

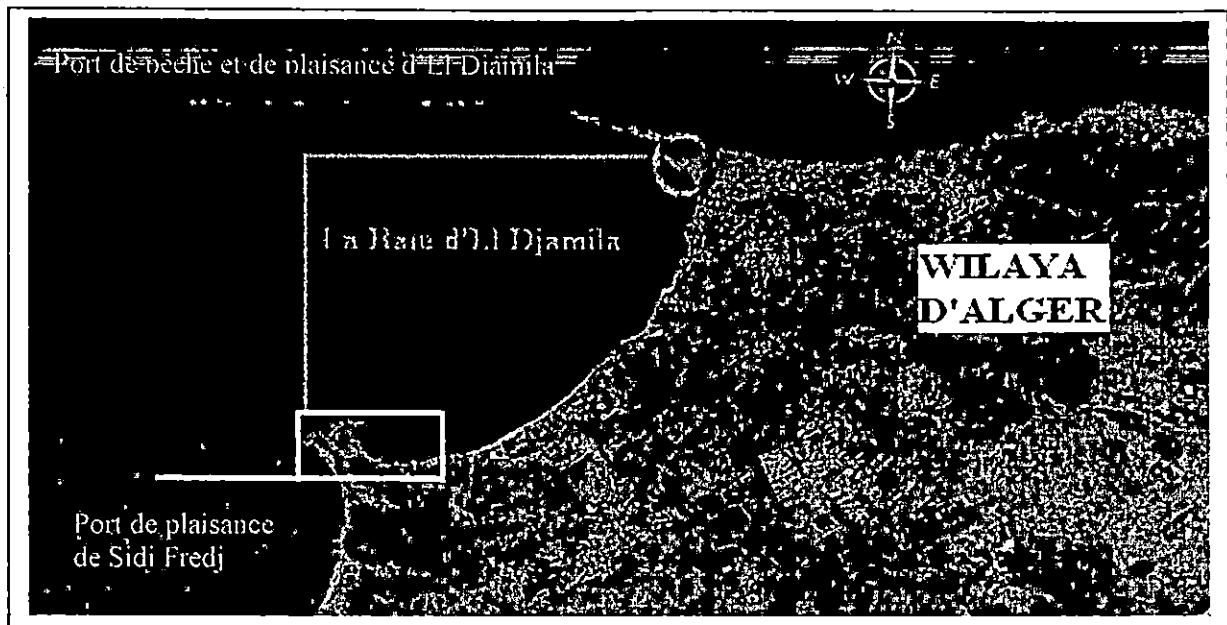
La zone d'étude de ce présent travail concerne la baie d'El Djamila qui s'étend sur un linéaire côtier de 6Km.

Limitée à l'Est par Ras Acrata et à l'Ouest par la presqu'île de Sidi Fredj, elle se caractérise par une côte basse, sableuse avec de nombreuses formations dunaires.

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

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

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



Source : Googel Earth

Fig I.1 : Situation de la baie d'El Djamila

## **I.2 – Aspect morphologique et topographique du site d'étude :**

La transformation des littoraux se traduit par l'arrachement, la mobilisation et le transfert de sédiment ce qui entraîne par conséquent un changement de la morphologie et de la configuration des site côtiers.

### **I.2.1. Morphologie et topographie littoral**

La morphologie dépendra au niveau des baies, d'une part de la lithologie qui compose les terrains littoraux et d'autre part de l'orientation du linéaire côtier de cette côte.

La zone d'étude est une plage sableuse qui connaît un rétrécissement dans sa partie, plus précisément au niveau de Ras Acrata là où le littoral est taillé en falaise.

La baie d'El Djamila est largement ouverte, elle fait face aux importantes houles Nord Ouest induisant à l'amaigrissement de ces plages. C'est pourquoi une série d'ouvrages fixes de protection ont été aménagés destinés à bloquer la dérive littorale et à engraisser la bande côtière.

A titre d'exemple, nous citons le rocher abritant le port de Sidi Fredj qui est soudé à l'arrière du pays par un large tombolo d'1 km de long et 500m de largeur, dont l'axe est orienté vers le Nord Ouest.

### **I.2.2. Morphologie et topographie sous-marine**

La baie d'El Djamila se caractérise par une pente régulière est faible d'Ouest en Est, c'est une zone qui connaît un important hydrodynamisme longeant pratiquement toute la côte de la baie et qui s'expliquerait par le courant côtier et la dérive littorale.

Suite aux importants transferts littoraux de sédiment, elle constitue un milieu sédimentaire très instable à l'échelle spatio-temporelle.

La presqu'île de Sidi Fredj et l'ensemble des plages constituant la baie subissent un fort hydrodynamisme et qui se caractérise par l'étroitesse des plages et aux nombreux affleurements rocheux qui y existent.

**I.3. Données climatiques :**

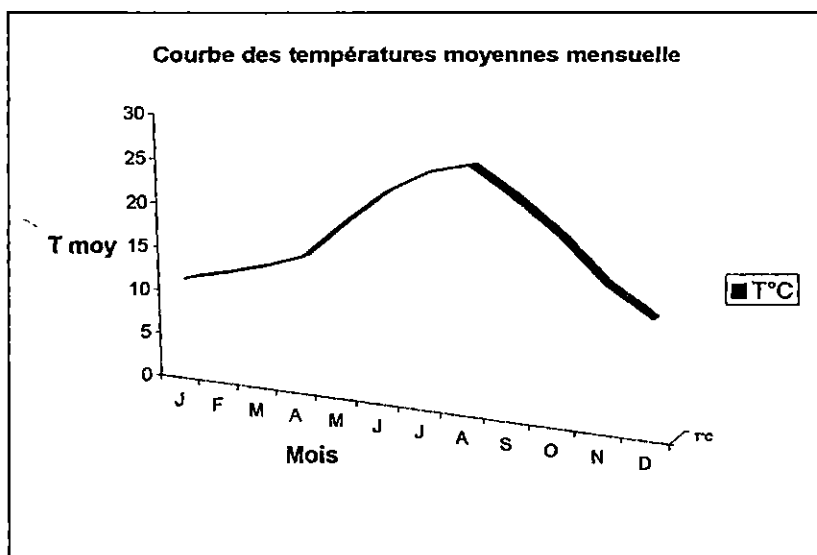
La connaissance des conditions météorologiques est très importante pour une bonne compréhension des régimes hydrodynamiques régnant dans la zone d'étude.

**I.3.1. Températures et précipitations (Source ONM 2003)**

Les paramètres climatologiques ont été pris au niveau de la station de Dar El Beida, sur une période de 10ans (1993-2003)

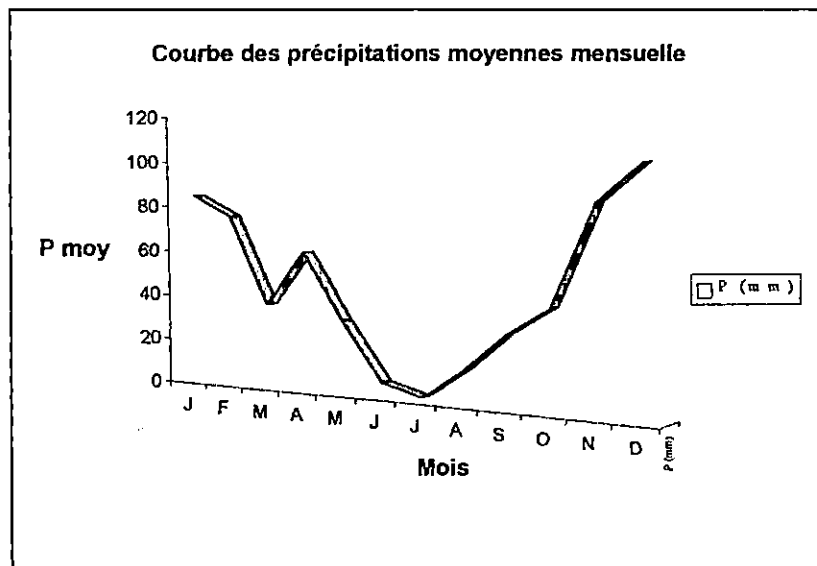
**Tab I.1 : Moyenne mensuelle des températures en (°C) période (1993–2003) dans la région d'Alger.**

Mois	T°C
J	11.15
F	12.2
M	13.4
A	14.86
M	19.01
J	22.76
J	25.24
A	26.39
S	23.35
O	19.77
N	15.17
D	12.21



**Tab I.2 : Moyenne mensuelle des précipitations en (mm) période (1993–2003) dans la région d'Alger**

Mois	P (mm)
J	84.82
F	75.92
M	37.06
A	61.36
M	32.09
J	06.47
J	01.73
A	14.90
S	31.31
O	43.37
N	87.40
D	103.81



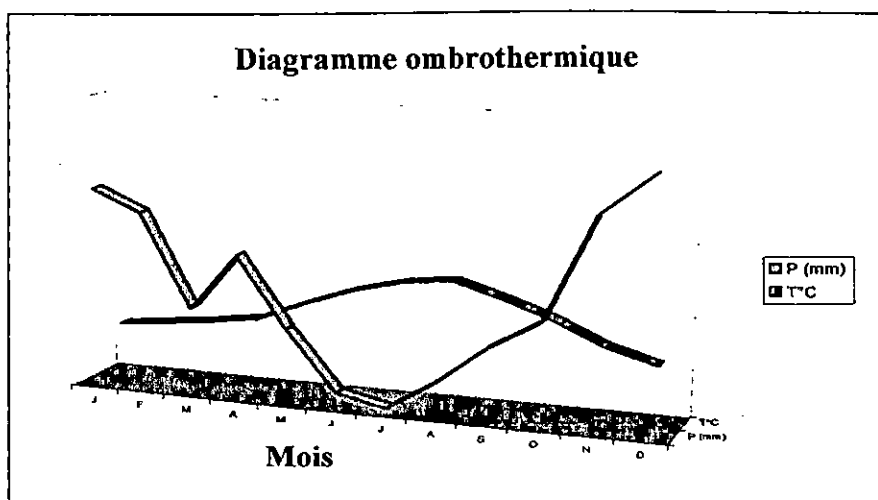


Fig I.2 : Diagramme ombrothermique de la région d'Alger

Notre zone d'étude se caractérise par un climat sub-humide et d'une périodicité des vents.

- **La période hivernale** ; Elle se caractérise par une baisse de la température au environ de 16°C avec une précipitation moyenne de l'ordre de 88,18mm.
- **La période estivale** ; Elle se caractérise par une température moyenne de 29°C avec de faibles précipitations.

Quand aux températures de l'eau de mer, elles témoignent des fluctuations que subissent les couches superficielles de la mer influencées par les températures externe en raison des échanges Mer – Atmosphère.

### I.3.2. Les vents :

Les vents sont générateurs de vagues et de courants, dont l'impact croit en fonction de leurs vitesses. Les résultats des observations effectuées par l'US naval weather service command (SSMO) au large des côtes d'Alger sont représentés dans le **tableau I.3** illustrant la fréquence cumulée des vents au large par direction et par mois.

Tab I.3 : Directions et fréquences des vents dominants dans la région d'Alger.

Périodes	Directions des vents dominants	Fréquences
<b>Hivernale</b> (Octobre à Mars)	Ouest	60 à 88%
	Nord/Ouest	90 à 99%
<b>Estivale</b> (Avril à Septembre)	Est	45 à 75 %
	Nord/Est	

**L4. Courantologie :**

Puisque la côte algérienne est caractérisée par de faibles profondeurs, les courants marins sont relativement faibles.

Les données recueillies à partir d'observations enregistrées au large des côtes algériennes par le KMNI (Institut Météorologique Royal Néerlandais) sont représentées dans le tableau ci joint :

**Tab L4:** Fréquences mensuelles par direction de la houle (SSMO) dans la région d'Alger

Direction Mois	Nord	N/E	Est	S/E	Sud	S/O	Ouest	N/O
Janvier	8.2	12.9	18.2	5	6.5	13.2	28.8	7.3
Février	8.8	13.3	12.6	4	6	16.9	35.6	5.8
Mars	11.3	12.6	15.8	3.6	4.5	13.3	30.5	9.2
Avril	11.7	15.8	16	2	4.4	13.7	26.6	10.2
Mai	8.4	26.3	31.9	3	3.3	7.2	13.9	6.2
Juin	9.2	29.1	29.8	1.8	1.4	8.2	16.3	2
Juillet	5.9	32.5	35.1	1.4	0.9	5.9	16.2	2
Août	8.9	27.5	37.4	1.9	1.1	5	13.4	4.9
Septembre	6.7	26.4	40.5	2.2	2.3	4.5	14.8	2.5
Octobre	7.8	14.1	20.3	3.2	4.3	14.8	28.8	6.9
Novembre	5.4	5.7	10	5.1	8	15.9	40.4	9.4
Décembre	10.2	6.2	9.3	4.6	7.4	15	37.1	10

**Remarque**

- **En hiver :** les houles les plus importantes et les plus fréquemment observées viennent de l'Ouest avec les plus grandes amplitudes, elles sont de l'ordre de 2 et 2.5m.

- **En été :** les directions les plus observées sont d'origine Est, et Nord Est d'une fréquence moins importante et d'amplitudes généralement plus faibles, de 0.5 à 1m.

Le secteur Nord à une répartition assez régulière durant l'année.

**L5. Hydrodynamisme de la côte :**

La baie est soumise à un important hydrodynamisme (Boukretaoui et Boutrouili, 1989).

Cet hydrodynamisme s'accroît au niveau du cap de Sidi Fredj et le massif de Chenoua où

le plateau continental est étroit et les affleurements rocheux importants, entraînant de ce fait un transfert de sédiment surtout vers la partie Est de la baie.

Ajoutant à cela l'hydrodynamisme dû au débit du principal oued de la baie (Oued Beni Messous), situé à 18km d'Alger qui déverse les apports de Bouzaréh, Béni Messous et Chéraga avec un débit liquide faible de l'ordre de 0,245 m<sup>3</sup>/S. (Mahiout, 1989).

## **L.6. Sédimentation :**

Les zones littorales comprennent d'importants apports sédimentaires telluriques distribués inégalement et souvent remaniés au grès des courants et des houles, cependant dans les zones plus au large où un hydrodynamisme faible va créer des étendues homogènes de sédiments fins.

Une étude de bionomie benthique des fonds meubles à été effectuée afin d'élaborer une analyse granulométrique des sédiments de la baie et de ce fait configurer une carte sédimentaire de ce secteur (Pac . 2005).

L'analyse granulométrique a permis d'identifier les différents types de sédiments existants :

- **sables fins infralittoraux** : forment une sorte de bande tout au long de la frange côtière, sans jamais dépasser 30m de profondeur
- **sables envasés** : occupent les fonds entre -25 et -50m.
- **sables vaso-sableux** : inexistant dans le secteur Est de la baie
- **vases** : sont quasiment absentes dans la baie d'El Djamila, elles apparaissent au large de la presqu'île de Sidi Fredj et forment une bande qui s'étale progressivement entre Zéralda et Bou Ismail.
- **Sables grossiers et fin gravier** : sont localisés essentiellement en face du Ras Acrata par -25m de profondeur.
- **Sables graveleux** : localisé dans la partie Est de la baie d'El Djamila, ils occupent les fonds compris entre 35 et 10m de profondeur.
- **Graviers envasés** : localisé au large de Ras Acrata sur un fond de - 40m à - 90m ainsi qu'au niveau de l'embouchure de l'oued Beni Messous et s'étend vers l'Ouest de Bou Ismail.

## Chapitre II : Matériels et méthodes

**II.1. Compagne en mer :****II.1.1. Choix d'un maillage de stations :**

Le choix d'un maillage de station s'opère de façon à recouvrir la plus grande partie de la zone d'étude où le nombre de stations croît en fonction de la complexité morphologique, sédimentologique et des estimations des conditions hydrodynamiques locales.

Le positionnement et la localisation des stations ont été réalisés à l'aide d'un GPS et d'une carte de la baie (Echelle 1/25 000).

**II.1.2. Appareillage et technique de prélèvement :****II.1.2.1 Echantillons d'eau de mer**

Tab II.1 : Caractéristiques des conditionnements appropriés pour les échantillons d'eau de mer (Aminot 1983)

Paramètres	Matériaux	Bouchage	Volume
Salinité	Verre (plastique)	Conseillé : à pression avec joint caoutchouc	100 - 250ml
PH	Plastique ou verre	Large couverture	50 - 100ml
Matière en suspension	Plastique ou verre	Normal	0,1 - 5 l
Turbidité	Plastique ou verre	Normal	50 - 100ml

**Méthode de prélèvement**

Le prélèvement d'eau de mer destinée aux dosages de la salinité et du PH, s'effectue à l'aide de bouteille de prélèvement à clapets.

Pour les matières en suspension et la chlorophylle, les bouteilles utilisées sont en plastique de contenance de (1,5l).

On utilise des flacons en verre conditionnés pour la turbidité, on les fixe avec du chlorure de mercure.

**Conservation**

Les échantillons doivent être conservés à l'abri de la lumière, en position verticale, ne doivent pas subir d'importantes variations de températures, ce qui pourrait modifier la composition du milieu (évaporation ou congélation).

**II.1.2.2 Sédiment :**

Des échantillons de sédiment ont été prélevés le 12 Avril 2006 à bord du navire « **Baba Arroudj** » au niveau de la baie d'El Djamila à l'aide d'une benne preneuse de type "Van Veen" inoxydable permettant de prélever sur une surface de 0,1 m<sup>2</sup>. Cette dernière, armée au lancement à partir du navire est conçue de telle manière que sa fermeture soit automatiquement au contact du fond et une fois remontée en surface, on ouvre les clapets situés sur sa partie supérieure.

L'Echantillonnage c'est fait sur la mince pellicule superficielle du dépôt sédimentaire.

Les échantillons destinés à l'analyse des carbonates, matières organiques et granulométriques ont été récupérés dans des sachets en plastiques préalablement étiquetés.

**Conservation**

Les sédiments sont mis dans des congélateurs à (-18°C) afin de conserver les propriétés chimiques du sédiment et d'éviter ainsi toute transformation et perte par évaporation.

Tab II.2 : Données et coordonnées in situ des stations de prélèvement.

Stations	Profondeur (m)	Coordonnées lamberts		Nature du fond	Température (K)
		X	Y		
01	02	02°50'50''	36°45'45''	Sable Fin	290.15
02	02	02°50'54''	36°45'45''		290.15
03	1.5	02°50'58''	36°45'38''		290.21
04	1.25	02°51'08''	36°45'37''		290.14
05	1.30	02°51'16''	36°45'36''		290.16
06	02	02°51'09''	36°45'46''		289.85
07	4.8	02°50'58''	36°45'51''		289.40
08	4.7	02°51'04''	36°45'55''		289.40
09	7.5	02°50'55''	36°46'12''		289.2
10	14	02°50'42''	36°46'28''		289.1
11	12	02°50'57''	36°46'34''		289.09
12	11.5	02°51'08''	36°46'19''		289.2
13	6	02°51'19''	36°46'03''		289.5
14	02	02°51'28''	36°45'47''		289.8
15	1.2	02°51'34''	36°45'38''		290.3
16	01	02°51'50''	36°45'41''		290.45
17	04	02°51'40''	36°45'52''		289.91
18	05	02°51'32''	36°46'07''		289.62
19	10	02°51'23''	36°46'24''		289.33
20	13	02°51'13''	36°46'37''		289.11
21	14	02°51'31''	36°46'45''		289.19
22	10	02°51'39''	36°46'28''		289.33
23	05	02°51'47''	36°46'11''		289.47
24	04	02°51'56''	36°45'56''		289.74
25	1.2	02°52'03''	36°45'44''		290.85
26	1.30	02°52'15''	36°45'49''		290.91
27	3.2	02°52'08''	36°46'04''		290.55
28	08	02°52'02''	36°46'17''		289.83
29	10	02°51'54''	36°46'32''		289.44
30	14.3	02°51'45''	36°46'48''		289.13
31	14	02°51'58''	36°46'47''		289.15
32	11	02°52'06''	36°46'39''		289.63
33	07	02°52'15''	36°46'23''		289.41
34	1.5	02°52'25''	36°46'08''		289.3
35	1.2	02°52'30''	36°45'56''		290.81
36	01	02°52'45''	36°46'06''		290.50
37	04	02°52'35''	36°45'20''		289.05
38	10	02°52'27''	36°46'32''		289.4
39	12	02°52'19''	36°46'48''		289.69
40	16	02°52'11''	36°47'04''		289.01
41	17	02°52'22''	36°47'12''		289.09
42	12	02°52'31''	36°46'54''		289.53
43	05	02°52'41''	36°46'39''		289.31
44	03	02°52'51''	36°46'27''		290.02
45	04	02°52'59''	36°46'17''		290.12
46	03	02°53'11''	36°46'30''		290.32
47	05	02°53'02''	36°46'43''		290.05
48	10	02°52'53''	36°46'54''		289.74
49	19	02°52'42''	36°47'07''		289.4
50	33	02°52'30''	36°46'52''		289.02
51	20	02°52'40''	36°47'37''		289.01
52	16	02°52'50''	36°47'23''		289.25
53	23	02°53'00''	36°47'11''		289.75

54	05	02°53'07''	36°46'58''	289.85
55	04	02°53'18''	36°46'48''	290.20
56	03	02°53'22''	36°46'41''	290.85
57	04	02°53'38''	36°46'52''	290.93
58	03	02°53'27''	36°47'05''	290.65
59	06	02°53'14''	36°47'17''	289.43
60	09	02°53'02''	36°47'33''	289.31
61	12	02°52'51''	36°47'45''	289.25
62	23	02°53'04''	36°48'00''	289.15
63	11.8	02°53'17''	36°47'44'	289.35
64	07	02°53'26''	36°47'30''	289.38
65	03	02°53'36''	36°47'17''	289.53
66	2.5	02°53'45''	36°47'06''	290.79
67	03	02°53'57''	36°47'23''	290.93
68	4.5	02°53'44''	36°47'43''	290.61
69	09	02°53'32''	36°47'59''	289.19
70	14	02°53'16''	36°48'15''	289.03
71	13	02°53'33''	36°48'20''	289.09
72	5.3	02°53'42''	36°48'09''	289.18
73	07	02°53'48''	36°48'02''	289.49
74	3.3	02°53'56''	36°47'53''	290.04
75	03	02°54'03''	36°47'47''	290.70
76	03	02°54'06''	36°47'55''	290.65
77	2.5	02°54'05''	36°48'08''	290.77
78	6.2	02°53'53''	36°48'07''	291.01
79	2.5	02°53'58''	36°48'06''	290.3
80	03	02°53'59''	36°48'08''	292.6
81	1.75	02°51'02''	36°45'41''	289.7
82	11.5	02°50'57''	36°46'24''	289.04
83	7.5	02°51'06''	36°46'08''	289.32
84	3.5	02°51'18''	36°45'52''	289.75
85	1.3	02°51'25''	36°45'40''	289.95
86	2.5	02°51'55''	36°45'48''	290.01
87	4.5	02°51'47''	36°46'04''	289.51
88	07	02°51'37''	36°46'18''	289.1
89	12	02°51'28''	36°46'32''	289.00
90	12.3	02°51'57''	36°46'43''	290.07
91	8.7	02°52'08''	36°46'27''	289.54
92	04	02°52'15''	36°46'12''	289.93
93	1.4	02°52'23''	36°45'59''	290
94	02	02°52'50''	36°46'15''	289.85
95	04	02°52'42''	36°46'27''	289.35
96	9.1	02°52'33''	36°46'41''	289.13
97	14.02	02°52'21''	36°47'00''	289
98	19	02°52'42''	36°47'20''	289.08
99	23	02°52'56''	36°47'04''	289.13
100	06	02°53'05''	36°46'52''	289.85
101	3.75	02°53'16''	36°46'41''	289.93
102	2.7	02°53'39''	36°47'06''	290.8
103	4.5	02°53'28''	36°47'19''	289.8
104	8.5	02°53'18''	36°47'34''	289.7
105	15	02°53'03''	36°47'47''	289.07
106	10.5	02°53'31''	36°48'11''	289.04
107	5.5	02°53'47''	36°47'54''	290.2
108	3.31	02°53'58''	36°47'42''	290.7
109	05	02°53'56''	36°48'01''	290

**II.2. Travaux au laboratoire :****II.2.1 Mesure et dosage des paramètres physico-chimiques****Salinité : (exprimée en PSU)**

La mesure de la salinité est importante dans l'étude du milieu marin. Par son influence sur la densité de l'eau de mer, elle représente la proportion de sels minéraux dissous dans l'eau de mer.

Mesurée par la méthode de conductimétrie grâce à un salinomètre à induction, suivant les étapes suivantes :

- On ajuste le conductimètre à la conductivité de l'eau normale qui est de (1,00010) pour un ratio de 777 et une température standard de 640 ;
- On fait ensuite passer les échantillons un à un dans le conductimètre en ajustant la valeur de la conductivité de l'échantillon en gardant la flèche sur le 0 ;

La valeur de la conductivité est par la suite reportée sur le tableau de convertissement des valeurs de conductivité en valeur de salinité avec une précision de 4 chiffres après la virgule de la conductivité.

**PH ; potentiel d'hydrogène**

Le PH est mesuré au laboratoire à l'aide d'un PH mètre muni d'une électrode de verre à compensation de température.

L'étalonnage est effectué avec deux solutions étalons, dont les PH sont (4 et 7).

L'électrode est plongée dans de l'eau de mer à analyser qui reste jusqu'à stabilisation de la valeur du PH affiché.

Cette électrode est rincée à l'eau distillée entre chaque échantillon.

**Matières en suspension (MES)**

Cette mesure consiste à filtrer l'eau sur une membrane poreuse afin de retenir les particules supérieures à 0,45µm (Aminot et Chause – Pied, 1983).

La teneur en MES est ainsi obtenue par la différence de poids du filtre avant et après filtration apportée au volume d'eau filtré.

Soit : **p1**: poids initial du filtre après séchage à l'étuve en milligramme ;  
**p2**: poids du filtre après déshydratation en milligramme ;  
**V** : volume d'eau filtré en litre.

Donc :

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

**Turbidité**

Elle traduit la propriété optique responsable de la dispersion et de l'absorption de la lumière plutôt que de sa transmission en ligne droite à travers l'échantillon.

Lorsque l'on mesure la turbidité en recherche en fait à déterminer la dispersion et l'absorption de la lumière.

Il s'agit donc bien d'un paramètre lié à la présence des particules en suspension

## II.2.2. Sédimentologie :

### II.2.2.1 Analyse granulométrie

La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particules (Rivière, 1977).

**L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux phases à savoir :**

**Phase 1 :** Phase technique expérimentale conduisant à l'évolution en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale du sédiment.

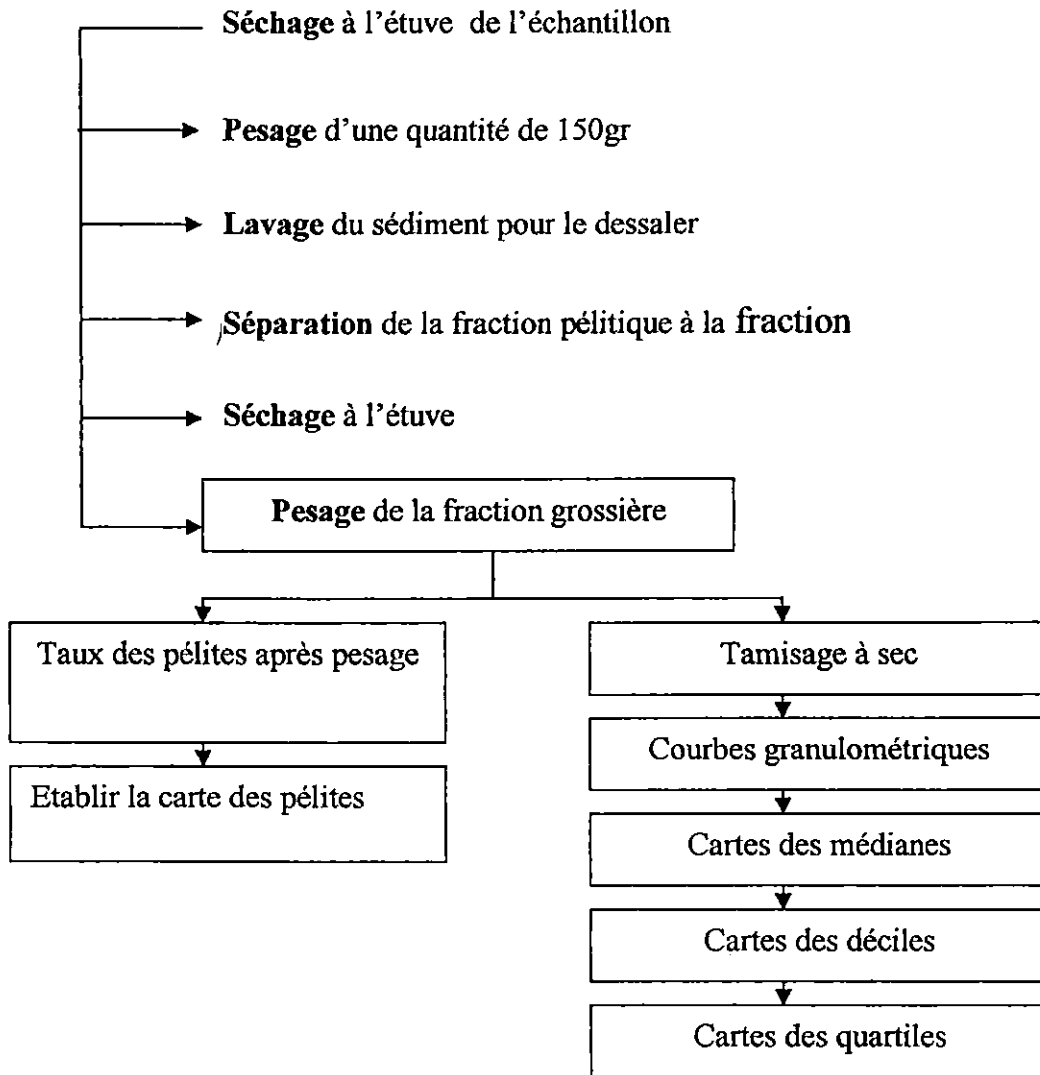
Pour chaque échantillon, on procède de la manière suivante :

- Séchage d'une fraction de sédiment à l'étuve (105°C) pendant 24h ;
- Lavage de 150gr de sédiment séché à l'eau douce et séparation de la fraction péltique de la fraction grossière, à l'aide d'un tamis de (40 $\mu$ m) ;
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve (150°C) pendant 24h ;
- Pesée de la fraction grossière séchée, ainsi la différence entre ce poids et le poids initial nous donnera le taux des pélites en grammes ;
- Tamisage de la fraction grossière finale séchée sur une colonne vibrante (constituée de haut en bas de tamis de dimension décroissantes) pendant 10 minutes ;
- Pesée de refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision ;
- Evaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

**Phase 2 :** Phase d'interprétation des résultats obtenus par la granulométrie.

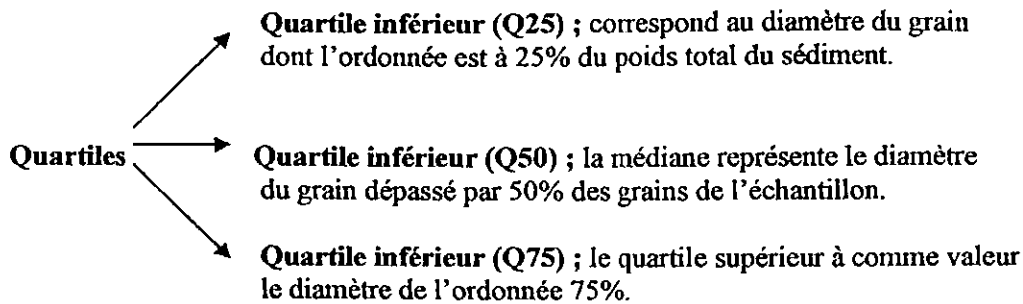
- Traitement des résultats sous forme de fiches granulométriques ;
- Représentation graphique en courbes cumulatives et histogramme de fréquence ;
- Exploitation des résultats pour la répartition des cartes modales et les différents indices et paramètres granulométriques.

Déroulement récapitulatif d'une analyse granulométrique



**Paramètres de position :**

Méthode statistique appliquée aux sables par (Trask P en 1930), qui consiste à déterminer trois points (quartiles) de la courbe (Vatan, 1967).



**Les déciles (P10, P90)** ; sont ceux dépassés par 10% et 90% des grains.

Toutes ces données nous permettent de calculer les indices granulométriques.

**II.2.2.2 Calcul des carbonates**

**But :** Est d'obtenir le taux des carbonates dans les sédiments et d'apprécier le déplacement des sédiments

**Nous avons :**

- Après le pesage du sédiment sec il est mis dans des fond de boîte de pétri ;
- Décalcification à (HCl), puis rinçage et séchage complet de l'échantillon dans une étuve à 60c° pendant 24h ;
- Pesage du sédiment séché après décalcification.

**Soit :** P : poids des carbonates en gramme ;  
p1 : poids sec de l'échantillon en gramme ;  
p2 : poids de l'échantillon après décalcification en gramme.

**Donc :**

Le poids des carbonates est calculé à partir de la différence des deux poids p1 et p2 selon l'équation suivante :

$$P = p1 - p2$$

Le pourcentage des carbonates dans les sédiments est calculé par la formule suivante :

$$\%CaCO3 = p1-p2 / p1 \times 100$$

### II.2.2.3 Matière organique

Cette méthode décrite par (Rodier.1984) et (Castel et Al, 1990) consiste au séchage des échantillons à l'étuve à 70°C pendant 24h, puis l'incinération de ces derniers dans un four à moufle à 600°C pendant 2h, afin de brûler toute la matière organique.

Soit : **P** : poids de la matière organique en gramme ;  
**p1** : poids sec de l'échantillon en gramme ;  
**p2** : poids de l'échantillon après incinération en gramme.

La différence des deux poids obtenus précédemment **p1** et **p2** nous donne le poids de la matière organique brûlée.

$$P = p1 - p2$$

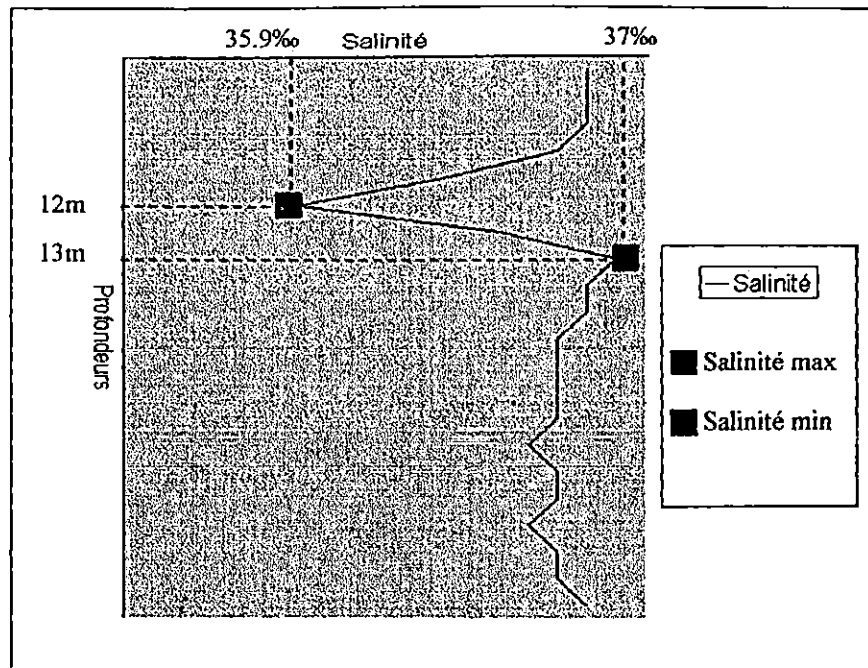
Le pourcentage de la matière organique dans le sédiment est calculé par la formule suivante :

$$\%MO = p1-p2 / p1 \times 100$$

**II.3 Les résultats :**

**II.3.1 Paramètres physicochimiques :**

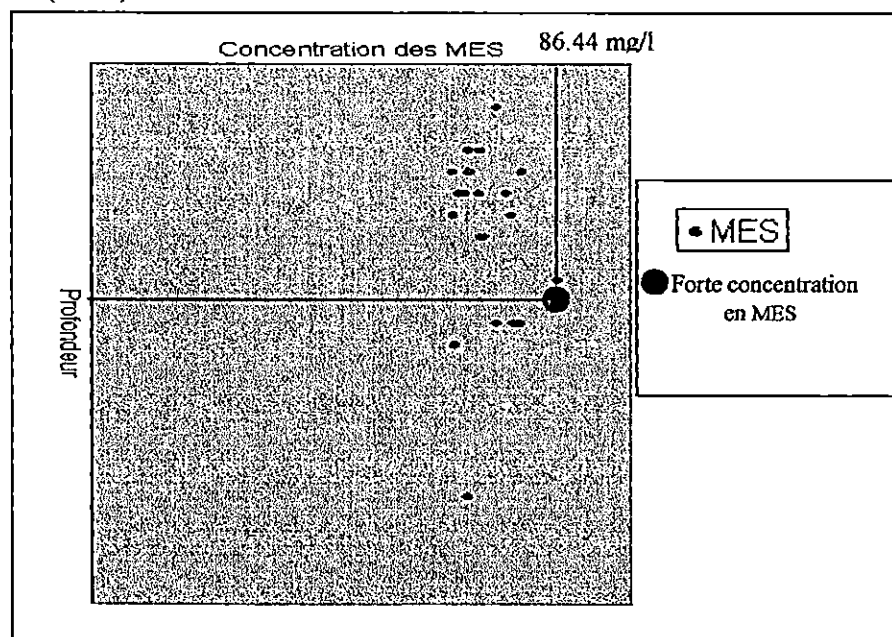
**Salinité :**



**Fig II.1 :** Variation de la salinité en fonction de la profondeur dans la baie d'El Djamila (données 2006)

Le graphe montre une nette stabilité dans la majorité des stations avec une valeur de l'ordre de 36,85‰ et deux pics dont l'un représente la valeur maximum 37‰ à une profondeur de 13m et l'autre la valeur minimum 35,9‰ à une profondeur de 12m (Fig II.1).

**Matières en suspension (MES) :**



**Fig II.2 :** Variation de la matière en suspension (MES) en fonction de la profondeur dans la baie d'El Djamila (données 2006)

Bien que la concentration la plus élevée de la matière en suspension au niveau de la baie est de l'ordre de 86,44mg/l, elle reste néanmoins négligeable.

**II.3.2 Analyse granulométrique :**

**Tab II.3 :** Caractéristiques granulométriques des sédiments de la baie d'El Djamilla.

Stations	profondeurs	Pérites %	Q50 µm	Q25 µm	Q75 µm	Nature du fond
01	2	33.91	140	105	190	Sable fin
02	2	1.41	175	135	198	
03	1.5	1.55	180	150	225	
04	1.25	1.07	180	142	220	
05	1.3	0.81	180	120	220	
06	2	1.77	160	140	190	
07	4.8	1.87	140	140	180	
08	4.7	1.52	130	142	220	
09	7.5	1.45	140	124	160	
10	14	1.89	140	120	150	
11	12	2.93	145	122	160	
12	11.5	1.90	130	110	150	
13	6	1.95	140	120	155	
14	2	1.34	160	140	190	
15	1.2	0.78	190	160	280	
16	1	1.44	190	300	700	
17	4	1.14	157	137	190	
18	5	2.41	145	125	170	
19	10	1.81	120	104	140	
20	13	3.75	125	115	150	
21	14	2.83	120	105	140	
22	10	1.93	160	116	178	
23	5	2.07	150	125	180	
24	4	2.71	150	120	175	
25	1.2	1.13	190	170	220	
26	1.3	1.41	183	160	230	
27	3.2	1.44	155	130	190	
28	8	1.15	130	110	150	
29	10	1.73	115	150	130	
30	14.3	2.30	110	100	118	
31	14	2.84	110	95	133	
32	11	2.11	105	90	120	
33	7	1.20	125	110	159	
34	1.5	1.07	200	180	250	
35	1.2	0.85	600	275	1100	
36	1	0.89	210	180	250	
37	4	1.09	157	125	175	
38	10	1.36	130	110	150	
39	12	1.74	110	90	125	
40	16	2.22	90	110	125	
41	17	3.58	110	90	115	
42	12	1.71	90	98	140	
43	5	1.42	93	110	150	
44	3	1.11	110	170	220	
45	4	0.46	170	450	1900	
46	3	0.90	450	123	170	
47	5	1.07	123	145	200	
48	10	1.75	158	110	150	
49	19	4.51	125	95	113	
50	33	4.18	100	98	124	
51	20	3.08	115	90	135	
52	16	0.75	105	100	153	
53	23	3.25	130	82	140	

54	5	1.08	120	142	220
55	4	1.09	180	160	230
56	3	1.16	170	150	260
57	4	1.03	190	143	310
58	3	1.01	170	145	198
59	6	1.5	170	125	160
60	9	1.4	140	103	150
61	12	1.61	122	125	155
62	23	4.06	85	70	118
63	11.8	0.85	130	110	160
64	7	1.28	300	170	380
65	3	/	/	/	/
66	2.5	/	/	/	/
67	3	1.20	190	150	280
68	4.5	1.45	110	95	130
69	9	1.50	142	114	145
70	14	/	/	/	/
71	13	/	/	/	/
72	5.3	/	/	/	/
73	7	1.31	180	120	195
74	3.3	/	/	/	/
75	3	0.91	510	425	610
76	3	0.83	400	300	530
77	2.5	0.88	360	230	509
78	6.2	1.13	350	73	410
79	2.5	1.75	350	255	450
80	3	64.34	140	69	315
81	1.75	1.56	165	143	198.25
82	11.5	2.04	138.75	119	155
83	7.5	1.70	135	124	171.25
84	3.5	1.64	150	135.5	188.75
85	1.3	1.17	172.5	140	220
86	2.5	1.6	171.75	181.75	163.75
87	4.5	2.08	150.5	126.75	178.75
88	7	2.24	143.75	117.5	167
89	12	2.58	168.75	110	152
90	12.3	2.24	111.25	108.75	125.25
91	8.7	1.54	118.75	115	102.25
92	4	1.21	152.5	132.5	187.25
93	1.41	1.19	284.5	186.25	207.25
94	2	0.88	246.75	231.25	636.25
95	4	1.24	122.5	128.75	173.75
96	9.1	1.55	105.75	102	141.25
97	14.02	2.31	100	97	126.25
98	19	3.13	111.25	95.75	131.25
99	23	2.56	129.5	96.75	139
100	6	1.78	145.25	139.25	200
101	3.75	1.05	230.75	144.5	215
102	2.7	0.62	90	72	127
103	4.5	0.94	160	110	89.5
104	8.5	1.25	185	127	212.5
105	15	1.95	119.25	102	145.75
106	10.5	0.37	35.5	28.5	36.25
107	5.5	1.06	108	82.25	73.5
108	3.31	0.89	202.5	167.5	255
109	5	0.98	222.5	151.25	288.5

Sable fin

### Classification granulométrique des sédiments

Type de dépôt	Taux des pélites
Sable peu vaseux	< 5 %
Sable vaseux	5 à 25 %
Vase sableuse	25 à 75 %
Vase	> 75 %

#### Les pélites :

La plus part des échantillons prélevés présente un pourcentage très faible qui ne dépasse pas les 5% dans l'ensemble de la baie, ce qui caractérise cette zone comme étant un secteur à hydrodynamisme important, sauf pour les stations 01 (port de plaisance de Sidi Fredj) et 80 (port de pêche d'El Djamila) dont les valeurs sont respectivement de l'ordre de 33,91% et 64,34%, ces valeurs traduisent l'existence d'une faible agitation du plan d'eau dans ces deux ports.

#### La médiane :

La répartition cartographique des médianes granulométriques, fait apparaître un granoclassement de la côte vers le large.

La fraction grossière constitue la côte avec des tailles qui varient entre 150µm et 600 µm.

#### Quartile inférieur :

Hormis les stations 75 et 45 dont les valeurs sont de l'ordre de (450µm et 425µm) le Q25 se situe entre 70µm et 275µm (sable fin), donc en conclut l'existence d'une grande homogénéité des sédiments.

#### Quartile supérieur :

Hormis les stations 45 et 35 dont les valeurs sont de l'ordre de (1900µm et 1100µm) où il y a des débris de coquilles, le Q75 est compris en moyenne dans les 150µm, ces valeurs sont rapprochées de celle du sable fin.

#### Les carbonates :

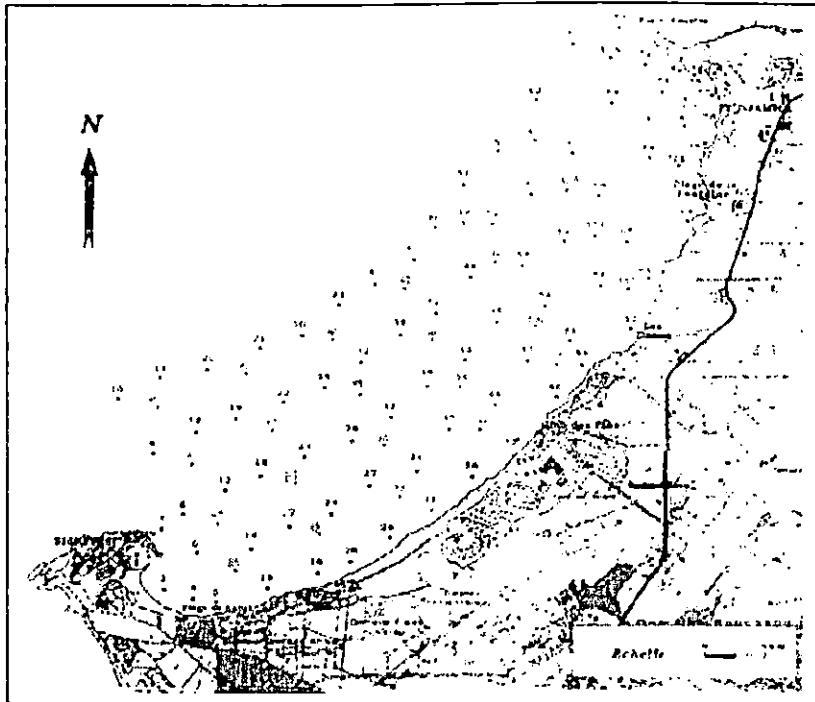
Le taux des carbonates obtenu par la décalcification à HCl des échantillons, varient entre les valeurs extrêmes 16,20 et 51,85 %.

La répartition de ces teneurs ainsi obtenus montre un transfert des sédiments carbonaté vers les promontoires rocheux qui sont respectivement Sidi Fredj et Ras Acrata.

#### Matière organique :

La répartition de la matière organique dans la baie d'El Djamila montre des teneurs faible et très rapprochées qui ne dépassent pas 2,36%.

De la nous pouvons dire que l'acheminement des matières de l'Oued Beni Messous se trouvant dans la baie et l'Ouest Mazafrant situé à l'Ouest de Sidi Fredj n'a aucune influence sur le dépôt de la matière organique.



**FigII.3** : Carte de positionnement des stations de prélèvement dans la baie d'El Djamila

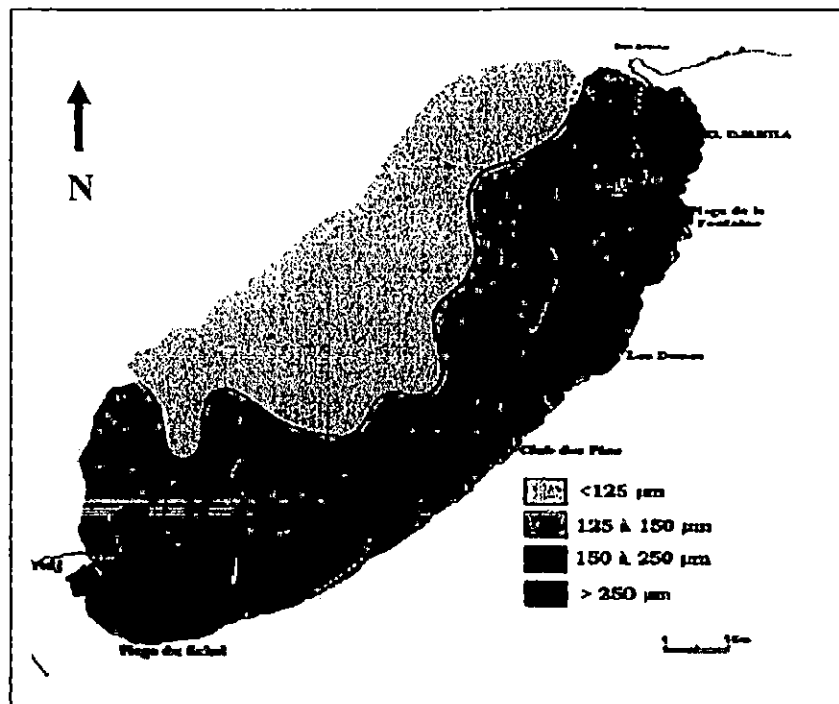


Fig II.4 : Carte de la répartition de la médiane (Q50) dans la baie d'El Djamilia (Bouزيد. L et Nehad. M ; 2006)

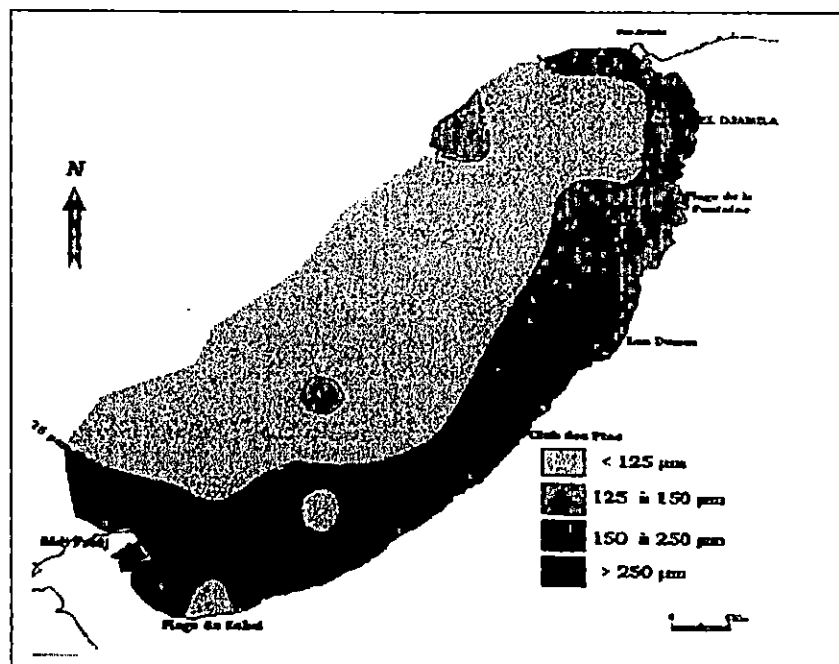


Fig II.5: Carte de la répartition du quartile inférieur (Q25) dans la baie d'El Djamilia (Bouزيد. L et Nehad. M ; 2006)

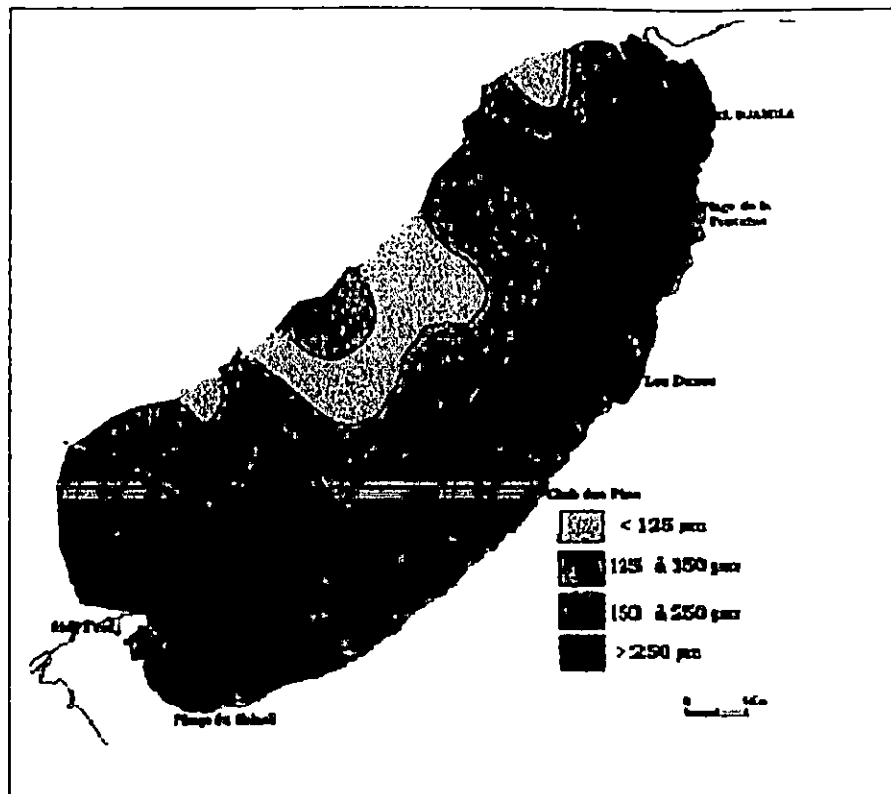


Fig II.6: Carte de la répartition du quartile supérieur (Q75) dans la baie d'El Djamilia (Bouziid. L et Nehad. M ; 2006)

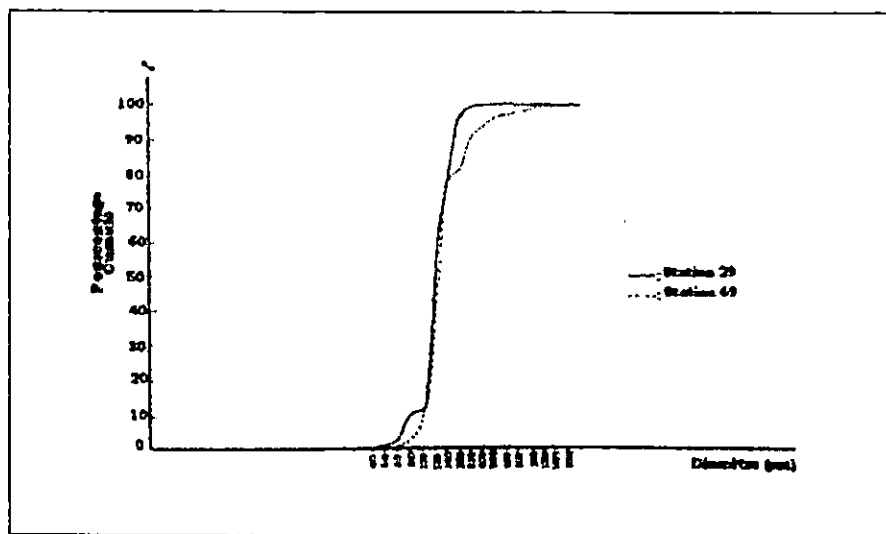


Fig II.7: Courbe unimodales configuré à la main. (Bouziid. L et Nehad. M ; 2006)

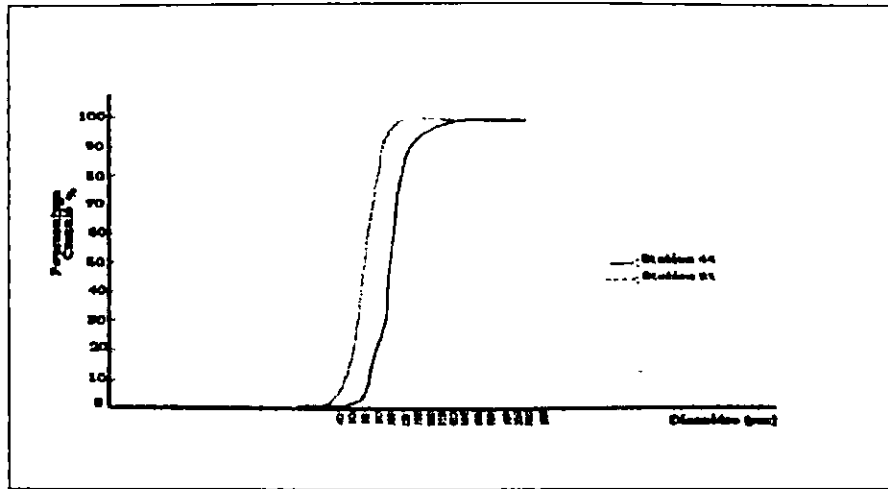
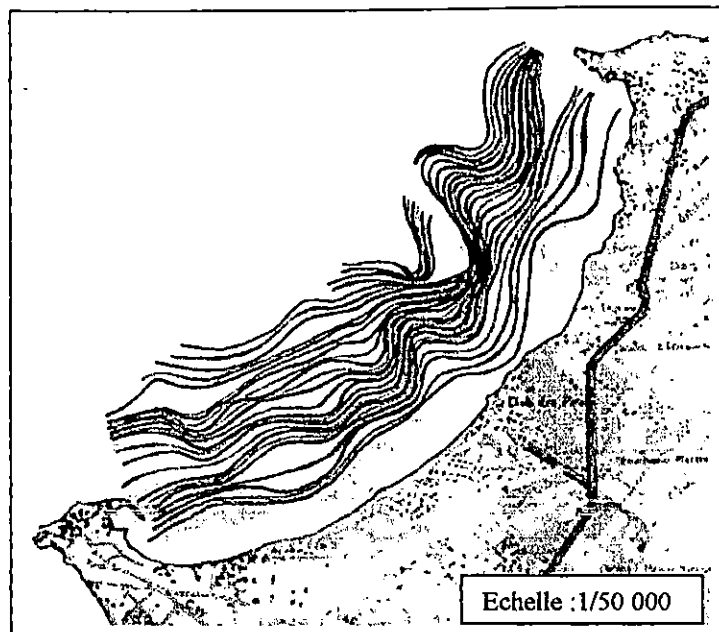


Fig II.8: Courbe bimodales configuré à la main (Bouزيد. L et Nehad. M ; 2006)



**Fig II.3 : Bathymétrie de la baie d'El Djamila réalisée à la main  
(Bouزيد. L et Nehad. M ; 2006)**

Les isobathes des 5 premiers mètres sont pratiquement parallèles à la côte, avec une pente très faible.

A l'Est de la baie, au-delà des 5m de profondeur, on distingue un creux (Fig II.3) où il y a un resserrement des isobathes jusqu'à une profondeur de 23m.

Par contre, plus à l'Ouest au niveau de Moretti, on a une zone régulière à pente très douce.

Au niveau des deux extrémités de la baie (Sidi Fredj et Ras Acrata), les isobathes sont plus serrées et rapprochées à la côte, ceci est dû à une topographie sous marine plus accidentée que dans l'ensemble de la baie.

Des profondeurs de (-120m) sont atteintes à 3,6 km.

Le fort relief est à l'origine du rétrécissement du plateau continental qui lui présente une inflexion nette autour de l'isobathe (-100m).

Les plages de cette baie se répartissent en trois types :

- Côtes basses et sableuses ;
- Côtes basses et rocheuses à bords non abrupts présentant des entablements sous-marins envahis par les herbiers et zoostères.
- Plages à côtes rocheuses déchiquetées à forte pente.

# Chapitre III : Application de la télédétection

### **III.1. Télédétection**

#### **III.1.1. Définition**

La télédétection est la technique qui par l'acquisition de l'image permet d'obtenir des informations portant sur la surface de la terre sans contact direct avec celle-ci, en offrant une vision synoptique d'une vaste région qu'il est impossible d'obtenir par des moyens traditionnels.

Elle englobe cependant tout le processus qui consiste à capter et à enregistrer l'énergie d'un rayonnement électromagnétique émis ou réfléchi, à traiter et à analyser l'information pour ensuite mettre en application cette information.

#### **III.1.2. Domaine d'application de la télédétection**

Il existe divers domaines d'application de la télédétection tel que : la géologie, pédologie et la géomorphologie pour la géoscience et notamment la reconnaissance bathymétrique qui concerne notre présent travail.

##### **Application de la télédétection à l'océanographie (milieux marin et littoral) :**

Les satellites météorologiques sont largement utilisés en océanographie pour la détermination à savoir ;

- Des températures de surfaces des océans ;
- Des courants généraux ou côtiers ;

Autres applications, mesure de la production biologique, (planctons) et de la turbidité.....

##### **Application de la télédétection à la bathymétrie :**

Des satellites de télédétection terrestre à haute résolution spatiale sont souvent utilisés pour l'étude des régions côtières et l'identification des patrons océaniques tel que les :

- Zones frontales, vagues internes, vagues de gravité, remous ;
- Zones de résurgence, bathymétrie d'eau peu profonde.

#### **III.1.3. Télédétection passive et active**

Lorsque le rayonnement utilisé a une source naturelle, le plus souvent le soleil, la télédétection est dite **passive**, par contre lorsqu'il a une source artificielle fournie par le système de télédétection, elle est dite **active**.

##### **Principe**

L'imagerie satellite passive consiste en la mesure de l'intensité du rayonnement électromagnétique que réfléchit chaque élément de la surface de la terre.

Ces mesures effectuées dans des bandes spectrales déterminées, subissent ensuite une série de corrections radio métriques et géométriques pour donner une photographie sous forme d'une image numérique de la région concernée de la surface terrestre.

### III.2. Rayonnement électromagnétique :

En télédétection on utilise en particulier les propriétés physiques optiques des objets observés, afin d'acquérir des informations sur la nature de ces objets.

Cette information est transmise vers un système d'observation par des rayons électromagnétiques comme la lumière par exemple.

Le système d'observation reçoit ce rayonnement et le traduit en éléments compréhensibles par l'utilisateur comme des images ou des données chiffrées.

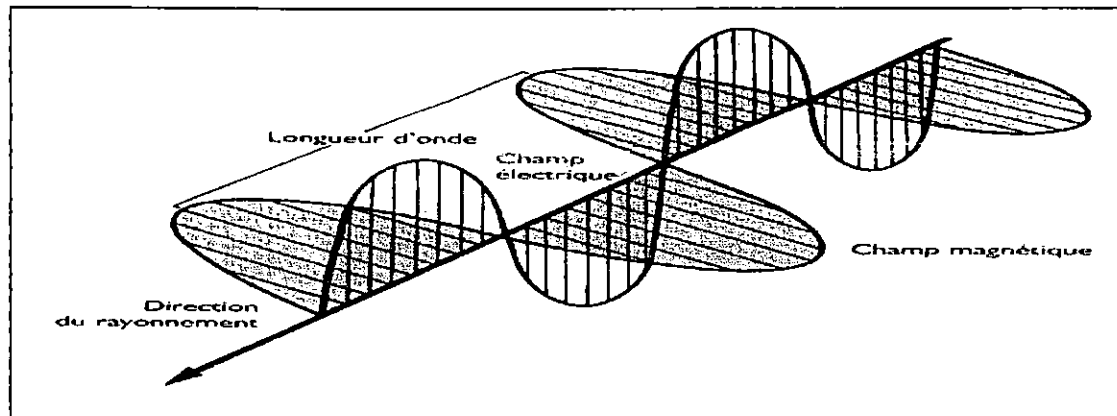


Fig III.1 : Onde électromagnétique

#### III.2.1 Propriétés des ondes électromagnétiques

Les ondes électromagnétiques sont l'addition de deux perturbations ondulatoires qui se propagent en ligne droite. Le rayonnement électromagnétique est composé d'un champ électrique (**E**) et d'un champ magnétique (**M**).

Les deux champs se déplacent à la vitesse de la lumière (**C**).

Une onde électromagnétique est définie par sa :

$\lambda$  : Longueur d'onde (distance (m) entre deux crêtes ou creux successives d'une onde);

$\nu$  : Fréquence représente le nombre d'oscillations par unité de temps (Hertz).

**C** : vitesse de la lumière.

La formule suivante illustre la relation entre la longueur d'onde et la fréquence :

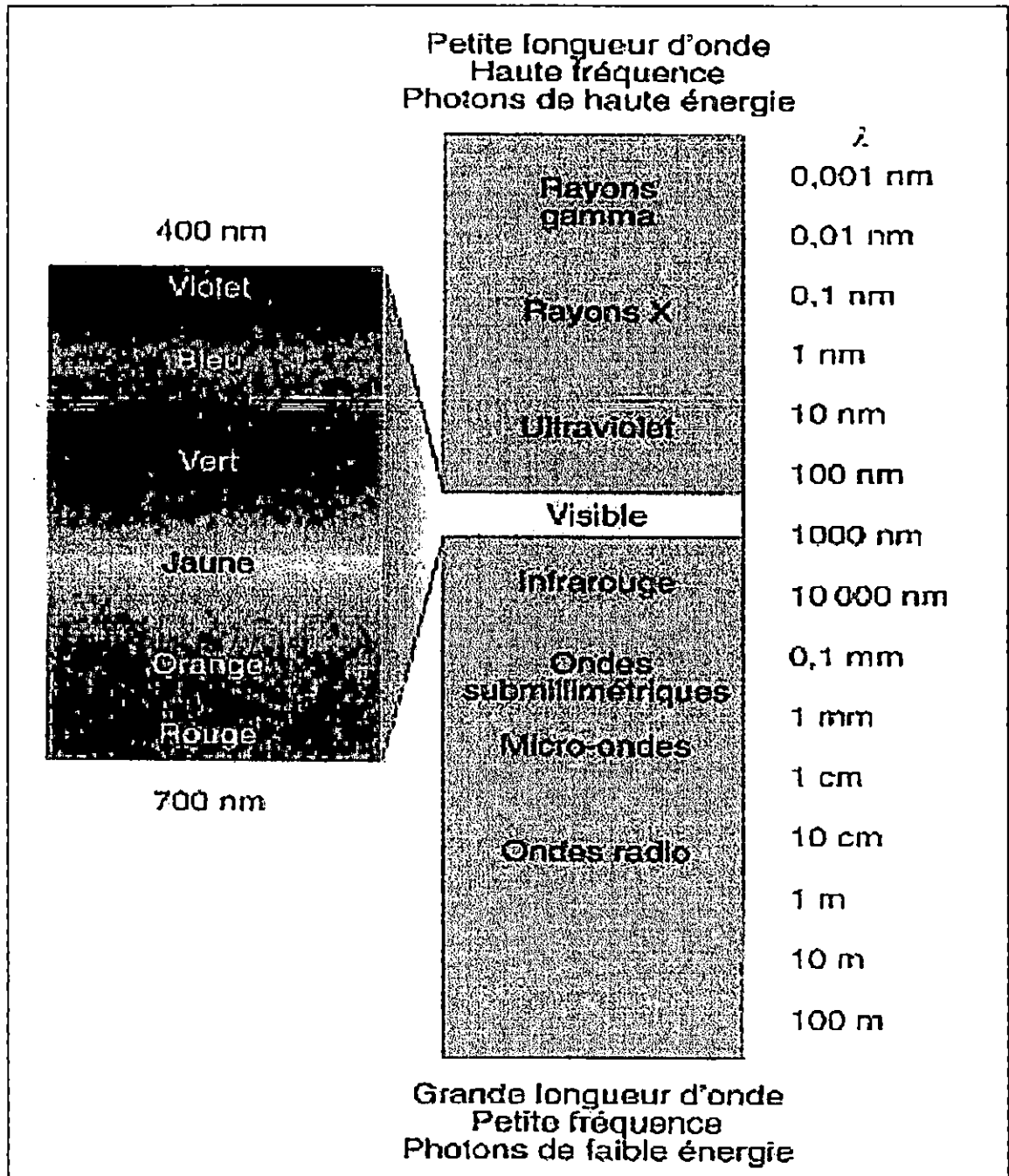
$$C = \lambda \cdot \nu$$

Le rayonnement peut être **absorbé**, **transmis** ou **réfléchi** selon les modalités propres à chaque corps ; ce qui explique la couleur que l'œil attribue aux objets.

#### III.2.2. Le spectre électromagnétique

Le spectre du rayonnement électromagnétique est la distribution des fréquences depuis les rayons de courtes longueurs d'onde Gamma jusqu'au ondes radio de longueurs kilométriques.

Tab II.1 : Différentes longueurs d'ondes du spectre lumineux.



**Le visible** : les longueurs d'ondes visibles s'étendent de 0,4 $\mu$ m à 0,7 $\mu$ m, généralement décomposées en bandes spectrales plus étroites.

Cette portion du spectre est couramment utilisée en télédétection elle comprend selon des longueurs d'ondes croissantes (Fig III.2).



Fig III.2 : Longueurs d'ondes du visible

**III.2.3. Perturbation des ondes électromagnétiques par l'atmosphère**

Le rayonnement électromagnétique détecté par le capteur d'un satellite traverse l'atmosphère d'une part lors de l'émission des rayons solaires (entre le soleil et le sol) et d'autre part, entre le sol et le satellite (rayonnement réfléchi par la surface terrestre).

Cette couche atmosphérique modifie le signal reçu en perturbant certaines propriétés du rayonnement électromagnétique et ces perturbations atmosphériques sont dues à deux entités bien distinctes :

Les molécules de gaz ; les particules solides ou liquides (aérosol, poussière, gouttelettes, etc).

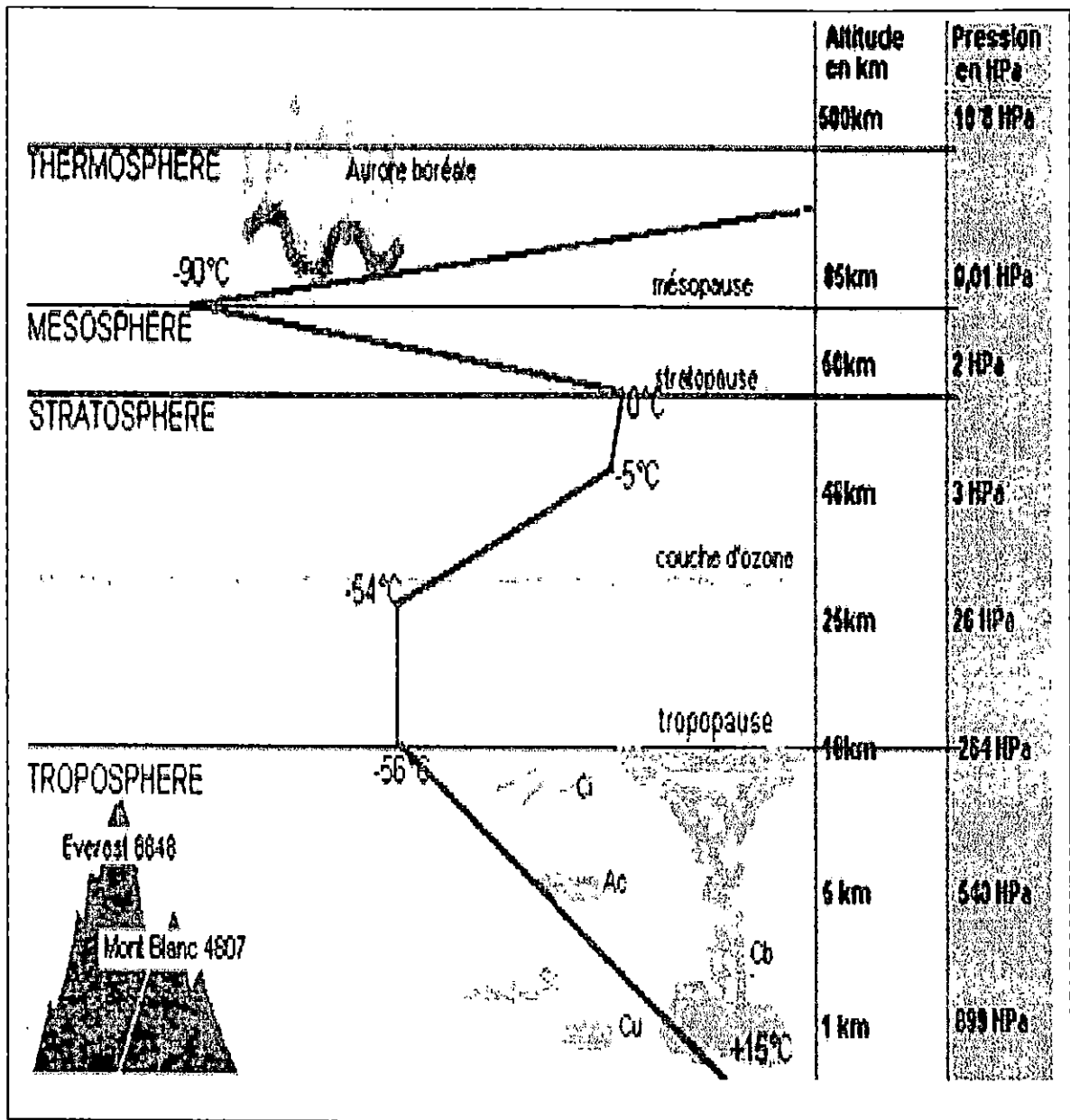


Fig III.3 : Structure de l'atmosphère

**Propriétés optiques de l'atmosphère**

L'atmosphère terrestre est source d'importante distorsion radio métrique. Elle absorbe une partie de l'énergie émise par le soleil ainsi que celle réfléchi depuis l'objet auxquelles s'ajoute l'énergie réfléchi par l'atmosphère (lumière diffusée).

Les particules et les gaz dans l'atmosphère peuvent dévier ou bloquer le rayonnement incident.

Ces effets sont causés par les mécanismes suivants :

#### La réfraction

C'est la distribution géométrique du trajet des ondes, due à des variations d'indices de réfraction.

#### L'absorption

L'absorption de la radiation solaire directe dans l'atmosphère se fait par le gaz et la vapeur d'eau d'une manière sélective. Elle est fortement liée la longueur d'onde utilisée et dépend du type de molécules et de leurs propriétés.

Le rayonnement ultraviolet est absorbé par les hautes couches de l'atmosphères il est donc **inutilisable en télédétection spatiale**, contrairement au rayonnement visible, il est beaucoup moins absorbé par l'atmosphère.

Les gaz de l'atmosphère absorbent une partie du rayonnement solaire, l'ozone lui absorbe les longueurs d'ondes à  $9,6\mu\text{m}$  et provoque une faible atténuation à  $0,6\mu\text{m}$ , l'oxygène à une bande d'absorption intense mais très étroite à  $0,76\mu\text{m}$ , du proche infrarouge à l'infrarouge thermique, la vapeur d'eau, le gaz carbonique et le méthane sont principalement responsables de l'absorption atmosphérique.

#### La 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 (gouttelettes d'eau, poussières, fumées...).

Le niveau de diffusion dépend de plusieurs facteurs comme la longueur d'onde, la densité de particules et de molécules, l'épaisseur de l'atmosphère que le rayonnement doit franchir.

#### L'émission

L'atmosphère réémet une partie du rayonnement reçu, ce qui contribue à augmenter la valeur de flux mesurée par le capteur. Cette luminance atmosphérique s'ajoute à la valeur de flux réfléchi ou émis par la surface de la terrestre faisant l'objet de l'étude (Girard, 1989).

### III.2.4 Les propriétés optiques de l'eau

Lorsque le rayonnement solaire atteint une surface d'eau, une fraction importante de l'éclairement incident est réfléchi séculairement, la réflexion spéculaire ne produit donc qu'un déplacement global du niveau de réflectance sans affecter sa variation en fonction de la longueur d'onde. L'éclairement qui n'est pas réfléchi par la surface de l'eau est réfracté et dirigé vers le bas. Une partie du flux réfracté est absorbée par l'eau, l'autre est rétrodiffusée.

Soit :  $E_i(\lambda)$  : éclairement incident à la longueur d'onde  $\lambda$  ;  
 $E_a(\lambda)$  : éclairement absorbé par l'eau ;  
 $MSP(\lambda)$  : existence de l'eau due à la réflexion spéculaire ;  
 $Md(\lambda)$  : existence de l'eau due aux processus de la diffusion.

Donc :

$$E_i(\lambda) - E_a(\lambda) = MSP(\lambda) + Md(\lambda)$$

La composante de la réflexion due à la réflexion spéculaire s'écrit :

$$\rho_{sp}(\lambda) = MSP(\lambda) / M_{sp}(\lambda)$$

La composante de la réflectance due à la diffusion en volume d'eau s'écrit :

$$\rho_v(\lambda) = Md(\lambda) / Ei(\lambda)$$

**1. Coefficient d'absorption**

Soit : 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.

Nous définissons donc le coefficient d'absorption de l'eau selon cette équation :

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

$a_w(\lambda)$  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 donné par l'équation suivante :

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

**2. Coefficient de diffusion**

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

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

**3. Coefficient d'atténuation**

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.

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

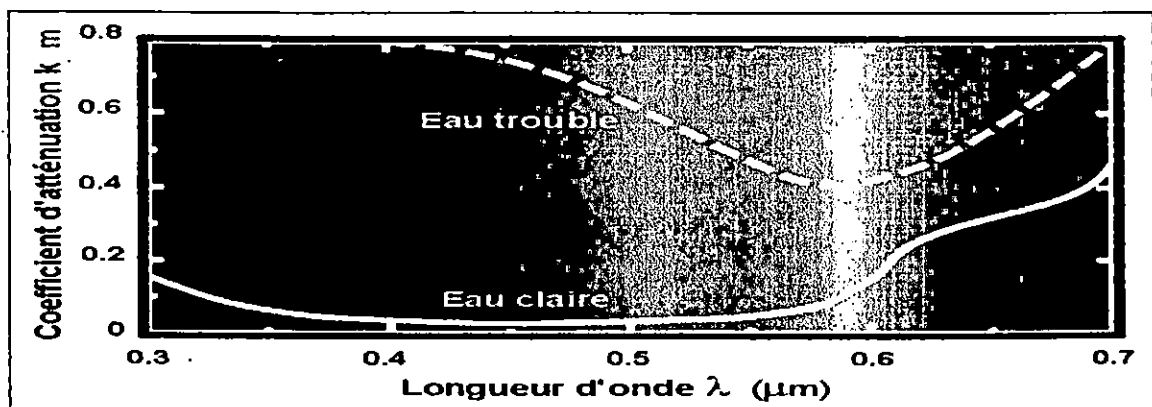


Fig III.4 : Evolution du coefficient d'atténuation en fonction de la longueur d'onde et énergie relative (100% à la surface) pour une eau claire et pour une eau trouble riche en matières organiques

**La variation du coefficient de l'atténuation dans l'eau**

L'étude de la variation de  $c_w(\lambda)$  pour l'eau de mer pure de  $0.186\mu\text{m}$  à  $2.65\mu\text{m}$ , montre que l'atténuation est minimum (ou la transmission est maximum) dans le visible vers  $0.5\mu\text{m}$ .

Si nous considérons un trajet de la lumière dans l'eau de longueur  $II$  tel que :

$$II = 1 / c_w(\lambda)$$

Le flux qui sera absorbé à la distance  $II$  sera :

$$\begin{aligned} \varphi(\lambda) &= \varphi_0(\lambda) \exp. (- c_w(\lambda). II) \\ \varphi(\lambda) &= \varphi_0(\lambda) \exp. (-1) \\ \varphi(\lambda) &= 0.63 \varphi_0 \end{aligned}$$

La longueur  $II$  qui est la longueur d'atténuation exponentielle est donc telle que le flux absorbé est égal à 63% du flux incident.

Si la longueur du trajet optique dans le milieu est égale à  $(5 II)$ , le flux incident est presque totalement absorbé c'est-à-dire  $\varphi > 99\% \varphi_0$ .

**Propriétés optiques de l'eau dans l'infrarouge thermique**

Dans l'infrarouge thermique, l'émissivité de l'eau est très élevée, elle est supérieure à 0.99 et varie entre 10 et  $12.5\mu\text{m}$ .

Ce domaine spectral est donc particulièrement bien adapté à la mesure de la température des surfaces d'eau car il correspond aux maximums de transmission de l'atmosphère dans la fenêtre de l'infrarouge thermique.

**Propriétés optiques des surfaces d'eau**

La réflectance et l'émissivité des surfaces d'eau dépendent des propriétés optiques de l'eau ainsi que celles des substances dissoutes ou en suspension.

Celles-ci peuvent être séparés en trois principales catégories :

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

Les particules minérales et les détritits biogènes sont parfois englobés sous le terme général de triphon (particules non vivantes).

**Substance dissoute ou en suspension**

les particules minérales en suspension sont constituées par les particules terrigènes apportées par les fleuves et par les sédiments remis en suspension par les courants, les algues et la houle. Leur influence est prépondérante dans de nombreuses zones côtières, sur les plateaux continentaux et dans les panaches fluviaux ; l'absorption est très forte dans le bleu et présente un minimum entre 500 et 600nm.

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 en eaux douces sont importants (eaux côtières et certaines mers intérieures comme la Baltique). Une partie de la substance jaune provient également en quantité beaucoup plus faible de la dégradation du phytoplancton in situ.

L'absorption de la lumière par la substance jaune varie exponentiellement avec la longueur d'onde.

### **III.2.5 Réflectance des surfaces marines**

#### **Spectre de réflectance des surfaces marines**

Plus les eaux sont claires, plus le spectre de réflectance est dominé par les effets de diffusion moléculaire (maximum de réflectance dans le bleu). Les eaux où domine le phytoplancton présentent un minimum de réflectance vers 400nm et un maximum vers 565nm à 685nm apparaît également un pic de luminance, caractéristique de la chlorophylle.

L'efficacité de rétrodiffusion des particules chlorophylliennes étant beaucoup plus élevée que celle du phytoplancton les eaux dominées par ces particules ont une réflectance plus élevée sur l'ensemble du spectre et apparaissent vertes et laiteuses.

Les eaux dominées par la substance jaune absorbent fortement dans le bleu et apparaissent jaune-brun.

Le problème est de connaître le poids relatif de chacun des éléments dans un échantillon d'eau donné.

#### **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 cartographier les types de fonds marins et la profondeur de l'eau.

#### **Réflectance des eaux continentales**

Les eaux continentales ont généralement une charge en sédiment et une concentration en substance jaune plus élevée que celles des eaux marines. Leur spectre de réflectance est donc différent.

Les eaux des lacs sont moins chargées en sédiments mais le même type de relation exponentielle a été trouvé entre la réflectance en volume dans le domaine du visible et la concentration en sédiments.

**Eclairage au dessous de l'eau**

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

Soit :  $\phi_i$  : intensité du rayon incident à la surface ;  
 $\phi_r$  : perte due à la réflexion spéculaire ;  
 $\phi_a$  : perte due à l'atténuation ;  
 $\lambda$  : longueur d'onde.

Donc :

$$E(\lambda) = \phi_i(\lambda) - [\phi_r(\lambda) + \phi_a(\lambda)]$$

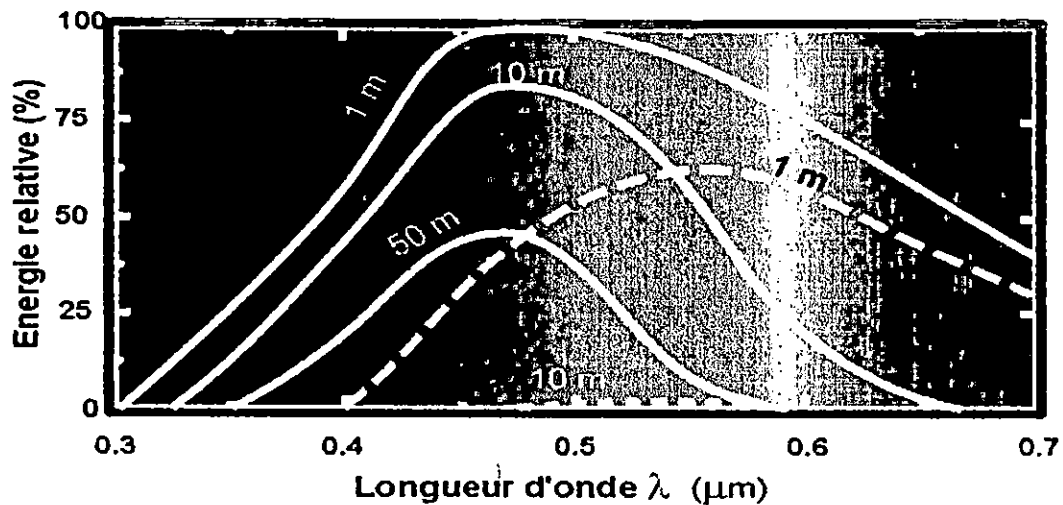


Fig III.5 Variation de l'énergie relative en fonction de la longueur d'onde

La mesure de la lumière émise par l'océan (réflexion et rétro diffusion) à certaines longueurs d'onde donne des informations quantitatives sur la teneur en éléments organiques et autres matériaux en suspension des couches de surface. L'interprétation de ces mesures apporte des résultats importants pour l'étude de la photosynthèse et donc du cycle du carbone, sur l'interaction du vent et des courants avec la biologie de l'océan ainsi que sur l'influence de l'activité humaine sur l'environnement océanique.

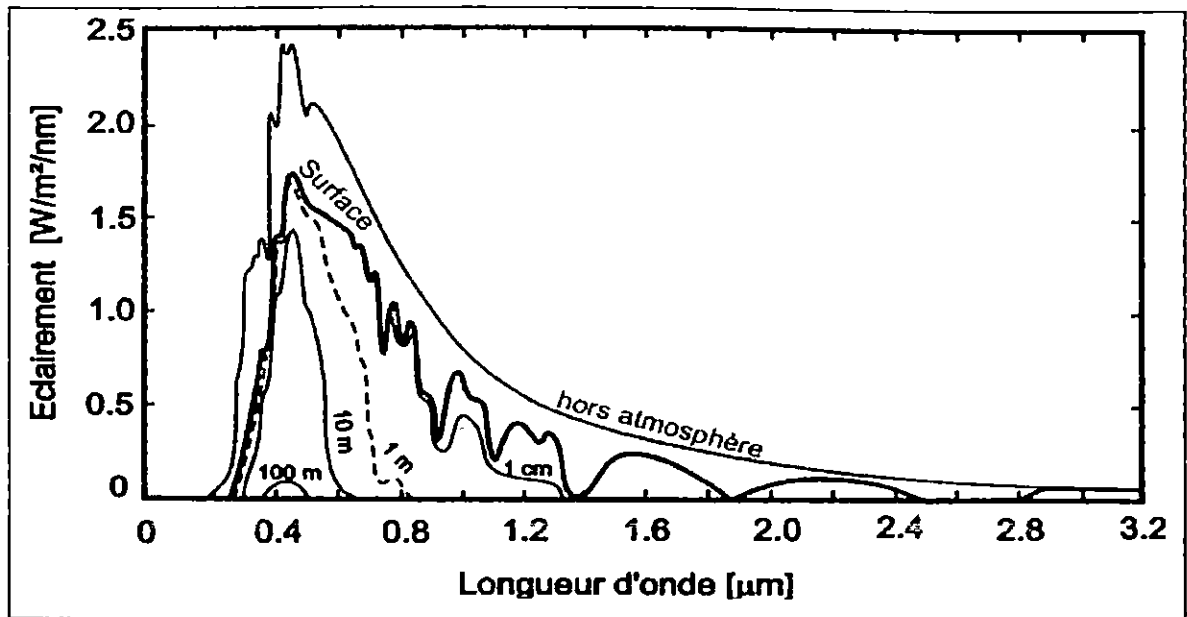


Fig III.6 : Evolution du spectre de la lumière naturelle dans l'air et dans l'eau

La répartition spectrale de l'éclairement sous-marin varie de façon complexe avec la profondeur, en relation avec le caractère sélectif de l'atténuation.

Brièvement on peut dire que l'éclairement du fond s'appauvrit aux deux extrémités du spectre visible à mesure que la tranche d'eau s'épaissit et on a deux pics, un à 500nm correspondant à la fenêtre de transmittance maximum de l'eau de mer et à 570nm correspondant à celle du phytoplancton.

La lumière en provenance du soleil est atténuée par l'atmosphère avant d'atteindre la surface de l'eau; sous l'eau on constate que l'atténuation est considérable, les infrarouges sont absorbés dans le premier mètre et peu de lumière atteint les 100m. Au delà de 1000m c'est la nuit noire.

### III.3. Les systèmes de télédétection

#### III.3.1. Les capteurs

##### Définition

Un capteur est un dispositif électronique qui permet d'acquérir les données concernant les objets étudiés dans une certaine gamme de longueur d'onde électromagnétique. Il est donc capable de recevoir les rayonnements qui proviennent du sol et de les transformer en un signal pouvant être mémorisé.

La fonction d'un capteur consiste à détecter le signal électromagnétique et à le convertir en une grandeur physique qui puisse être traitée et enregistrée.

Les capteurs des satellites possèdent des caractéristiques spatiales pour enregistrer les images.

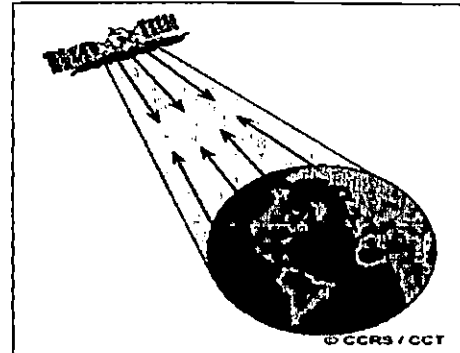
La précision spatiale des images est donnée par la résolution :

- la résolution spectrale ;
- la résolution radiométrique ;
- la résolution spatiale.

**Capteur actif**

Capteur auquel est incorporé ou associé un émetteur qui irradie la scène dans la bande spectrale du récepteur. Le radar et le lidar sont des exemples de capteurs actifs.

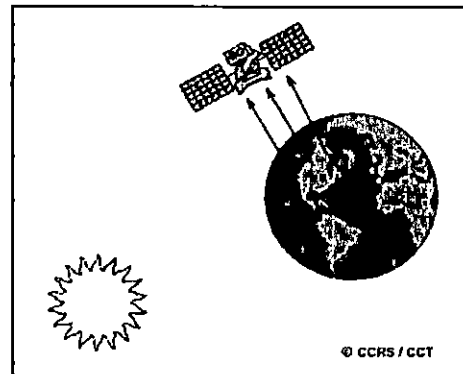
Fig III.7 Capteur actif

**Capteur passif**

Capteur qui reçoit une énergie émise sans que lui-même irradie la scène.

Un appareil photographique sans flash est un capteur passif

Fig III. 8 Capteur passif

**III.3.2. Les satellites**

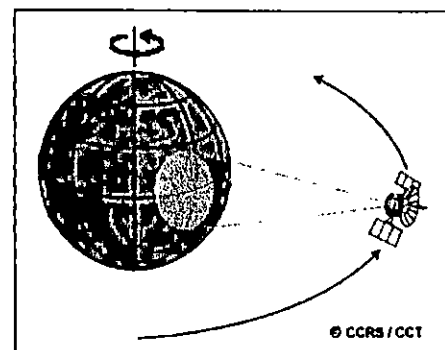
Un satellite est un objet spatial qui tourne autour de la terre destinée à recueillir des informations sur celle-ci. Les satellites sont équipés de radiomètres qui captent les valeurs d'énergie restituées par la surface de la terre ou l'atmosphère.

La télédétection de la terre s'exerce à partir de deux types de satellites généraux : **géostationnaires** et à **bas défilement**

**III.3.2.1 Les satellites géostationnaires**

Les satellites qui se déplacent en même temps que la Terre et qui sont donc fixes par rapport à un point de la surface sont dits géostationnaires. Ils sont situés à 35 800 Km d'altitude au dessus de l'équateur les capteurs sur satellites géostationnaires offrent une résolution géométrique moins fine, comparée à ceux sur satellites à bas défilement, on les utilise surtout en météorologie.

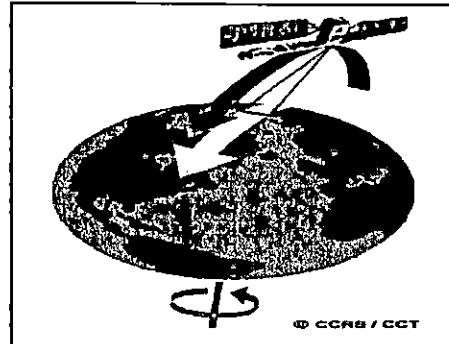
Fig III.9 Satellite géostationnaire



**III.3.2.2 Les satellites à bas défilement**

Ils sont habituellement héliosynchrones, c'est-à-dire qu'ils passent au-dessus d'une même zone quand ils traversent l'équateur à la même heure. Ils sont animés d'un mouvement relatif important par rapport à la terre, et évoluent à une basse altitude (200à1500km) et une période inférieur à 2 heures.

**Fig III.10** Satellite à bas défilement

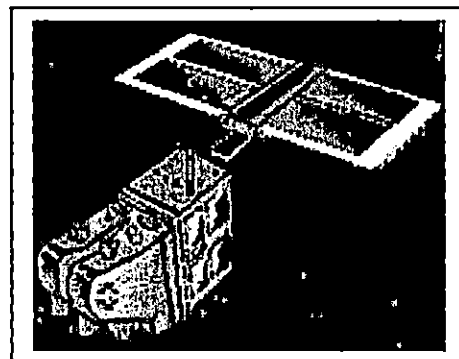


**a. Satellite SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre)**

Tous les satellites SPOT évoluent à une altitude de 820 Km, sur des orbites quasi polaires, Caractérisées par une inclinaison de 98,7° (ce qui permet l'héliosynchronisme).

La période de révolution des satellites SPOT est de 101, 4 min et le cycle orbital a une durée de 26 jours.

**Fig III.11** Satellite SPOT



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

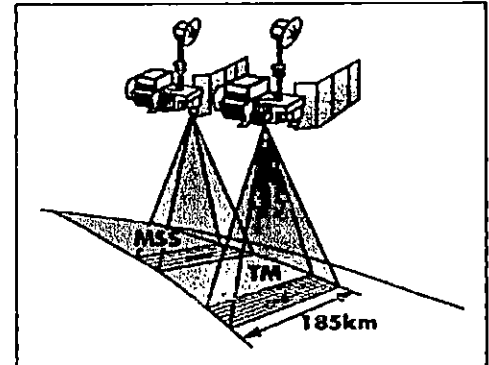
**Tab III.2** : Caractéristiques des capteurs du satellite SPOT

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

**b. Satellite LANDSAT**

Chaque satellite possède son propre cycle orbital et sa fréquence de passage au dessus d'un même site. Le satellite LANDSAT passe au dessus d'un même endroit tous les 16 jours ce sont des satellites héliosynchrones, en orbite Sub-polaire on distingue plusieurs générations.

Fig III.12 Satellite LANDSAT



Tab III.3 : Types de capteurs de Landsat

Capteurs	Landsat 1-3 RBV et MSS	Landsat 4-5 TM et MSS	Landsat 6-7 TM et ETM
Type	Héliosynchrone		
	Orbite sub polaire		

**Le satellite TM (Thematic Mapper)**

TM est un satellite conçu spécialement pour la recherche dans le domaine de la cartographie, en effet il possède une très grande résolution spatial de 30 x 30m ainsi les images TM offre la vue panoramique plus vaste que celle offerte par SPOT, il possède cependant sept bandes spectrales allant du proche ultra-violet à l'infrarouge lointain permettant ainsi de travailler sur une large gamme de longueurs d'ondes :

**Bande 1** : 0.45 - 0.52  $\mu\text{m}$

**Bande 2** : 0.52 - 0.60  $\mu\text{m}$

**Bande 3** : 0.63 - 0.69  $\mu\text{m}$

**Bande 4** : 0.76 - 0.90  $\mu\text{m}$

**Bande 5** : 1.55 - 1.55  $\mu\text{m}$

**Bande 6** : 10.4 - 12.5  $\mu\text{m}$

**Bande 7** : 2.08 - 2.35  $\mu\text{m}$

### Signature spectrale

La signature spectrale est le signal capté, réfléchi ou émis par une surface géographique. Le signal transporte avec lui une indication sur la nature de l'objet

### L'image satellitaire :

C'est une image reconstituée à partir des valeurs enregistrées par les radiomètres du satellite dans différents canaux ou intervalles de longueurs d'ondes du spectre solaire (bandes spectrales). Ces valeurs subissent ensuite une série de corrections radiométrique et géométriques pour donner une image numérique, de la région concernée de la surface terrestre.

L'image satellitaire est donc une présentation plane à partir d'un enregistrement structuré de données acquises par satellite. Ces données sont liées au rayonnement solaire réfléchi par la surface de la terre et son atmosphère. Elles sont obtenues par les mesures effectuées par la télédétection.



Source : Spaceimaging

Fig III.13: Image satellitaire de la baie d'El Djamila (2006)

# Chapitre IV : Application du logiciel SDDS

## Introduction

Dans cette étude, nous avons tenté de suivre la variation de la luminance et de la réflectance, en fonction de la profondeur des stations étudiées à travers les différents canaux des satellites SPOT et TM Landsat.

Les calculs de la luminance et de la réflectance nécessitent le développement d'un modèle de simulation du transfert radiatif à travers l'atmosphère dans des conditions réalistes, qui puisse permettre d'évaluer l'importance des effets de l'atmosphère et des conditions de prise de vue sur les images satellitaires.

Pour mener à bien cette étude, nous avons utilisé le logiciel de "Simulation Des Données Satellitaires" SDDS développé en un langage "Visual Basic 4", dont la principale fonction est le calcul de la radiance spectrale réfléchi par la cible au niveau du capteur et la détermination du rayonnement diffus par une masse d'eau.

Les données d'entrée ayant servi à déterminer les différentes radiations au sol, ont été présentées de paramètres astronomiques, géographiques et atmosphériques.



Fig IV.1 : Présentation du logiciel de simulation des données satellitaires

**IV.1- Application du logiciel « SDDS »**

Pour déterminer les différentes radiations au sol, les données d'entrées sont des paramètres astronomiques, géographiques et atmosphériques.

- **Données astronomiques :**

- \* **Le jour :** valeur entre 1 pour le 1<sup>er</sup> 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
- \* **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.

On regroupe les données ci-dessus dans le tableau suivant :

**Tab IV.1 : Paramètres astronomiques et atmosphériques d'entrée**

<b>Paramètres atmosphériques</b>	
Ozone Cm	0.30
Humidité relative %	80
Température K	T°C+273
Visibilité Km	20
Altitude de l'ozone	200
Alpha ( $\alpha$ )	1.5
Fc	0.9
$\omega_0$	0.9

<b>Paramètres astronomiques</b>	
Jour	176
Heure	11.26.00
Latitude	36°.45.75
Longitude	3°.09.13
$\beta_0$	0
$\theta_v$	10°
$\phi$	30°
$\psi$	60°

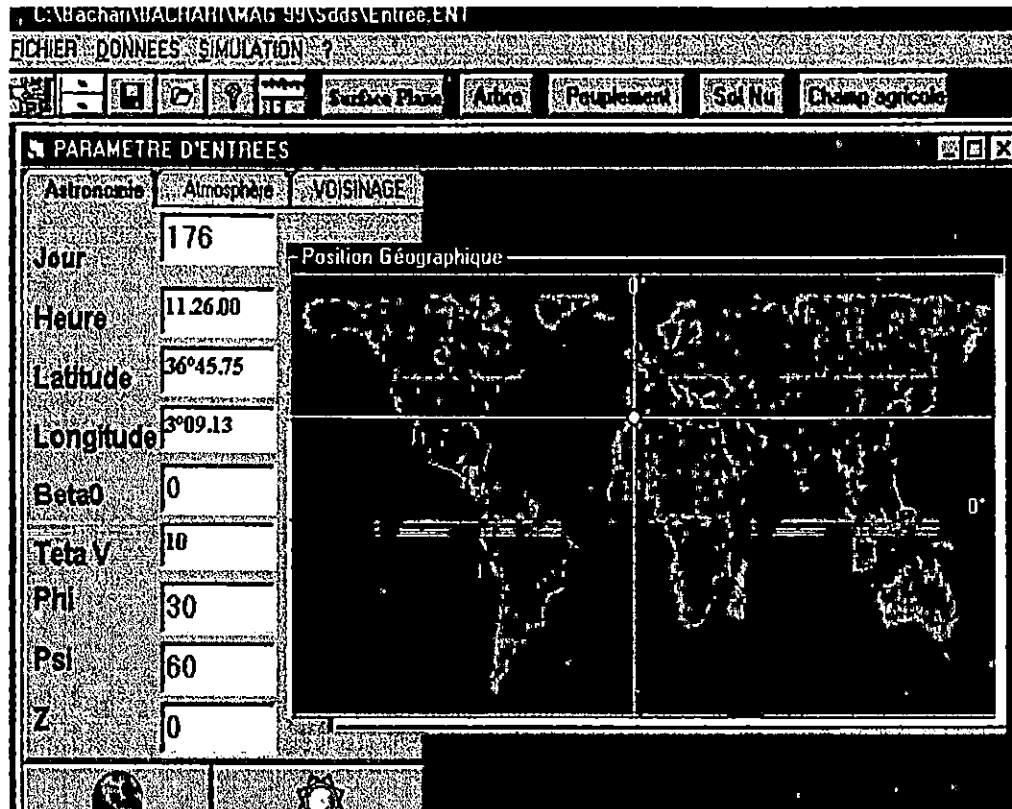


Fig IV.2 : Application des données d'entrée au logiciel SDDS.

## IV.2. Analyse de la variation de la luminance

La quantité physique mesurée par le système de prise de vue (capteur) qui est un rayonnement solaire réfléchi par le système sol-atmosphère moyenne d'une certaine façon dans la bande spectrale considérée du capteur dépendent des conditions angulaires d'éclairement, de prise de vue, de la profondeur, de la nature du fond et de la qualité de l'eau.

Les images multi-bandes des capteurs TM, MSS et SPOT, dont la partie visible du spectre (400 à 700 nm), sont surtout visées par nos travaux.

### IV.2.1. Effet de l'angle zénithal d'observation

L'angle zénithal d'observation détermine la longueur du trajet atmosphérique effectuer par le rayonnement. Les résultats de la simulation montre que la radiation captée devient faible si l'angle d'observation tend vers une position horizontale.

La croissance de l'angle zénithal d'observation a pour conséquence une augmentation de la masse atmosphérique, donc une diminution de transmittance. Dans le cas de surface a signature spectrale faible comme l'eau, le bruit atmosphérique devient important devant le rayonnement réfléchi si l'angle d'observation croit vers une position horizontale, la contribution atmosphérique augmente, en conséquence la luminance au niveau du capteur augmente.

La luminance atteint son maximum a un angle zénithal d'observation de  $[60^{\circ}.70^{\circ}]$  puis commence à diminuer si  $\theta_v$  diverge de  $70^{\circ}$  (Fig V.3).

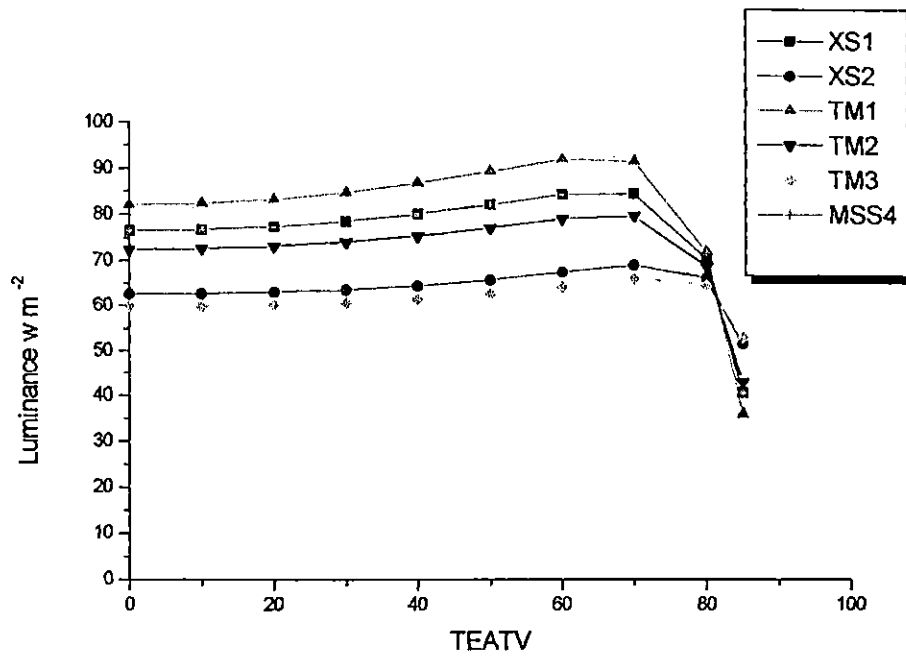


Fig IV.3 : L'effet de l'angle zénithal d'observation sur la luminance

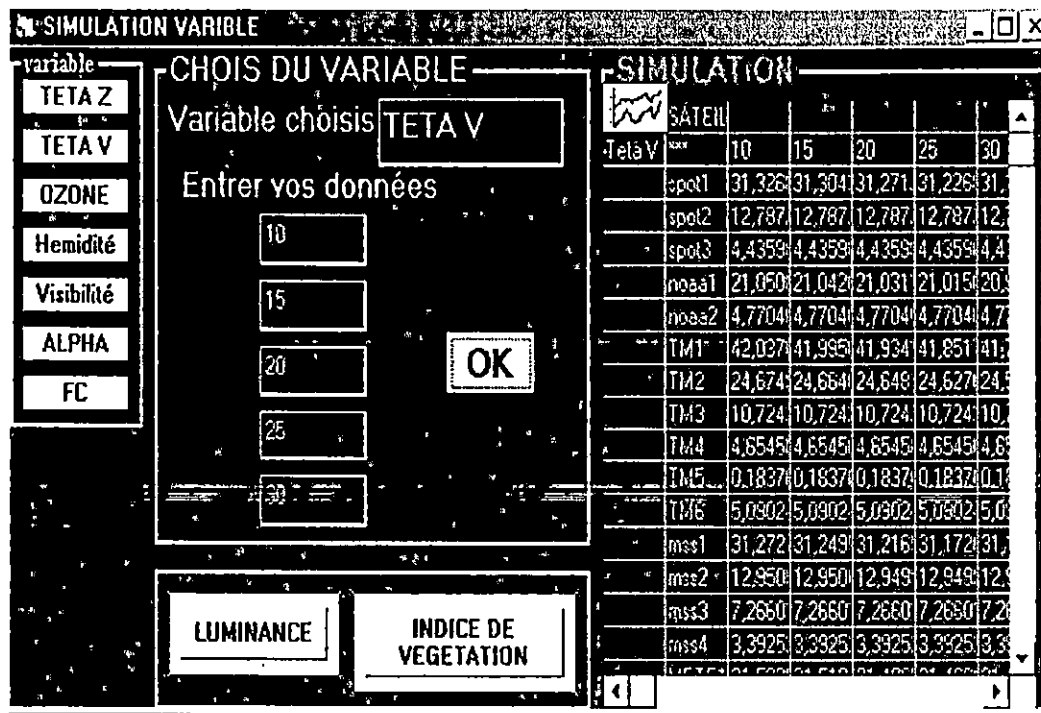


Fig IV.4 : Données de la luminance en fonction de l'angle Zénithal

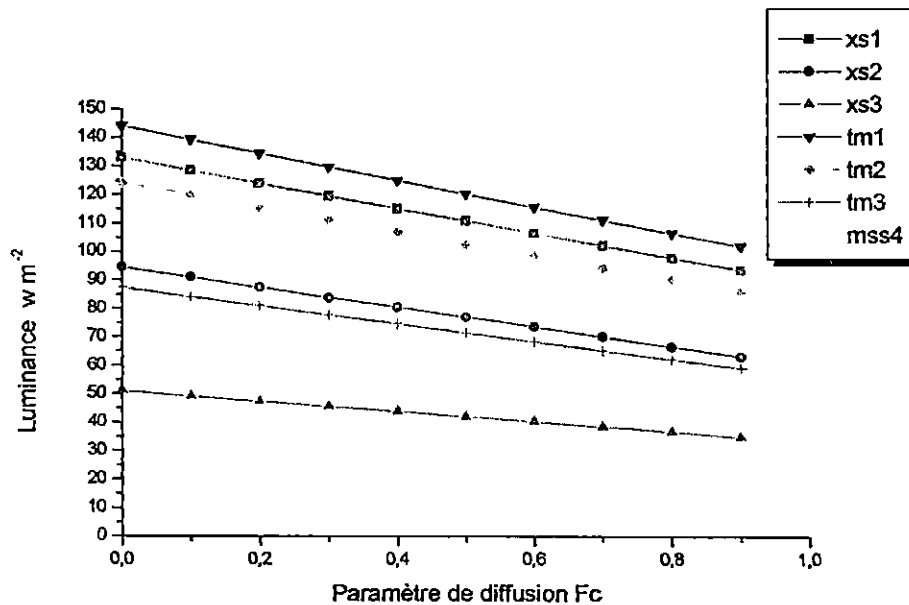


Fig IV.5 : Variation spectrale de la luminance sur les canaux des satellites SPOT, LANDSAT et TM

#### IV.2.2 Effet de la profondeur

Les capteurs permettent de mesurer la radiométrie c'est-à-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.

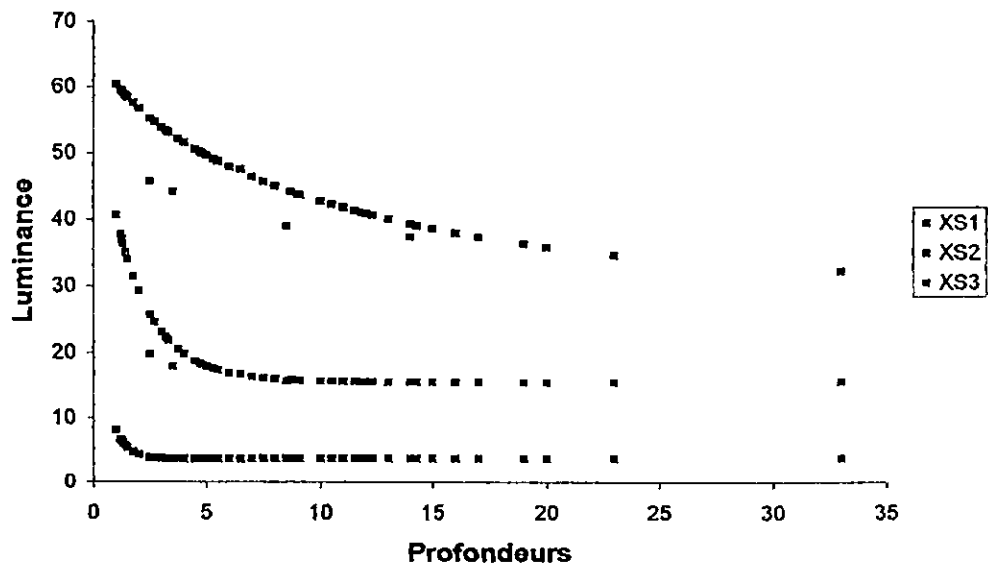


Fig IV.6 : Variation de la luminance en fonction de la profondeur pour le satellite SPOT à une visibilité de 10km.

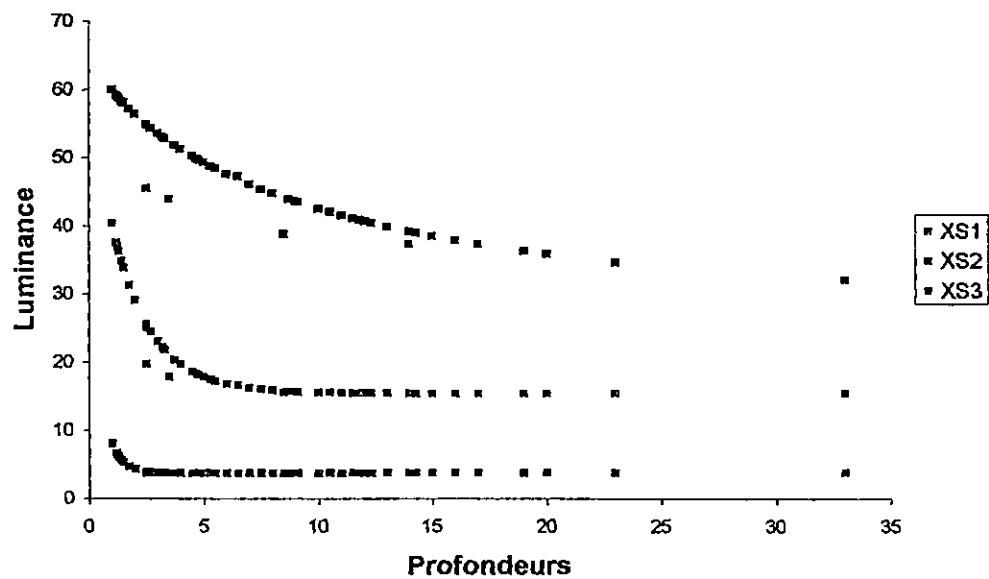


Fig IV.7 : Variation de la luminance en fonction de la profondeur pour le satellite SPOT à une visibilité de 25km.

Sur les courbes on peut remarquer que plus la profondeur est grande, plus le rayonnement est absorbé et plus le niveau de radiométrie est faible. La résolution spectrale permet d'observer dans les eaux claires des objets jusqu'à des profondeurs de l'ordre de 17 à 21m sur le canal XS1, et jusqu'à des fonds de 4 à 7m sur le canal XS2. Quant au canal XS3, il n'apporte aucune information bathymétrique puisque l'infrarouge est absorbé par l'eau (Fig IV.6 et IV.7).

### IV.2.3 Effet du fond sur le rayonnement incident

En général, pour différents types de fonds, la signature spectrale du fond varie. Dans le cas particulier où le type de fond est à végétation, le sable n'affecte pas le signal mesuré au niveau du capteur.

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 (Fig IV.8 et IV.9).

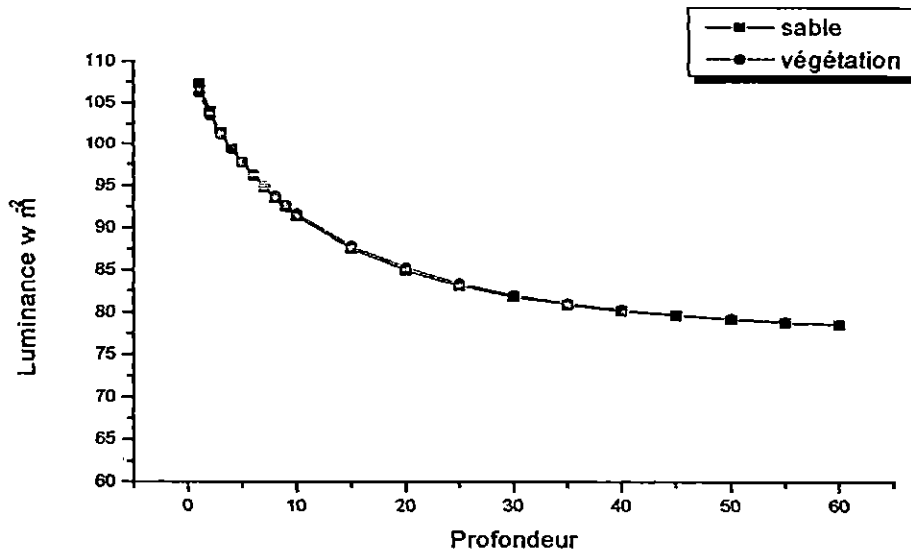


Fig IV.8 : Variation de la radiation en fonction du type de fond de l'eau dans le canal (XS1)

Si le fond est proche, sa réflectance est perceptible à la surface et il modifie la couleur de l'eau. S'il est à une profondeur trop importante, il reçoit une quantité de lumière trop faible et sa réflectance n'est pas assez intense pour entraîner des modifications perceptibles.

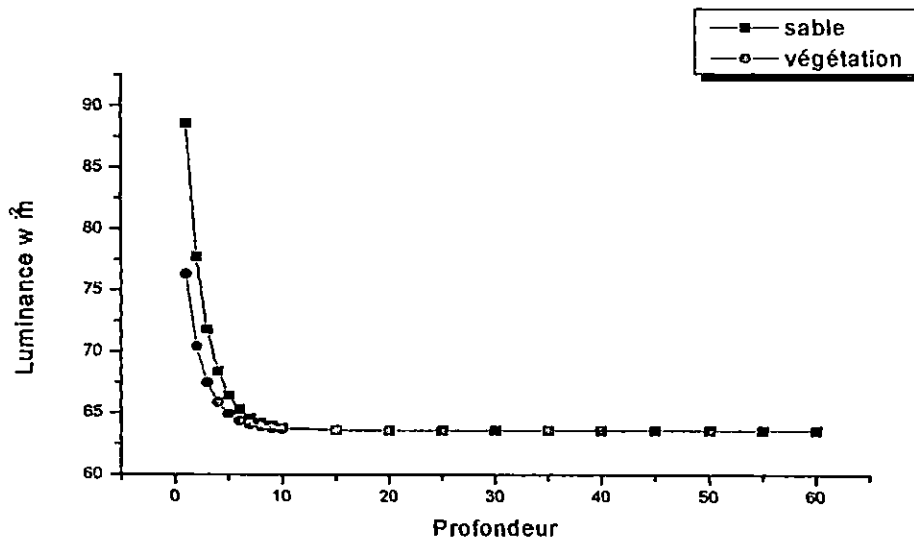


Fig IV.9 : Variation de la radiation en fonction du type de fond de l'eau dans le canal (XS2)

**IV.3. Conversion en réflectance des données satellitaires brutes**

L'étalonnage des comptes numériques en réflectance de l'ensemble terre + atmosphère est effectué selon la méthode proposée par le guide des utilisateurs Spot. Il est obtenu par une transformation linéaire de comptes numériques en luminances :

**L** : luminance en  $W/m^2/sr$

**Cn** : le compte numérique

**G** : le gain d'étalonnage absolu du capteur

$$L = Cn/G$$

Chaque pixel d'une image représente un compte numérique entre 0 et 255 qui se traduit en une couleur à l'aide d'une distribution présélectionnée modifiable en traitement d'image. Pour une application dans des images, il est donc nécessaire de pouvoir transformer des valeurs de luminance en compte numérique.

Pour un canal Spot le compte numérique est donnée par la formule suivante :

$$CN_{XS1} = 0.536 \cdot L_{XS1}$$

$$CN_{XS2} = 0.388 \cdot L_{XS2}$$

$$CN_{XS3} = 0.589 \cdot L_{XS3}$$

Les valeurs nécessaires pour le calcul de la réflectance sont données dans le tableau suivant :

On obtient ainsi le tableau ci-dessous pour chaque canal une relation linéaire entre le compte numérique et la réflectance (Figure IV-10) pour le cas de la mer nous avons pris la moyenne des CN pour chaque canal :

Pour le calcul de la réflectance, les relations de conversion sont regroupées dans le tableau suivant :

**Tab IV.2** : Réflectance en fonction du compte numérique dans les différents canaux du satellite SPOT

	Réflectance	
XS1	$R = CN \times 0.00319$	$R_{CN=47} = 0.1498$
XS2	$R = CN \times 0.00460$	$R_{CN=32} = 0.1481$
XS3	$R = CN \times 0.005221$	$R_{CN=22} = 0.1149$

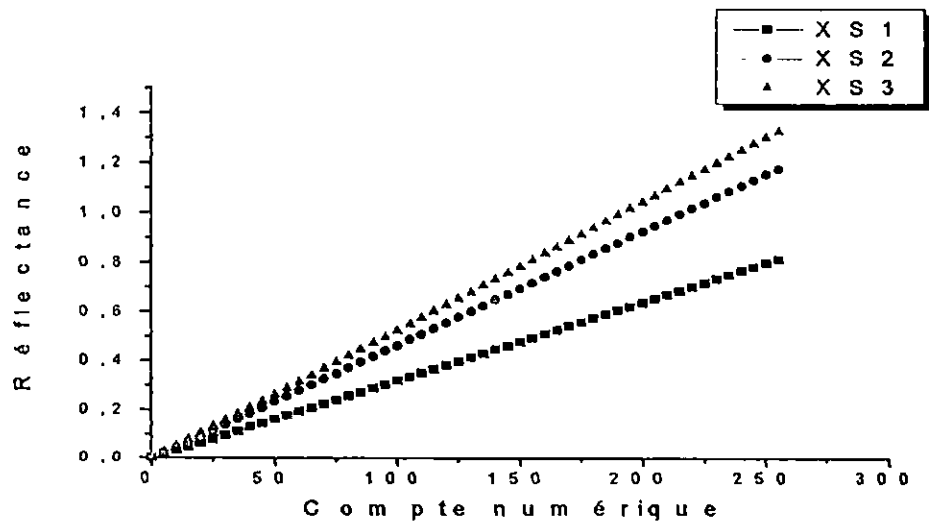


Fig IV.10 : Relation linéaire d'étalonnage en réflectance

### IV. 3.1 Analyse corrélative et application

L'analyse s'effectue selon deux étapes :

- 1- **Recherche et ajustement** des fonctions représentatives, on effectuant une série d'observations simultanées afin d'obtenir un ensemble de couples de mesures comportant chacun, une valeur de la radiance dans un canal donné (réflectance  $R_{\text{ref}}$ ) et une valeur de la profondeur ( $Z$ ).
- 2- **Un développement mathématique**, afin d'estimer la qualité des données par différentes méthodes, dont on cite la méthode de regression, nous avons établie l'existence d'une liaison statistique entre les valeurs des paramètres climatiques, en calculant les coefficients de corrélation.

L'ensemble des résultats expérimentaux et des données satellitaire recueillis dans les différentes stations sont stockées dans une base de données en format xls. Ce format universel est lu par tous les logiciels professionnels tels que le MAPINFO, SURFER et STATISTICA.

En vue de procéder à une analyse statistique et à l'extraction d'image bathymétrique, nous avons réalisé une matrice de corrélation entre paramètres mesurés et données satellitaires.

#### 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 d'une variable en fonction des valeurs d'une autre variable.

- $r$  proche de zéro indique que  $x$  et  $y$  sont peu liées ;
- $r$  proche de 1 indique que  $x$  et  $y$  sont fortement liées linéairement en sens directe, c'est-à-dire qu'une augmentation de  $x$  tend à produire une diminution de  $y$  ;
- $r$  proche de -1 indique que  $x$  et  $y$  sont fortement liées linéairement en sens contraire, c'est-à-dire qu'une augmentation de  $x$  tend à produire une diminution de  $y$ .

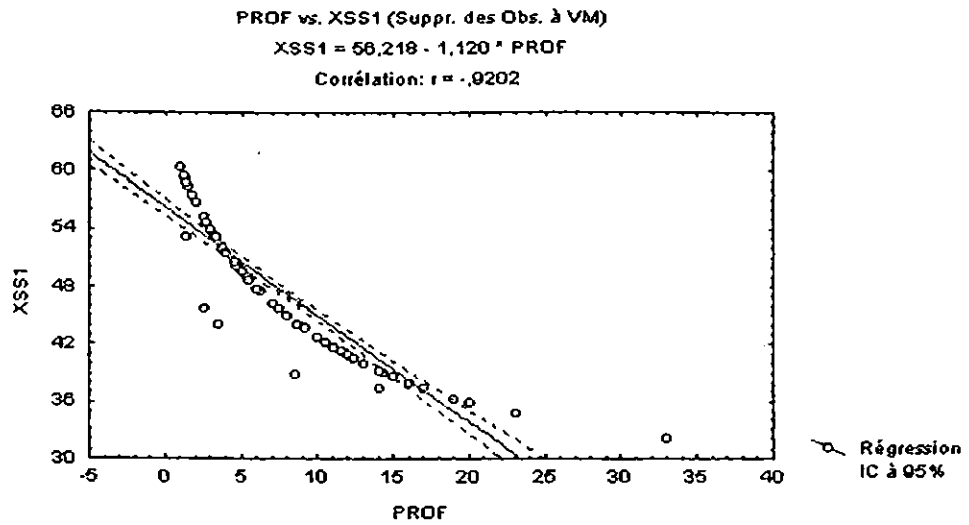


Fig IV.11 : Courbe de corrélation de la profondeur à XS1 (visibilité 10 km)

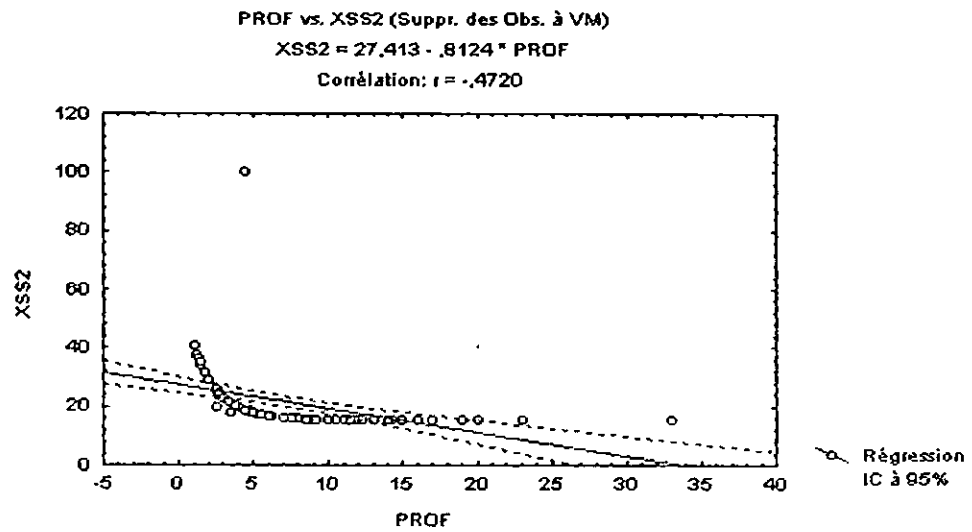


Fig IV.12 : Courbe de corrélation de la profondeur à XS2 (visibilité 10 km)

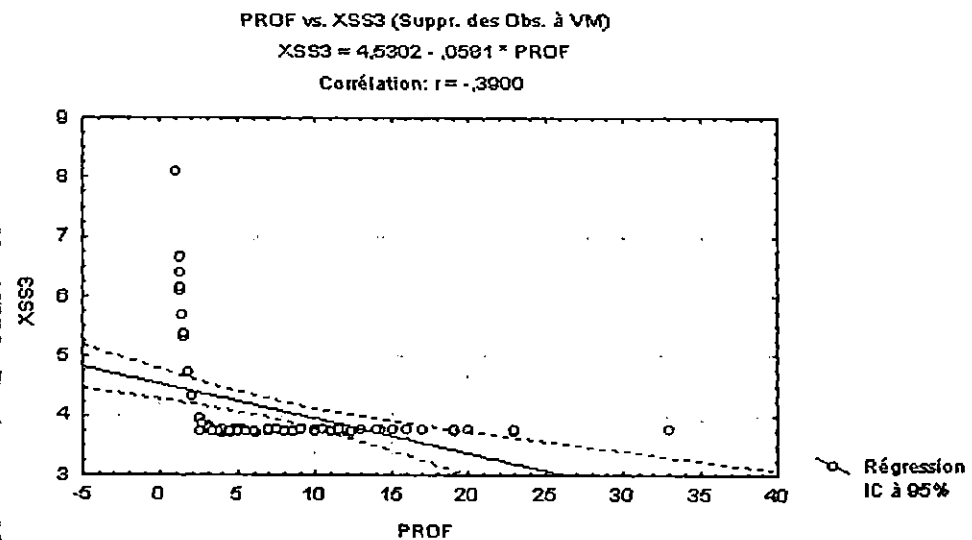
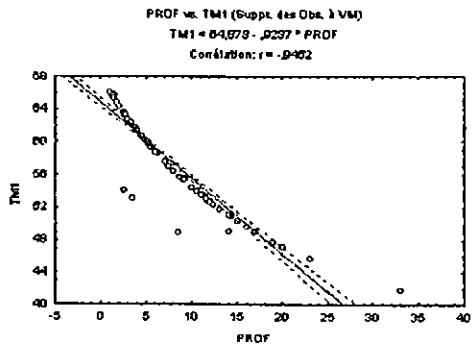
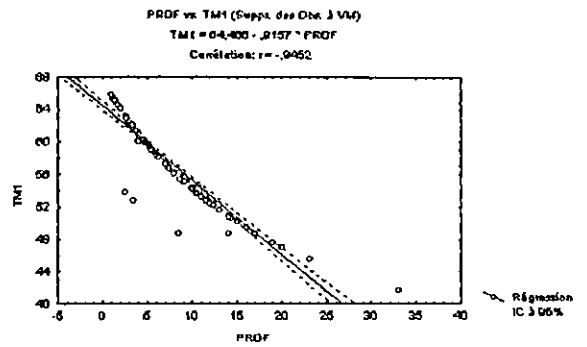


Fig IV.13 : Courbe de corrélation de la profondeur à XS3 (visibilité 10 km)

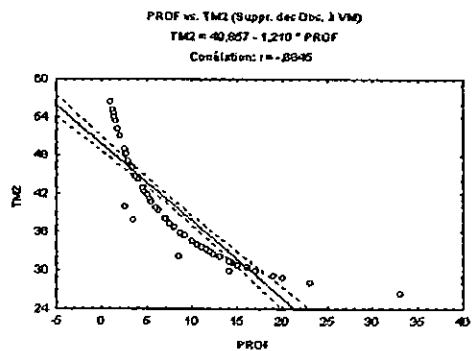
**Courbes de corrélation de la profondeur aux canaux TM 1,2,3,4,5 et 6 du satellite Landsat**



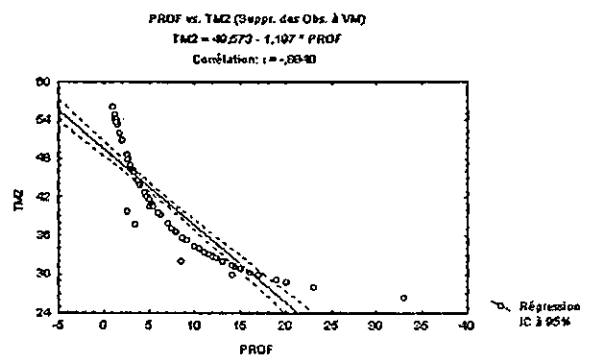
Visibilité 10km



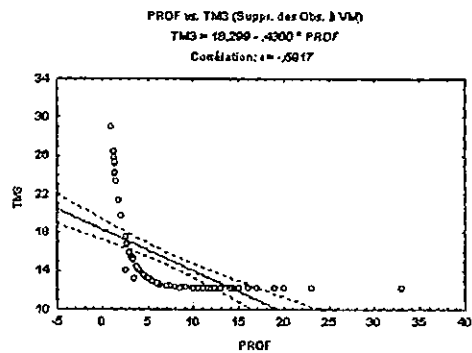
Visibilité 25km



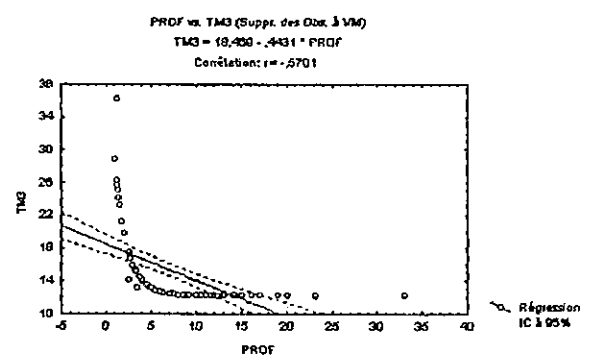
Visibilité 10km



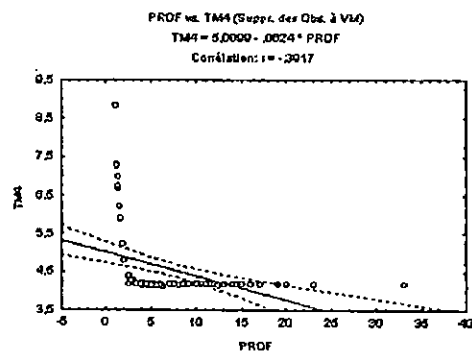
Visibilité 25km



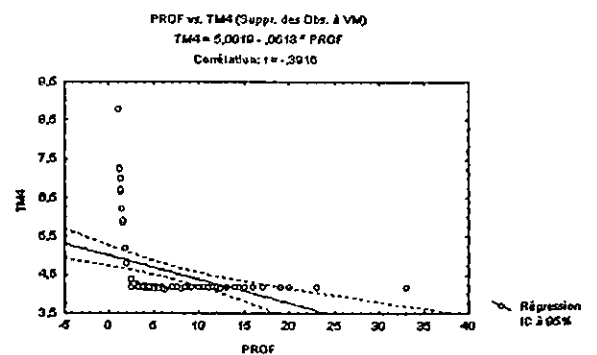
Visibilité 10km



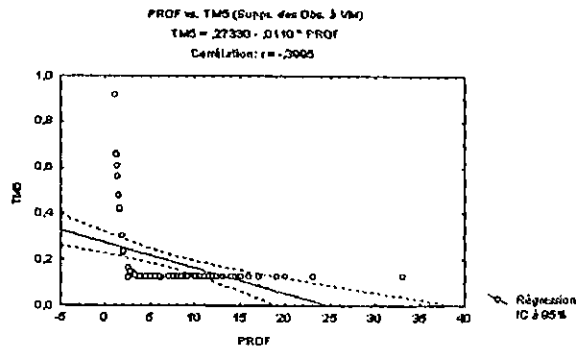
Visibilité 25km



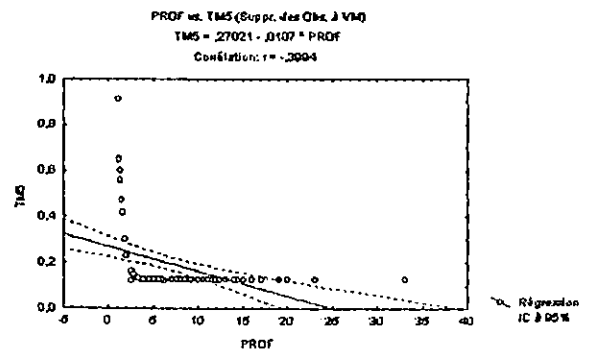
Visibilité 10km



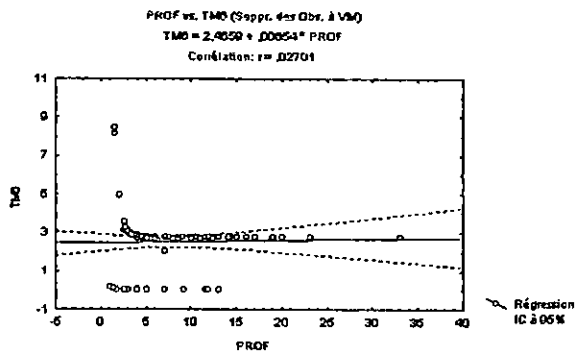
Visibilité 25km



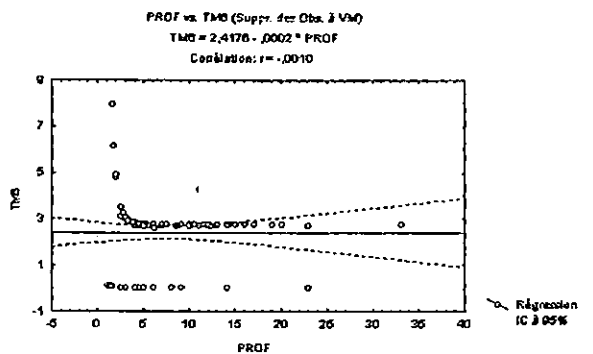
Visibilité 10km



Visibilité 25km



Visibilité 10km



Visibilité 25km

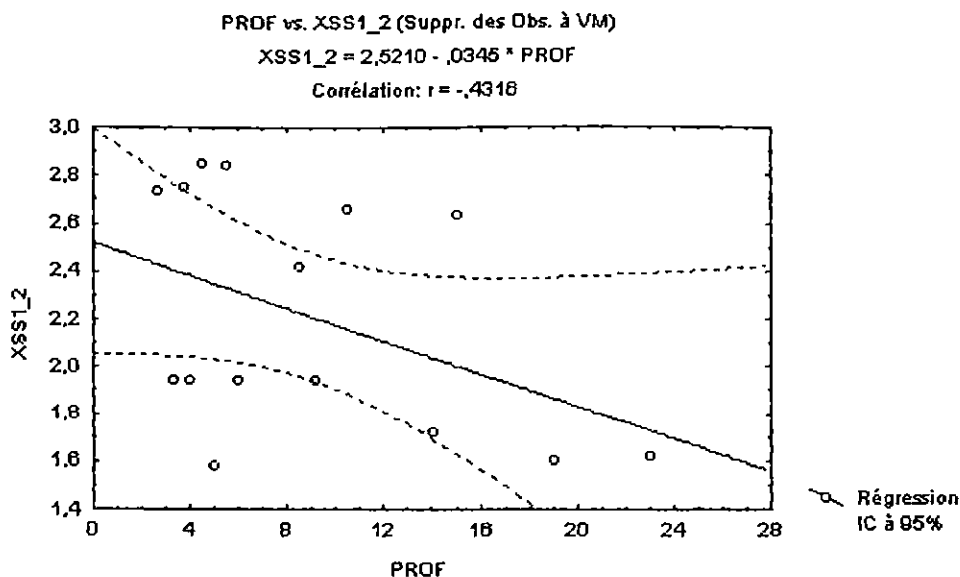


Fig IV.14 : Courbe de corrélation de la profondeur à XS1/XS2 (visibilité 10 km)

Tab IV.3 : Résultats des analyses corrélatives

Visibilité	Fonctions	Droite d'ajustement Régression linéaire	Coefficient de corrélation
10km	Réf (XS1)=f (prof)	$XS1=56,218-1,120*Prof$	$R=-0,9202$
	Réf (XS2)=f (prof)	$XS2=27,413-0,8124*Prof$	$R=0,4720$
	Réf (XS3)=f (prof)	$XS3=4,5302-0,0581*Prof$	$R=0,3900$
	Réf (TM1)=f (prof)	$TM1=64,878-0,9267*Prof$	$R=0,9452$
	Réf (TM2)=f (prof)	$TM2=49,857-1,210*Prof$	$R=0,8845$
	Réf (TM3)=f (prof)	$TM3=18,299-0,4300*Prof$	$R=0,5917$
	Réf (TM4)=f (prof)	$TM4=5,0099-0,0624*Prof$	$R=0,3917$
	Réf (TM5)=f (prof)	$TM5=0,27330-0,011*Prof$	$R=0,3995$
	Réf (TM6)=f (prof)	$TM6=2,4559-0,0065*Prof$	$R=0,02701$
	Réf (MSS1)=f (prof)	$MSS1=50,047+0,1750*Prof$	$R=0,1429$
	Réf (MSS2)=f (prof)	$MSS2=20,480+0,4595*Prof$	$R=0,3506$
	Réf (MSS3)=f (prof)	$MSS3=6,8149+0,09908Prof$	$R=0,473$
	Réf (MSS4)=f (prof)	$MSS4=2,4052+0,0538*Prof$	$R=0,48106$
	Réf (XS1/XS2)=f (prof)	$XS1/XS2=2,521-0,034*Prof$	$R=0,4316$
25km	Réf (XS1)=f (prof)	$XS1=55,432-0,9667*Prof$	$R=0,6643$
	Réf (XS2)=f (prof)	$XS2=27,479-0,8326*Prof$	$R=0,4953$
	Réf (XS3)=f (prof)	$XS3=4,5234-0,3895*Prof$	$R=0,3895$
	Réf (TM1)=f (prof)	$TM1=64,466-0,9157*Prof$	$R=0,9452$
	Réf (TM2)=f (prof)	$TM2=49,573-1,197*Prof$	$R=0,8840$
	Réf (TM3)=f (prof)	$TM3=18,469-0,4431*Prof$	$R=0,8840$
	Réf (TM4)=f (prof)	$TM4=5,0019-0,0618*Prof$	$R=0,3916$
	Réf (TM5)=f (prof)	$TM5=0,27021-0,0107*Prof$	$R=0,3994$
	Réf (TM6)=f (prof)	$TM6=2,4176-0,0002*Prof$	$R=0,0010$
	Réf (MSS1)=f (prof)	$MSS1=49,796+0,17316*Prof$	$R=0,14296$
	Réf (MSS2)=f (prof)	$MSS2=20,439+0,45593*Prof$	$R=0,35063$
	Réf (MSS3)=f (prof)	$MSS3=6,8145+0,09795*Prof$	$R=0,47375$
	Réf (MSS4)=f (prof)	$MSS4=2,4057+0,05325*Prof$	$R=0,48115$
	Réf (XS1/XS2)=f (prof)	$XS1=55,432-0,9667*Prof$	$R=0,6643$

#### IV.4 Interprétation des résultats d'analyse :

Cette partie du travail avait pour objectif d'une analyse corrélatrice entre les réflectance calculées à partir des images, les mesures in-situ et les résultats des analyses au niveau du laboratoire.

Les résultats de l'analyse corrélatrice montrent que :

L'ajustement linéaire procure les meilleurs résultats sur les premiers canaux des satellites.

En comparant entre les coefficients de corrélation, on identifie le domaine adéquat du spectre électromagnétique nécessaire à fin de déterminer la bathymétrie.

Cependant, il semble que la corrélation est meilleur pour XS1 que pour XS2 et XS3 ceci pour le satellite SPOT HRV (Fig IV.11, 12 et 13).

LANDSAT, TM donne une forte liaison sur les deux premiers canaux tandis que le capteur MSS4 il présente à lui seul le canal adéquat pour notre application.

L'ensemble des corrélations ont été effectuées en utilisant le logiciel «STATISTICA», destiné à interpréter les résultats sous formes graphiques et matricielles.

A partir des résultats obtenus, nous constatons que les bandes spectrales XS1, TM1, TM2 et MSS4 fournissent les meilleurs coefficients de corrélation avec des réflectances correspondantes Réf (XS1), Réf (TM1), Réf (TM2) et Réf (MSS4). Voir (Tab IV.3) ; elles sont donc les mieux adaptées pour déterminer la bathymétrie.

#### Corrélation exponentielle, logarithmique et polynomiale :

Nous avons réalisé une série de corrélations à savoir, exponentielle, logarithmique et polynomiale et toutes ces dernières nous définissent une parfaite corrélation de la réflectance en fonction de la profondeur. fig (IV.15, IV.16, IV.17)

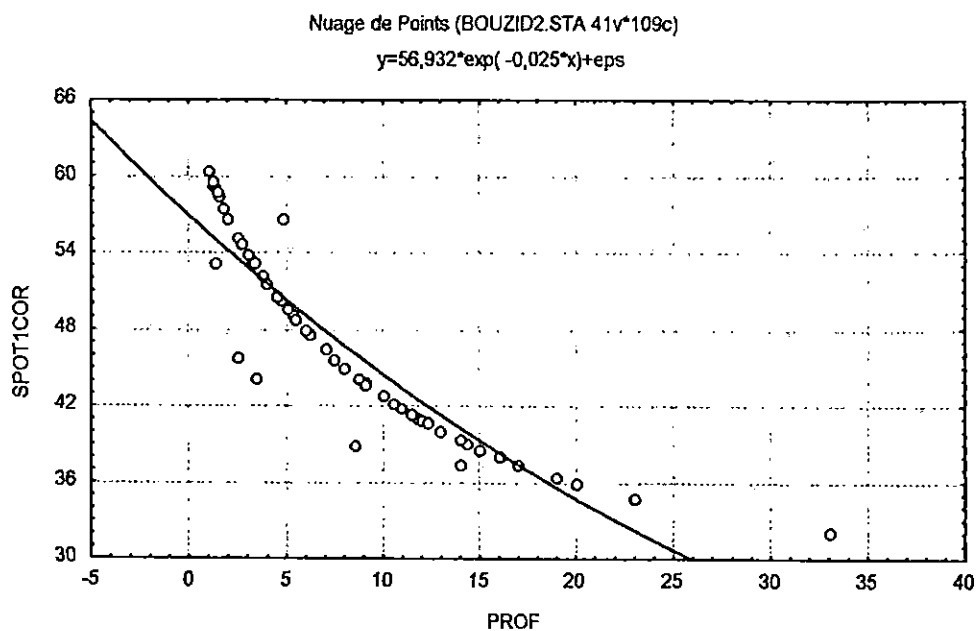
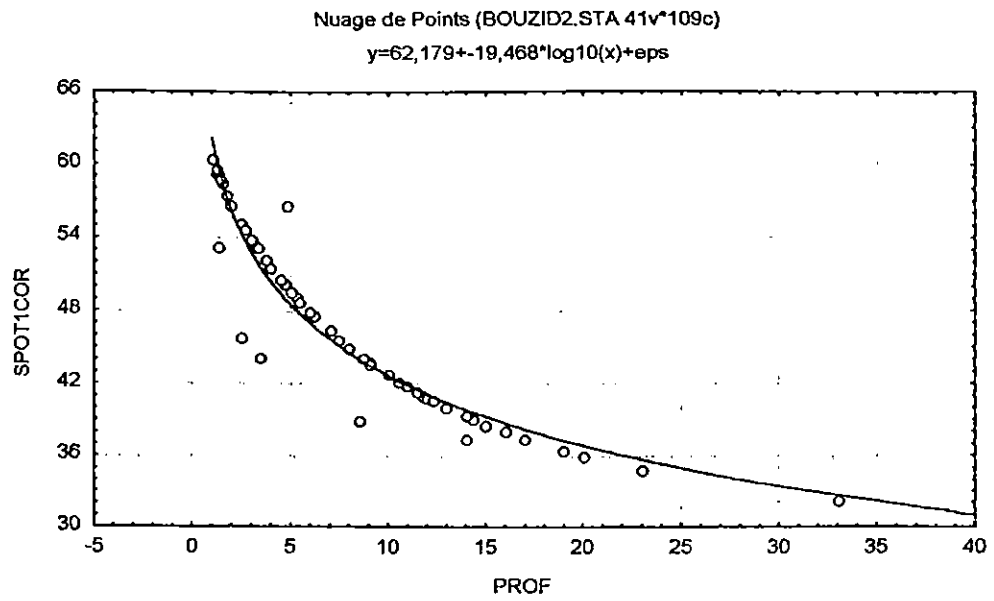
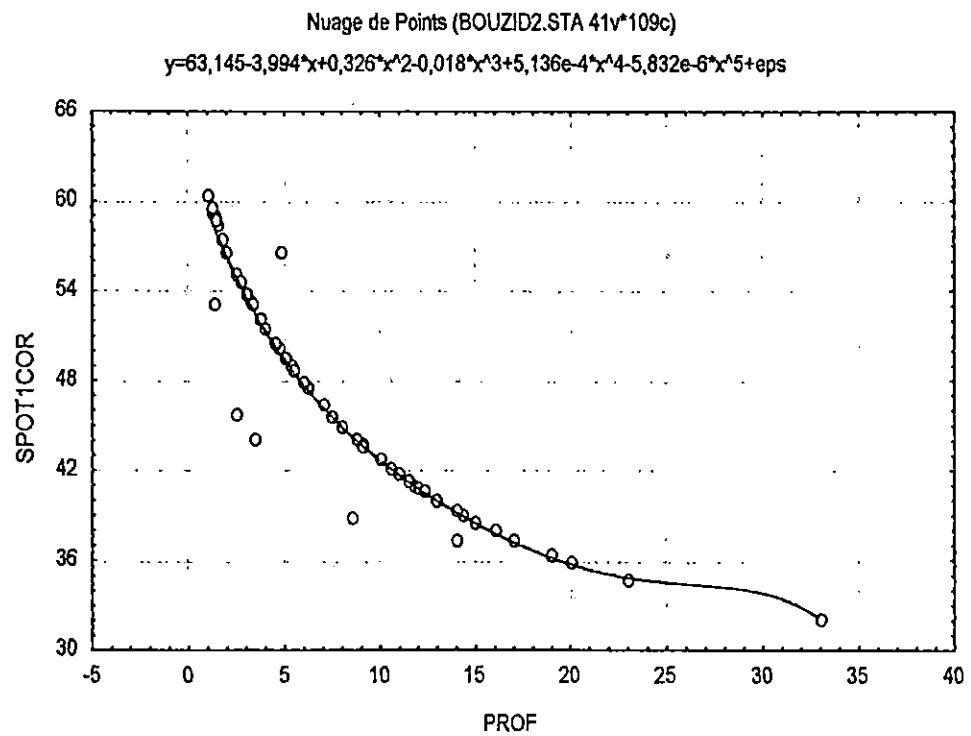


Fig IV.15 : Courbe de corrélation exponentielle de la profondeur à XS1



**Fig IV.16 :** Courbe de corrélation logarithmique de la profondeur à XS1



**Fig IV.17 :** Courbe de corrélation polynomiale de la profondeur à XS1

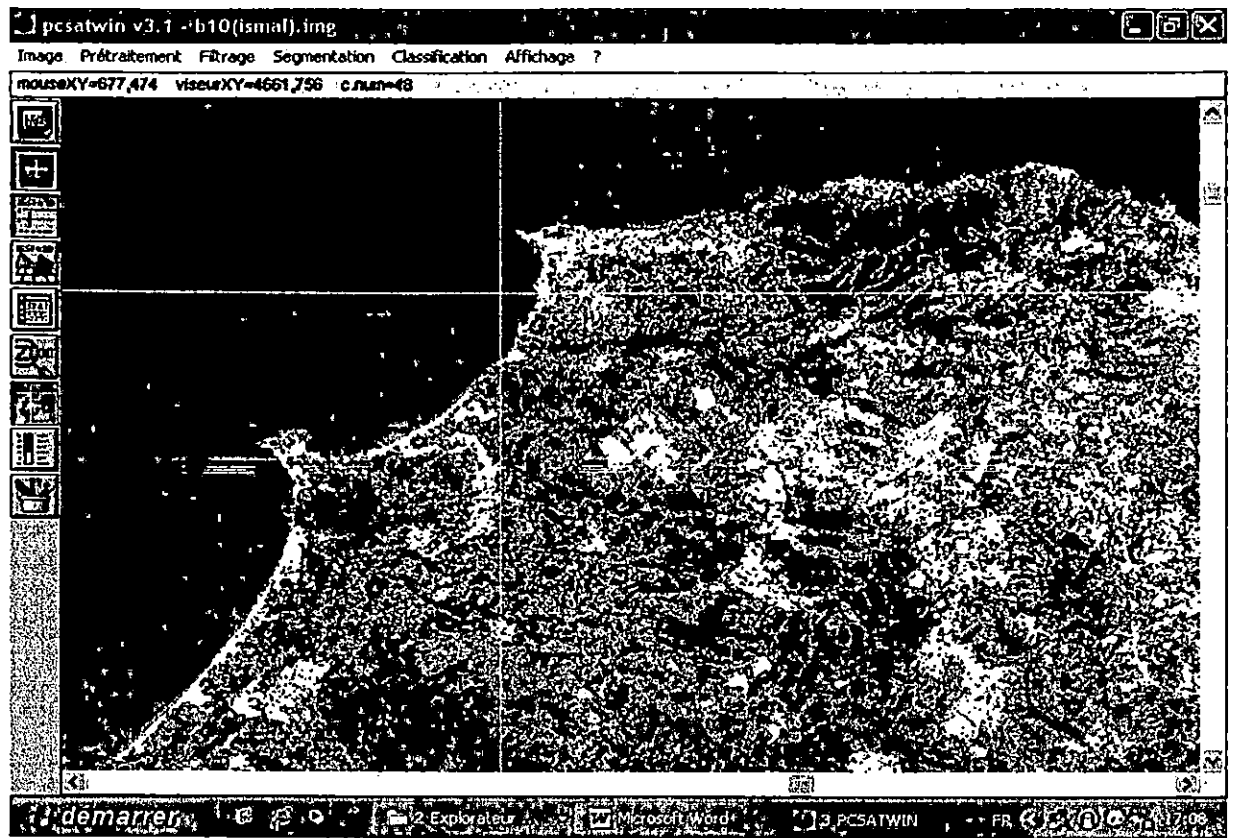


Fig IV.18 : Image satellitaire de Landsat TM1 traitée

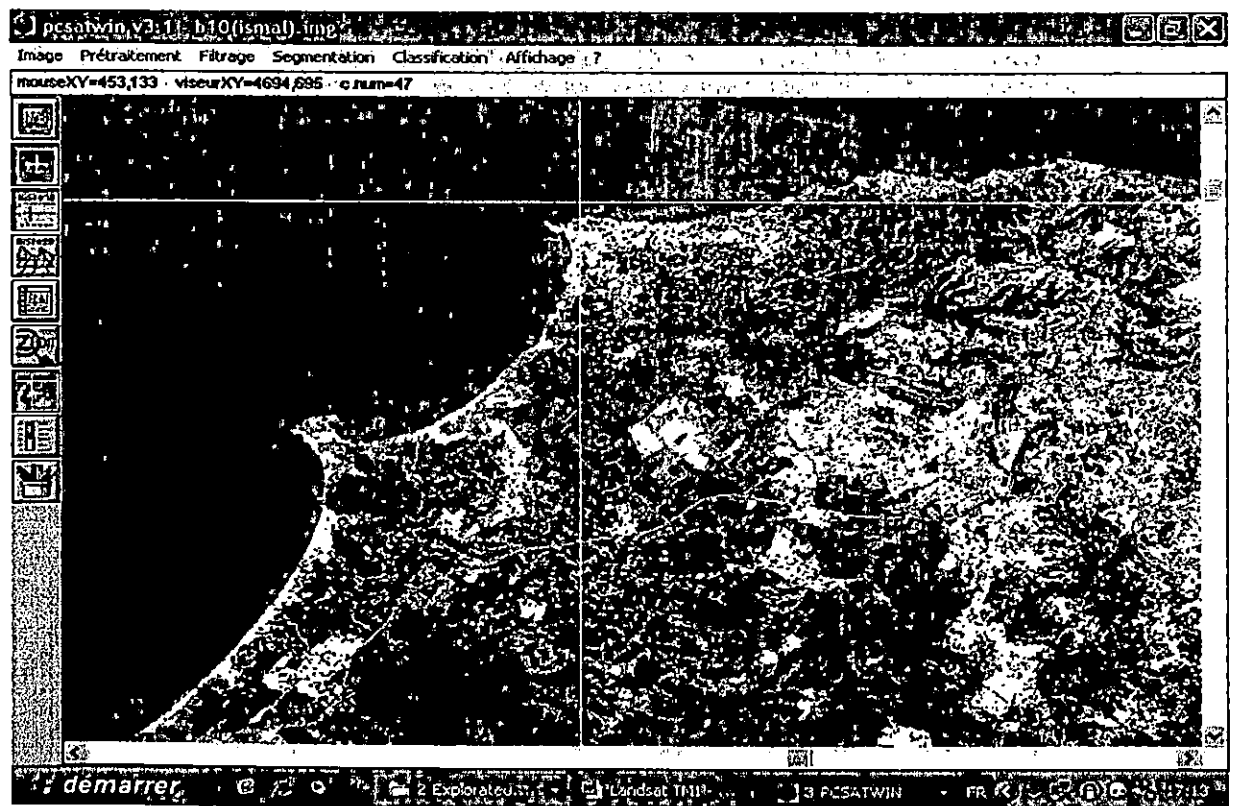


Fig IV.19 : Image satellitaire de Landsat TM2 traitée

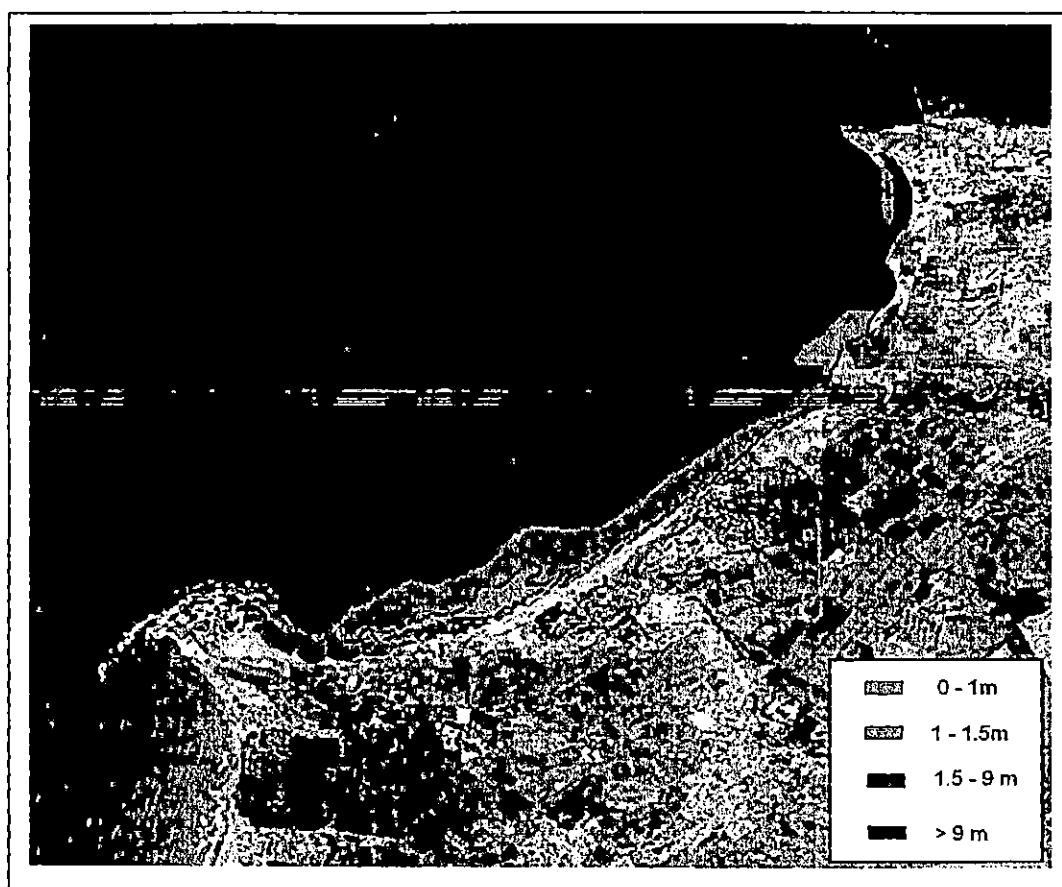


Fig IV.20 : Bathymétrie de la baie d'El Djamila à partir d'image de Landsat TMI traitée  
(Bouزيد. L et Nehad. M ; 2006)

### Interprétation

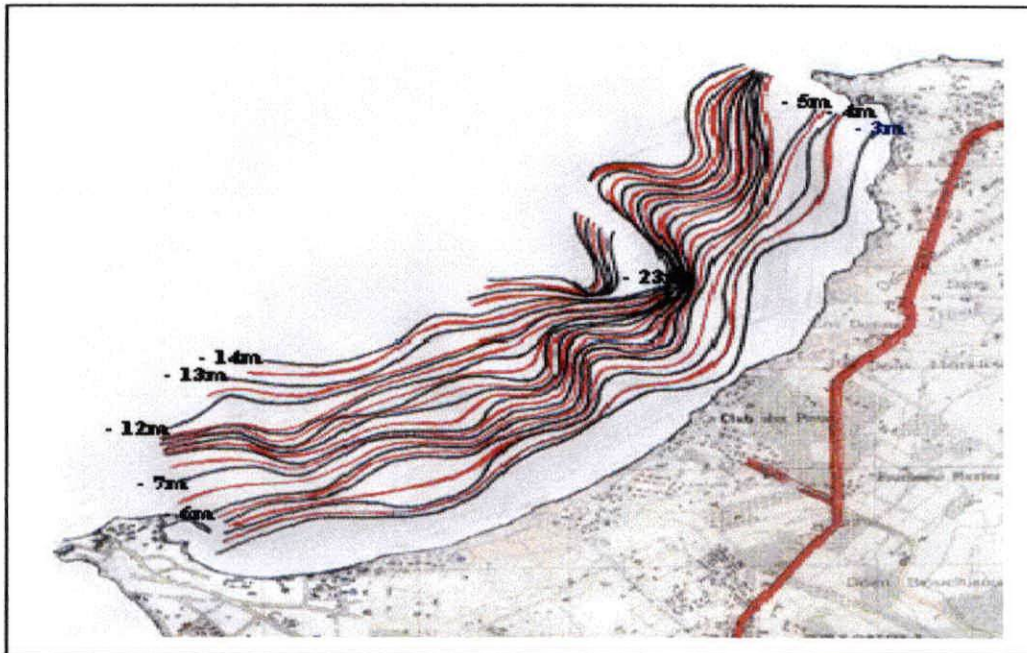
Des légers replats le long de la côte avec une bathymétrie qui ne dépasse pas 1,5 à 2m. Prés des caps à savoir ; Ras Acrata et Sidi Fredj, la profondeur atteint les 4 à 5m, au-delà la profondeur est supérieur à 5m.

L'image satellitaire traitée et après déigitalisation nous montre une répartition similaire des profondeurs effectuées sur terrain avec plus de précision.

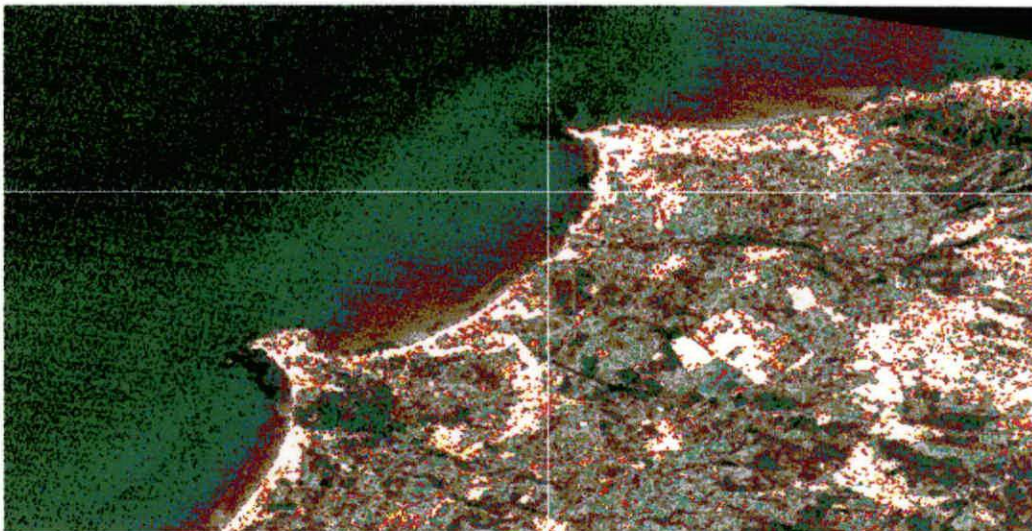
En effet des petites profondeurs inférieures à un mètre sont rencontrées au niveau de la plage de Moretti et l'embouchure de Béni Messous.

- Les profondeurs varient entre 1 et 1,5 m sont rencontrée dans les trois quart Ouest de la côte.
- Les profondeurs entre 1,5 et 9m sont surtout rencontrées dans la partie centre Ouest en partant du port de Sidi Fredj.

En définitif le logiciel SDDS "Simulation Des Données Satellitaire" utilisé pour l'étude de la bathymétrie fine ce révèle d'une grande exactitude puisque des détails non perçu sur terrain apparaissent sur l'image traitée.



Levé bathymétrique à partir des données in situ



Levé bathymétrique à partir d'image satellitaire traitée



Levé bathymétrique à partir du logiciel

## Conclusion

La détermination de la bathymétrie par télédétection exige utilisation de plusieurs canaux sachant que le rayonnement bleu pénètre profondément dans l'eau, le vert moins, le rouge encore moins, jusqu'à l'absorption totale dans le proche infrarouge.

Il existe de nombreux paramètres qui influencent la mesure tel que : la longueur d'onde, la turbidité de l'eau, la réflectance du fond, le coefficient d'atténuation dans l'eau de mer, les effets atmosphériques et la résolution des capteurs.

La simulation nous montre qu'il est possible de déterminer la profondeur des eaux peu profonde et que les canaux XS1 de SPOT, TM1 et TM2 de LANDSAT et MSS4 qui utilise la partie visible du spectre sont les plus performant pour la détermination des profondeurs qui ne dépasse pas les 25m.

C'est pourquoi on nous aidant du logiciel de simulation des données satellitaires SDDS et en nous basant sur les mesures de luminance et de réflectance effectuées à partir des satellites, nous avons pu établir une carte bathymétrique de la baie, plus complète et plus précise, comparée à celle basée uniquement sur des données in situ, dans la mesure où celles-ci ont nécessité des interpolations inhérentes à l'éloignement relatif des stations, accroissant ainsi les risques d'erreur dans les interprétations.

En outre ; nos travaux nous ont permit de nous familiariser avec le matériels informatique, notamment les logiciels MAPINFO, SURFER, et STATISTICA aussi que les méthodes de travail spécifique à la télédétection : étude par simulation, analyse corrélative et statistique (courbes de corrélation logarithmique et exponentielle et polynomiale) et autre.

# Bibliographie

- **AIT KACI. D et PAUC. H ; 1981** : "La couverture sédimentaire récente en Baie de Bou Ismail Nature et structure". *XXII congrès C.I.E.S.M.*
- **Aminot ; 1983** : Chimie de l'eau de mer
- **BAKIR. M ; 1987** : "La dynamique sédimentaire dans la baie d'El Djamila (Baie de Bou Ismail)". *mémoire d'ingénieur d'état en géologie marine USTHB.*
- **BONNF ; 1996** : "Précis de télédétection", volume 2 application thématique *La presse de l'université des Quebee .p 410*
- **BELLAHCENE.Y et MESSAOUDI, .S ; 2005** : "Etude bathymétrique sédimentologique et pollution par les métaux lourds de la baie d'El Djamila" *mémoire d'ingénieur d'état en Aménagement.*
- **BOUZIDI. L et ZENNADI. A ; 2004** : "Apport de la télédétection pour l'étude de la baie d'Alger" *mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur.*
- **CHAFIA .F ; 2002** : "Approche sédimentaire de la zone portuaire de Sidi Fredj : problèmes de l'envasement de la passe d'entrée du port de plaisance" *mémoire d'ingénieur d'état en géologie marine USTHB.*
- **DOU DOU.S ; 1994** : "Contribution à l'étude de la qualité chimique des sédiments du port de Sidi Fredj" (*DEUA*)
- **DRIDI. K et MEZIANI. S ; 2003** : "Apport de la teledetection pour déterminer la bathymétrie des zones littorales Application baie d'Alger " *Ing Aménagement du Littoral ISMAL*
- **GIRARAD. C et GIRARD. M ; 1989** : "Télédétection appliquée aux zones tempérées et intertropical" *Edition Masson PP 6-9 , 234-256*
- **OLIVON .P** : Premier résultats concernant l'utilisation des données multi spectrales pour l'étude bathymétrique des lagunes méditerranéennes".
- **RIVIERE. A ; 1977** : "Méthode granulométrique, technique et application" p 25, p41.

Stations	10				25			
	MSS 1	MSS 2	MSS 3	MSS4	MSS 1	MSS 2	MSS 3	MSS 4
01	56,576	28,305	7,511	2,737	56,252	28,202	7,503	2,733
02	58,288	32,668	8,727	3,410	57,964	32,530	8,705	3,399
03	56,576	28,305	7,511	2,737	56,252	28,202	7,503	2,733
04	59,243	35,475	9,944	4,107	58,891	35,315	9,909	4,089
05	59,046	34,873	9,651	3,938	58,696	34,718	9,619	3,922
06	56,576	28,309	7,528	2,747	56,252	28,206	7,520	2,743
07	49,731	18,253	6,702	2,367	49,482	18,230	6,702	2,367
08	49,923	18,404	6,705	2,367	49,672	18,379	6,705	2,367
09	45,424	16,170	6,687	2,371	45,223	16,163	6,687	2,371
10	37,322	15,475	6,688	2,374	37,213	15,475	6,688	2,374
11	40,682	15,551	6,689	2,374	40,535	15,550	6,689	2,374
12	41,108	15,571	6,683	2,371	40,956	15,570	6,683	2,371
13	47,625	16,960	6,679	2,363	47,400	16,947	6,679	2,363
14	56,576	28,310	7,531	2,749	56,252	28,207	7,527	2,745
15	59,444	36,096	10,252	4,284	59,089	35,931	10,213	4,264
16	60,283	38,838	11,882	5,231	59,920	38,650	11,825	5,202
17	51,356	19,721	6,709	2,358	51,089	19,686	6,708	2,358
18	49,355	17,973	6,687	2,360	49,110	17,952	6,687	2,360
19	42,517	15,675	6,677	2,367	42,349	15,673	6,677	2,367
20	39,888	15,520	6,688	2,374	39,750	15,519	6,688	2,374
21	39,162	15,500	6,683	2,371	39,032	15,499	6,683	2,371
22	42,517	15,675	6,677	2,367	42,349	15,673	6,677	2,367
23	49,355	17,975	6,694	2,364	49,110	17,954	6,694	2,364
24	51,356	19,723	6,717	2,363	51,089	19,688	6,717	2,363
25	59,444	36,086	10,208	4,255	59,089	35,921	10,169	4,236
26	59,046	34,859	9,595	3,902	58,696	34,704	9,563	3,886
27	53,207	22,021	6,765	2,368	52,920	21,967	6,763	2,367
28	44,775	16,009	6,653	2,353	44,582	16,004	6,653	2,353
29	42,517	15,674	6,671	2,364	42,349	15,672	6,671	2,364
30	38,957	15,496	6,686	2,373	38,829	15,496	6,686	2,373
31	39,162	15,500	6,685	2,373	39,032	15,500	6,685	2,373
32	41,555	15,593	6,661	2,359	41,397	15,592	6,661	2,359
33	46,112	16,366	6,678	2,365	45,904	16,358	6,678	2,365
34	58,288	32,682	8,788	3,449	57,946	32,545	8,766	3,438
35	59,444	36,086	10,211	4,258	59,089	35,921	10,172	4,238
36	60,283	38,837	11,878	5,228	59,920	38,649	11,821	5,198
37	51,356	19,731	6,752	2,383	51,089	19,696	6,752	2,383
38	42,517	15,674	6,673	2,365	42,349	15,672	6,673	2,365
39	40,682	15,544	6,658	2,357	40,535	15,543	6,658	2,357
40	37,886	15,481	6,693	2,377	37,770	15,481	6,693	2,377
41	37,322	15,475	6,688	2,374	37,213	15,475	6,688	2,374
42	40,682	15,545	6,666	2,362	40,535	15,545	6,666	2,362
43	49,355	17,977	6,702	2,369	49,110	17,956	6,702	2,369
44	53,713	22,789	6,836	2,401	53,420	22,730	6,834	2,400
45	51,356	19,718	6,698	2,352	51,089	19,683	6,698	2,352
46	53,713	22,786	6,820	2,392	53,420	22,726	6,819	2,391
47	49,355	17,968	6,665	2,347	49,110	17,947	6,665	2,347
48	42,517	15,670	6,656	2,355	42,349	15,668	6,656	2,355

49	36,319	15,465	6,673	2,365	36,221	15,465	6,673	2,365
50	32,130	15,463	6,692	2,376	32,089	15,463	6,692	2,376
51	35,871	15,468	6,693	2,377	35,779	15,468	6,693	2,377
52	37,886	15,479	6,680	2,370	37,770	15,478	6,680	2,370
53	34,706	15,457	6,655	2,355	34,627	15,457	6,655	2,355
54	49,355	17,970	6,675	2,353	51,089	17,949	6,675	2,353
55	51,356	19,717	6,694	2,349	49,110	19,682	6,693	2,349
56	53,713	22,779	6,793	2,376	53,420	22,720	6,791	2,376
57	51,356	19,709	6,657	2,382	51,089	19,674	6,656	2,328
58	53,713	22,782	6,803	2,382	53,420	22,722	6,802	2,381
59	47,625	16,961	6,683	2,365	47,400	16,948	6,683	2,365
60	43,585	15,803	6,679	2,368	43,405	15,800	6,679	2,368
61	40,682	15,549	6,680	2,370	40,535	15,548	6,680	2,370
62	34,706	15,464	6,685	2,373	34,627	15,464	6,685	2,373
63	40,850	15,556	6,675	2,367	40,701	15,555	6,675	2,367
64	46,112	16,367	6,683	2,366	45,904	16,359	6,679	2,366
65	53,713	22,795	6,679	2,415	53,420	22,735	6,859	2,415
66	55,067	25,125	6,680	2,469	54,760	25,047	6,992	2,467
67	53,713	22,778	6,685	2,374	53,420	22,719	6,787	2,373
68	50,317	18,717	6,675	2,333	50,061	18,690	6,650	2,333
69	43,585	15,805	6,679	2,371	43,405	15,801	6,685	2,371
70	39,162	15,502	6,861	2,376	39,032	15,501	6,692	2,376
71	39,888	15,520	6,995	2,374	39,750	15,520	6,689	2,374
72	48,810	17,615	6,704	2,372	48,572	17,596	6,703	2,372
73	46,112	16,365	6,674	2,363	45,904	16,357	6,673	2,363
74	52,961	21,678	6,773	2,376	52,677	21,627	6,772	2,376
75	53,713	22,781	6,801	2,381	53,420	22,721	6,799	2,380
76	53,713	22,782	6,803	2,382	53,420	22,722	6,802	2,381
77	55,067	25,126	6,996	2,469	54,760	25,047	6,993	2,468
78	47,307	16,797	6,601	2,319	47,085	16,785	6,601	2,319
79	45,648	19,741	6,725	2,350	45,447	19,706	6,722	2,350
80	53,713	22,782	6,806	2,384	53,420	22,723	6,804	2,383
81	57,402	30,314	8,007	3,009	57,070	30,195	7,993	3,002
82	41,108	15,573	6,691	2,376	40,956	15,572	6,691	2,376
83	45,424	16,108	6,680	2,368	45,223	16,162	6,680	2,368
84	44,035	17,980	6,685	2,357	43,852	17,959	6,685	2,357
85	59,046	34,876	9,667	3,949	58,696	34,721	9,635	3,932
86	55,067	25,135	7,037	2,493	54,760	25,057	7,033	2,491
87	50,317	18,730	6,706	2,365	50,061	18,703	6,706	2,365
88	46,112	16,370	6,693	2,374	45,904	16,362	6,693	2,374
89	40,682	15,552	6,693	2,377	40,535	15,551	6,693	2,377
90	40,436	15,529	6,639	2,346	40,291	15,528	6,639	2,346
91	43,928	15,853	6,667	2,361	43,744	15,850	6,667	2,361
92	51,356	19,721	6,708	2,357	51,089	19,685	6,707	2,357
93	58,623	33,625	9,112	3,630	58,277	33,480	9,086	3,617
94	56,576	28,309	7,528	2,747	56,252	28,206	7,520	2,743
95	51,356	19,727	6,737	2,374	51,089	19,692	6,737	2,374
96	43,473	15,789	6,688	2,373	43,294	15,786	6,688	2,373
97	39,148	15,502	6,693	2,377	39,019	15,501	6,693	2,377
98	36,319	15,469	6,689	2,375	36,221	15,469	6,689	2,375
99	34,706	15,464	6,686	2,373	34,627	15,454	6,686	2,373

100	47,625	16,956	6,661	2,352	47,509	16,943	6,661	2,352
101	51,907	20,333	6,726	2,362	51,635	20,293	6,725	2,362
102	54,509	24,103	6,895	2,421	54,208	24,033	6,892	2,420
103	50,317	18,726	6,691	2,356	50,061	18,699	6,691	2,356
104	38,755	15,669	6,658	2,357	38,631	15,667	6,659	2,357
105	38,497	15,489	6,689	2,375	38,375	15,488	6,689	2,375
106	42,024	15,634	6,691	2,376	41,861	15,633	6,691	2,376
107	48,460	17,391	6,649	2,342	48,225	17,375	6,649	2,342
108	52,937	21,636	6,738	2,356	52,653	21,586	6,737	2,356
109	49,355	17,969	6,667	2,349	49,110	17,948	6,667	2,349

	10						25					
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM6
01	64,449	51,104	19,809	4,7911	0,2342	4,923	64,071	50,821	19,757	4,7852	0,233	4,849
02	64,449	51,104	19,809	4,7911	0,2342	4,923	64,071	50,821	19,757	4,7852	0,233	4,849
03	65,890	53,552	23,337	5,8823	0,4190	8,1677	64,901	53,244	23,259	5,866	0,4166	7,9873
04	65,724	54,945	25,845	7,0088	0,6093	0,1143	65,331	54,623	25,748	6,9823	0,6054	0,1114
05	65,637	54,656	25,291	6,7360	0,6533	0,1064	65,244	54,336	25,198	6,7120	0,5597	0,1038
06	64,449	51,104	19,818	4,8031	0,2349	4,9810	64,071	50,821	19,767	4,7972	0,2340	4,9065
07	60,316	42,182	13,359	4,1820	0,1278	2,7818	59,988	41,994	13,352	4,1820	0,1278	2,7804
08	60,449	42,411	13,435	4,1826	0,1279	2,7869	60,120	42,220	13,427	4,1825	0,1279	2,7853
09	57,052	37,388	12,442	4,1864	0,1277	2,7586	56,763	37,251	12,441	4,1864	0,1277	2,7586
10	49,044	30,012	12,250	4,1898	0,1278	2,7641	48,853	29,955	12,250	4,1898	0,1278	2,7641
11	52,719	32,819	12,262	4,1902	0,1278	2,7649	52,483	32,732	12,261	4,1902	0,1278	2,7649
12	53,145	33,200	12,263	4,1864	0,1277	0,0275	52,904	33,109	12,263	4,1864	0,1277	2,7563
13	58,791	39,759	12,749	4,1765	0,1273	2,7437	58,481	39,596	12,746	4,1765	0,1273	2,7433
14	64,449	51,104	19,820	4,8051	0,2350	4,9906	64,071	50,821	19,768	4,7992	0,2342	4,9160
15	65,813	55,240	26,420	7,2987	0,6590	0,1220	65,418	54,914	26,319	7,2695	0,6546	0,1189
16	66,169	56,479	29,085	8,8359	0,9195	0,1645	65,770	56,140	28,961	8,7923	0,9130	0,1599
17	61,408	44,158	14,126	4,1741	0,1287	2,8072	61,067	43,948	14,113	4,1740	0,1287	2,8035
18	60,053	41,738	13,215	4,1738	0,1274	2,7557	59,728	41,554	13,209	4,1738	0,1274	2,7546
19	54,501	34,503	12,284	4,1820	0,1275	2,7462	54,243	34,397	12,283	4,1820	0,1275	2,7462
20	51,902	32,123	12,256	4,1895	0,1278	2,7633	51,676	32,043	12,255	4,1895	0,1278	2,7633
21	51,129	31,504	12,250	4,1868	0,1277	2,7570	50,912	31,431	12,250	4,1868	0,1277	2,7570
22	54,501	34,503	12,284	4,1820	0,1275	2,7462	54,243	34,397	12,283	4,1820	0,1275	2,7462
23	60,053	41,738	13,220	4,1789	0,1276	2,7677	59,728	41,554	13,213	4,1789	0,1276	2,7666
24	61,408	44,158	14,131	4,1799	0,1290	2,8215	61,067	43,948	14,118	4,1798	0,1289	2,8178
25	65,813	55,240	26,394	7,2636	0,6551	0,1190	65,418	54,914	26,292	7,2344	0,6508	0,1155
26	65,637	54,656	25,258	6,6922	0,5588	0,1029	65,244	54,336	25,165	6,6683	0,5552	0,1004
27	62,568	46,521	15,465	4,1984	0,1357	2,9629	62,212	46,286	15,443	4,1979	0,1356	2,9522
28	56,509	36,721	12,371	4,1651	0,1269	2,7082	56,227	36,591	12,370	4,1651	0,1269	0,0270
29	54,501	34,503	12,280	4,1783	0,1274	2,7376	54,243	34,397	12,280	4,1783	0,1274	2,7376
30	50,905	31,332	12,251	4,1888	0,1278	2,7618	50,691	31,261	12,251	4,1888	0,1278	2,7618
31	51,129	31,504	12,251	4,1881	0,1277	2,7602	50,912	31,431	12,251	4,1881	0,1277	2,7612
32	53,584	33,606	12,256	4,1719	0,1271	2,7225	53,227	33,510	12,256	4,1719	0,1271	2,7225
33	57,612	38,112	12,509	4,1794	0,1274	2,0274	57,317	37,967	12,508	4,1794	0,1274	2,7435
34	65,290	53,552	23,372	5,9282	0,4231	8,4886	64,901	53,244	23,295	5,9121	0,4207	0,0830
35	65,813	55,240	26,396	7,2661	0,6554	0,1192	65,418	54,914	26,294	7,2370	0,6510	0,1161
36	66,169	56,479	29,082	8,8319	0,9190	0,1641	65,770	56,140	28,959	8,7883	0,9125	0,1596
37	61,408	44,158	14,150	4,2033	0,1299	2,8796	61,067	43,948	14,138	4,2032	0,1299	2,8759
38	54,501	34,503	12,282	4,1797	0,1274	2,7407	54,243	34,397	12,281	4,1797	0,1274	2,7407
39	52,719	32,819	12,245	4,1699	0,1270	2,7178	52,483	32,732	12,244	4,1699	0,1270	2,7178
40	49,703	30,457	12,253	4,1929	0,1279	2,7712	49,503	30,396	12,253	4,1929	0,1279	2,7712
41	49,044	30,012	12,250	4,1902	0,1278	2,7649	48,853	29,955	12,250	4,1902	0,1278	2,7649
42	52,719	32,819	12,249	4,1753	0,1273	2,7303	52,483	32,732	12,249	4,1753	0,1273	2,7303
43	60,053	41,738	13,224	4,1843	0,1278	2,7806	59,728	41,554	13,218	4,1843	0,1278	2,7795
44	62,869	47,186	15,958	4,2450	0,1412	3,1260	62,510	46,940	15,933	4,2442	0,1411	3,1114
45	61,408	44,158	14,120	4,1670	0,1285	2,7896	61,067	43,948	14,107	4,1669	0,1284	2,7859
46	62,869	47,186	15,949	4,2346	0,1408	0,0309	62,510	46,944	15,924	4,2338	0,1407	3,0814
47	60,053	41,738	13,203	4,1593	0,1268	0,0272	59,728	40,554	13,197	4,1593	0,1268	0,0272
48	54,501	34,503	12,272	4,1682	0,1270	2,7140	54,243	34,397	12,272	4,1682	0,1270	2,7140
49	47,824	29,246	12,241	4,1797	0,1274	2,7405	47,648	29,199	12,241	4,1797	0,1274	2,7405

50	41,900	26,504	12,252	4,1925	0,1279	2,7704	41,796	26,487	12,252	4,1925	0,1279	2,7704
51	47,259	28,917	12,252	4,1929	0,1279	2,7712	47,089	28,873	12,252	4,1929	0,1279	2,7712
52	49,709	30,457	12,246	4,1847	0,1276	2,7523	49,503	30,396	12,246	4,1847	0,1276	2,7523
53	45,719	28,096	12,231	4,1678	0,1270	2,7130	45,568	28,061	12,231	4,1678	0,1270	2,7130
54	60,053	41,738	13,209	4,1660	0,1271	2,7373	59,728	41,554	13,202	4,1660	0,1271	2,7361
55	61,408	44,158	14,118	4,1643	0,1284	0,0278	60,067	43,948	14,105	4,1642	0,1283	0,0277
56	62,869	47,186	15,934	4,2163	0,1400	3,0429	62,510	46,944	15,909	4,2156	0,1399	3,0285
57	61,408	44,158	14,096	4,1396	0,1274	2,7218	61,067	43,948	14,084	4,1395	0,1274	2,7182
58	62,869	47,186	15,940	4,2232	0,1403	3,0629	62,510	46,944	15,915	4,2224	0,1402	3,0484
59	58,791	39,759	12,751	4,1789	0,1274	2,7492	58,481	39,596	12,748	4,1789	0,1274	2,7488
60	55,474	35,531	12,319	4,1827	0,1275	2,7481	55,205	35,414	12,319	4,1827	0,1275	2,7481
61	52,719	32,819	12,257	4,1847	0,1276	2,7523	52,483	32,732	12,257	4,1847	0,1276	2,7523
62	45,719	28,096	12,248	4,1881	0,1277	2,7602	45,568	28,061	12,248	4,1881	0,1277	0,0276
63	52,888	32,969	12,256	4,1814	0,1275	0,0274	52,650	32,880	12,256	4,1814	0,1275	2,7445
64	57,612	38,112	12,510	4,1804	0,1275	2,7460	57,317	37,967	12,508	4,1804	0,1275	2,7459
65	62,869	47,186	15,972	4,2620	0,1419	3,1754	62,510	46,944	15,947	4,2612	0,1418	0,0316
66	63,643	49,008	17,491	4,3656	0,1650	3,5570	63,274	48,748	17,455	4,3634	0,1647	3,5255
67	62,869	47,186	15,931	4,2136	0,1399	3,0349	62,510	46,944	15,906	4,2128	0,1398	3,0206
68	60,718	42,884	13,569	4,1431	0,1266	2,7008	60,385	42,688	13,560	4,1431	0,1266	2,6989
69	55,474	35,531	12,323	4,1868	0,1277	2,7576	55,205	35,414	12,322	4,1868	0,1277	2,7575
70	51,129	31,504	12,255	4,1922	0,1279	2,7696	50,912	31,431	12,255	4,1922	0,1279	2,7696
71	51,902	32,123	12,256	4,1902	0,1278	0,0276	51,676	32,043	12,256	4,1902	0,1278	2,7649
72	59,665	41,104	13,053	4,1880	0,1279	2,7816	59,345	40,926	13,048	4,1880	0,1279	2,7808
73	57,612	38,112	12,507	4,1767	0,1273	0,0273	57,317	37,967	12,505	4,1767	0,1273	2,7372
74	62,419	46,200	15,265	4,2054	0,1346	2,9674	62,065	45,969	15,245	4,2049	0,1345	2,9580
75	62,869	47,186	15,938	4,2215	0,1402	3,0579	62,510	46,944	15,913	4,2207	0,1401	3,0435
76	62,869	47,186	15,940	4,2232	0,1403	3,0629	62,510	46,944	15,915	4,2224	0,1402	3,0484
77	63,643	49,008	17,491	4,3663	0,1650	3,5595	63,274	48,748	17,456	4,3641	0,1647	3,5280
78	58,549	39,406	12,644	4,1255	0,1254	2,6226	58,242	39,247	12,641	4,1255	0,1254	2,6223
79	54,139	39,978	14,129	4,1725	0,1263	3,1154	53,886	39,815	14,116	4,1723	0,1263	3,1000
80	62,869	47,186	15,941	4,2250	0,1404	3,0679	62,510	46,944	15,916	4,2242	0,1403	3,0534
81	64,865	52,277	21,391	5,2239	0,3055	0,0629	64,482	51,982	21,328	5,2142	0,3041	6,1756
82	53,145	33,200	12,267	4,1918	0,1279	2,7689	52,904	33,109	12,267	4,1918	0,1279	2,7689
83	57,052	37,388	12,439	4,1824	0,1275	2,7492	56,763	37,251	12,437	4,1824	0,1275	2,7491
84	53,112	37,920	13,205	4,1710	0,1270	2,8912	52,873	37,779	13,199	4,1710	0,1270	2,8852
85	65,637	54,656	25,300	6,7483	0,5645	0,1074	65,244	54,336	25,207	6,7243	0,5609	0,1048
86	63,643	49,008	17,514	4,3936	0,1663	0,0365	63,274	48,748	17,479	4,3915	0,1660	0,0362
87	60,718	42,884	13,601	4,1803	0,1280	2,7903	60,385	42,688	13,592	4,1802	0,1280	0,0278
88	57,612	38,112	12,518	4,1898	0,1278	2,7681	57,317	37,967	12,516	4,1898	0,1278	2,7680
89	52,719	32,819	12,264	4,1932	0,1279	2,7720	52,483	32,732	12,264	4,1932	0,1279	2,7720
90	52,469	32,601	12,232	4,1570	0,1266	2,6879	52,236	32,516	12,232	4,1570	0,1266	2,6879
91	55,778	35,869	12,328	4,1749	0,1272	2,7302	55,505	35,748	12,328	4,1749	0,1272	2,7302
92	61,408	44,158	14,125	4,1734	0,1287	2,8055	61,067	43,948	14,113	4,1733	0,1287	0,0280
93	65,445	54,039	24,176	6,2347	0,4778	0,1076	65,055	53,726	24,092	6,2155	0,4749	0,1050
94	64,449	51,104	19,818	4,8031	0,2349	4,9810	64,071	50,821	19,767	4,7972	0,2340	4,9065
95	61,408	44,158	14,142	4,1931	0,1295	2,8543	61,067	43,948	14,129	4,1930	0,1295	2,8506
96	55,374	35,421	12,320	4,1888	0,1278	0,0276	55,106	35,305	12,319	4,1888	0,1278	0,0276
97	51,114	31,493	12,256	4,1932	0,1279	2,7720	50,897	31,420	12,256	4,1932	0,1279	0,0277
98	47,824	29,246	12,250	4,1905	0,1278	2,7657	47,648	29,199	12,250	4,1905	0,1278	2,7657
99	45,719	28,096	12,249	4,1888	0,1278	2,7618	45,568	28,061	12,249	4,1888	0,1278	0,0276
100	58,791	39,759	12,739	4,1647	0,1269	2,7160	58,481	39,596	12,736	4,1647	0,1269	0,0271

101	61,763	44,850	14,471	4,1810	0,1300	2,8472	61,418	44,633	14,456	4,1808	0,1300	2,8422
102	63,329	48,250	16,797	4,2885	0,1520	3,2986	62,965	47,997	16,767	4,2870	0,1518	3,2757
103	60,718	42,884	13,592	4,1705	0,1276	2,7667	60,385	42,688	13,583	4,1704	0,1276	2,7647
104	48,964	32,102	12,272	4,1695	0,1270	2,7182	48,775	32,023	12,272	4,1695	0,1270	2,7182
105	50,397	30,952	12,252	4,1908	0,1279	2,7665	50,189	30,885	12,252	4,1908	0,1279	2,7665
106	54,035	34,040	12,281	4,1918	0,1279	2,7690	53,783	33,939	12,281	4,1918	0,1279	2,7689
107	59,411	40,701	12,926	4,1532	0,1265	2,6958	59,094	40,528	12,921	4,1532	0,1265	2,6952
108	62,404	46,169	15,225	4,1819	0,1335	2,9025	62,051	45,938	15,205	4,1815	0,1335	2,8934
109	60,053	41,738	13,205	4,1610	0,1269	2,7252	59,728	41,554	13,198	4,1610	0,1269	2,7241