

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME  
D'INGÉNIEUR EN SCIENCES DE LA MER

Spécialité : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

Sujet :

## Etude de faisabilité de rechargement artificiel des plages de la côte Ouest-algéroise

Présenté par :

- **BOUKHEDICHE Walid**

Soutenu le 13 /07 /2017 devant le jury suivant :

Mme HOUMA BACHARI F.	PROFESSEUR – ENSSMAL	Présidente
Mr. OTMANI H.	MAA – ENSSMAL	Promoteur
Mr. BELKESSA R.	PROFESSEUR – ENSSMAL	Co- promoteur
Mr BACHARI N.I.	PROFESSEUR – USTHB	Examineur
Mr BACHOUCHE S.	CHERCHEUR – CNRDPA	Examineur

**Promotion : 2017**

## *Remerciement*

*Au terme de ce travail, je remercie Dieu le tout puissant pour m'avoir donné la santé, le courage et la volonté, pour réaliser ce modeste travail.*

*Je suis très heureux de pouvoir exprimer ma gratitude à toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.*

*Mes plus vifs remerciements s'adressent à :*

*Mme. HOUMA BACHARI F. Professeur à l'ENSSMAL, qui me fait l'honneur de présider le jury. Qu'elle trouve dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance,*

*Mr BACHARI N.I Professeur à l'USTHB, pour avoir accepté d'examiner ce travail. Qu'il trouve également dans ces lignes le témoignage de ma respectueuse reconnaissance ;*

*Mr BACHOUCHE S., docteur et chercheur au CNRDPA, qui me fait l'honneur de juger ce mémoire*

*M. BELKESSA R., Professeur à l'ENSSMAL qui a co-encadré et dirigé cette étude ; je le remercie pour ses encouragements et son aide, malgré ses nombreuses occupations il m'a fait bénéficier de son expérience et de ses connaissances judicieuses,;*

*A mon promoteur Mr. OTMANI, à qui je suis profondément reconnaissant et qui par ses conseils et sa disponibilité m'a initié à l'aménagement du littoral je le remercie pour l'intérêt qu'il a porté à ce travail et pour l'empressement qu'il a manifesté à le voir aboutir, puisse-t-il trouver ici la marque de mon profond respect ainsi que mes remerciements les plus sincères.*

*Je remercie tous mes amis qui m'ont soutenu, je tiens à les remercier aussi pour leur présence, leurs conseils et leurs encouragements.*

*Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail :*

*Avant tous, à*

*Mes parents Pour leur générosité et leurs Sacrifices*

*Mes frères*

*Toute ma famille*

*Et à tous mes amis sans exception*

## Liste des tableaux

Tableau 1 : listes des plages de la côte ouest algéroise .....	28
Tableau 2 : liste des falaises de la côte ouest algéroise .....	29
Tableau 3 Résume des facteurs naturels et les activités humaines qui modifient la ligne de côte (FAO,2005 in AMIS MAP) .....	40
Tableau 4: Années et échelles des photo aérienne (Projet AMIS, 2004) .....	52
Tableau 5 : Valeurs estimées des erreurs d'un levé DGPS. ....	56
Tableau 6 : Les conditions des houles à modélisé :.....	75
Tableau 7: Classification des grains de sable (FOLK, et al., 1957) .....	79
Tableau 8: Résultats du calcul volumétrique différentiel entre le MNT ; actuel, 1 et 2 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 9: Caractéristiques des niveaux d'eau (BRGM, et al., 2013).	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 10 : Résumé des volumes calculés pour estimer le volume de sable nécessaire au rechargement de la plage aérienne.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Tableau 11 : Estimation du volume total du sable de rechargement	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>



## Liste des figures

Figure 1: Situation géographique de la zone d'étude .....	18
Figure 2 : Variations de moyennes mensuelles des précipitations (2005-2016) .....	19
Figure 3 : Variations des moyennes annuelles des précipitations (Données windguru, 2005-2016).....	20
Figure 4: Températures moyennes en °C (Données windguru, 2005-2016).....	21
Figure 5: Répartition annuelle des vents en % .....	22
Figure 6 : Répartition mensuelle des secteurs d'apparition des vents (wundgrownd, station airport H-Boumediane ,2000-2016).....	23
Figure 7 : Abondance mensuelle des secteurs d'apparition des vents (Données windguru, 2005-2016) .....	23
Figure 8: Roses des vents saisonniers : station Algiers (Données windguru, 2005-2016) .....	24
Figure 9: Diagramme ombrothermique de Gausse. (2005-2016).....	24
Figure 10: Bassins versants et réseau hydrographique de la côte Algéroise. ....	25
Figure 11: Distribution simplifiée des différents types géomorphologiques de côte de la wilaya d'Alger. ....	27
Figure 12: Illustration de l'état dégradé des dunes de Zeralda .....	28
Figure 13: Carte géologique de la côte Ouest algéroise (GLANGEAUD, 1936),(Source : INCT).....	31
Figure 14: Correspondance entre les systèmes altimétrique NGA et ZH à Alger.....	32
Figure 15 : Rose des houles annuelle au large.....	34
Figure 16: Fréquences des hauteurs de la houle pour la station Alger Port données Wiziku 01-01-2012 - 31-12-2016.....	35
Figure 17 : Les pilotes physiques et humaines clés qui gouvernent les changements dans les systèmes côtiers.....	38
Figure 18 : Synthèse des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (GRASSO, 2009).....	39

Figure 19: Schéma des mouvements sédimentaires engendrés par la houle .....	41
Figure 20: Captures d'écran de l'étape d'extraction de la bathymétrie ; A- Du SHFN - B- Du Navionic, dans l'espace de travail ArcMap .....	42
Figure 21 : Modèle de l'extension Interpolation_TIN de traitement des fichiers bruts de la bathymétrie. ....	43
Figure 22 : Dépendance de la profondeur de fermeture en temps et en espace (CAPOBIANCO, et al., 2002).....	45
Figure 23 : Comparaison entre la bathymétrie de SHFN et de Navionic (A)- Bathymétrie Navionic –(B)- Bathymétrie SHFN –(C)- Différentiel bathymétrique.....	46
Figure 24 : Carte des pentes sous-marines de l'avant côte de la zone d'étude en (%)...	47
Figure 25: Aspect des pentes de l'avant côte de la zone d'étude .....	48
Figure 26: Variation des pentes de l'avant côte entre la période 1867-1921 et 2005/2012 .....	48
Figure 27 : Organigramme de la méthode de suivi du trait de côte.....	49
Figure 28 : Limites de références du littoral (source : E. GIRAUDET, GEOMER in...	50
Figure 29 : La ligne de rivage instantanée choisie pour définir le tracé du trait de côte.	51
Figure 30: Etape de géoréférencement des photos aériennes et digitalisation du trait de côte.....	52
Figure 31: Système complet du DGPS levé RTK base temporaire avec repaire .....	53
Figure 32 :Réseau des points géodésiques de la côte algéroise mis en place par l'APPL .....	54
Figure 33 : Principe de levé DGPS en mode RTK (Real Time Kinematic).....	55
Figure 34 : Les différentes paramètres et interfaces de DSAS.....	58
Figure35: Proposition des légendes pour le trait de côte représenté à plusieurs dates...	59
Figure 36: A-Répartition des transects le long de la zone d'étude. B- les transect limites des.....	60
Figure 37: Corrélation entre les taux d'évolution mesurés EPR et calculés (LRR et WLR).....	61
Figure 38: La correspondance entre les trois paramètres EPR, LRR et WLR .....	61

Figure 39 : Evolution du trait de côte le long de la zone d'étude.....	62
Figure 40 :1-Un fort débit de l'oued Mazafran. 2-Dégradation des dunes de Zeralda et attaque frontale de la mer.3-Epis de la plage El Riadh et Menzeh. 4 -Le recul du trait de côte au niveau de la plage El Riad.....	63
Figure 41 : Synthèse statistique de la cinématique du trait de côte et cartographie de l'érosion côtière .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 42 : la tempête de 05 Février 2017 au niveau de Sidi Fredj.....	75
Figure 43: Macro du traitement automatique des tableaux des résultats du SWAN.....	78
Figure 44: L'extension SWAN View du visualisation des résultats de SWAN.....	79
Figure 45 : Interface graphique de l'extension SWAN View du visualisation des résultats de SWAN .....	80
Figure 46: Mode opératoire d'exploitation de Modèle SWAN.....	80
Figure 47 : Réfraction de la houle pour une direction N 21° et une période de 5.23 s .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 48 : Dissipation d'énergie de la houle pour une direction N 21° et une période de 5.23 s.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 49 : Réfraction de la houle pour une direction N 270° et une période de 5.78s .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 50 : Dissipation d'énergie de la houle pour une direction N 270° et une période de 5.78 s.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 51: Réfraction de la houle pour une direction N 345° et une période de 5.23 s .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 52: Dissipation d'énergie de la houle pour une direction N 345° et une période de 5.23s.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 53: Modèle régional des hauteurs significatives au niveau de toute la côte algéroise de la tempête de 05/02/2017. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 54: Réfraction de la houle de la tempête 05/02/2017.	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 55: Dissipation d'énergie de la houle de la tempête 05/02/2017	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

Figure 56: Setup de la houle de la tempête 05/02/2017 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 57 :Présentation du model du maillage effectué pour toute la simulation	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 58: Simulation des courants générés par les houles de secteur N.283° ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 59: Simulation des courants générés par les houles de secteur N.345° ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 60: transport sédimentaire pour la direction N.283° ..	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 61: transport sédimentaire pour la direction N.345° ..	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 62: Prélèvement de sédiment marin à l'aide de la benne et du GPS.....	75
Figure 63: Localisation des points de prélèvement dans la partie marine.....	75
Figure 64 : Localisation des points de prélèvement dans la partie aérienne. ....	76
Figure 65 : Préparation et traitement des échantillons et tamissage.....	78
Figure 66 : répartition de diamètre moyen (Mz) dans la région de Sidi Fredj .....	81
Figure 67 :répartition des médianes (Q <sub>50</sub> ) dans la région de Sidi Fredj .....	81
Figure 68 : Pourcentage des modes au niveau dans la plage sous-marine de secteur de Sidi Fredj et la plage aérienne d'El Riadh.....	82
Figure 69 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen.....	83
Figure 70 : Relation entre l'indice d'asymétrie (Sk <sub>i</sub> ) et le diamètre moyen.....	83
Figure 71 : Délimitation du secteur de rechargement.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 72: Projection graphique des Profils topo-bathymétriques des compagnes 2017 .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 73 : Vue d'ensemble du modèle numérique des terrains de la plage El Riadh. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 74 : Rejet des eaux usés du l'hôtel El Riadh.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 75 : Caractéristique des profils des plages examinés par Dean (DEAN, et al., 2004).....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure 76 : Profil d'équilibre de la plage El Riadh avec un m = 2/3	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

Figure 77 : Superposition du profil d'équilibre dont  $m = 2/3$  et les profils topobathymétriques mesurés ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 78 : Profil d'équilibre de la plage El Riadh avec un  $m = 0.75$  **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 79 : Superposition du profil d'équilibre dont  $m = 0.75$  et les profils topobathymétriques mesurés ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 80 : Comparaison entre les deux profils d'équilibre proposés pour la plage El Riadh..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 81 : Profil érodé et théorique actuel et profil théorique de rechargement. **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 82 : Superposition de profil d'équilibre et les profils topo-bathymétriques (2, 3 et 4) de la campagne 2017 ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 83: Types des données de projection des MNT objectif de rechargement. .... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 84 : Modèles numérique des terrains élaborés à partir des deux profils théoriques proposés  $MNT_1$  et  $MNT_2$  ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 85 : Superposition des deux MNT 1 et 2 théoriques de rechargement. .... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 86 : Modèle numérique des terrains actuel (A) et théorique de rechargement (B) ..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 87 : Capture d'écran de l'interface graphique de l'outil Surface volume de ArcMap..... **Erreur ! Signet non défini.**

Figure 88 : Limite des eaux les plus extrêmes au niveau de la plage El Riadh.... **Erreur ! Signet non défini.**

## *Liste des abréviations*

**APPL**: Agence de promotion et de protection du littoral

**BRGM**: Bureau de Recherche Géologique et Minière (France)

**DGPS** : Differential Global Positioning System

**DHI**: InstitutHydrauliqueDanois

**DSAS**: Digital Shoreline Analysis System

**GPS** ; Global Positioning System

**HD** : (Hydrodynamic model) module d'hydrodynamisme

**Hs** : Hauteur significatives

**Hs<sub>0</sub>**: Hauteur significatives au large

**LCHF** : Laboratoire Centrale d'hydraulique de France

**LEM**: laboratoire des études maritimes

**MNT**: Model Numérique du Terrain

**ONM** : office national de la météorologie

**PPK** : Post ProcessingKinematic

**RTK** : Real Time Kinematic

**SHFN** : Service Hydrographique des Forces Navales. (France)

**SHOM** : Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (France)

**SIG** : système d'information géographique

**ST** : (Sand Transport model) module du transport sédimentaire

**SW**: (Spectral Waves model) module des ondes spectrales

**USGS** : (United States Geological Survey) Institut d'études géologiques des États-Unis

**WGS 84** : World Geodetic System 1984 (système géodésique mondial révision de 1984)

## Sommaire

<i>Liste des tableaux</i> .....	4
<i>Liste des figures</i> .....	5
<i>Liste des abréviations</i> .....	10
<i>Sommaire</i> .....	11
<i>Introduction</i> .....	15

### *Chapitre I*

<b>1</b> <i>Généralité sur la zone d'étude</i> .....	<b>18</b>
1.1 Situation géographique	18
1.2 Cadre climatologique et hydrographique	19
1.2.1 Cadre climatologique	19
1.2.2 Les précipitations	19
1.2.3 La température	20
1.2.4 Les vents	21
1.2.5 Cadre hydrographique	25
1.3 Cadre géomorphologique et géologique	26
1.3.1 Cadre géomorphologique	26
1.3.2 Cadre géologique	30
1.4 Cadre océanographique	32
1.4.1 La marée et les variations du niveau d'eau marin	32
1.4.2 Les courants	32
1.4.3 La houle	33

### *Chapitre II*

<b>2</b> <i>Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude</i> .....	<b>38</b>
2.1 Généralités	38
2.1.1 Le système côtier	38

2.1.2	Facteurs intervenants dans la dynamique sédimentaire	39
2.1.3	Profondeur de fermeture	41
2.2	Evolution des fonds	41
2.2.1	Acquisition des données, conditions et précautions de la méthode	42
2.2.2	Estimation d'erreur	45
2.2.3	Présentation des résultats	45
2.3	Etude de la cinématique du trait de côte et cartographie de l'érosion marine	49
2.3.1	Approche méthodologique	49
2.3.2	Modes d'acquisition des levés du trait de côte	51
2.3.3	La photographie aérienne	51
2.3.4	Levés DGPS (GPS différentiel)	52
2.3.5	Mode de traitement et de visualisation des résultats	56
2.3.6	Présentation des résultats	59
2.3.7	Conclusion	64

### *Chapitre III*

<b>3</b>	<b><i>Faisabilité Physique de rechargement artificiel de la plage El Riadh.....</i></b>	<b>73</b>
3.1	Choix des modèles	74
3.2	Choix des Conditions de houle à modélisées	74
3.3	Modélisation de la réfraction de la houle et de la dissipation d'énergie.	76
3.3.1	Description du modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore)	76
3.3.2	Données d'entrée	77
3.3.3	Mode de visualisation des résultats	77
3.3.4	Mode Opérateur d'exploitation du Modèle SWAN	80
3.3.5	Présentation des résultats	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.3.6	Conclusion	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4	Etude de la dynamique sédimentaire	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4.1	Méthodologie	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

3.4.2	Emprise du model et maillage utilisé	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4.3	Configuration des modules	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4.3.1	Le module SW	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4.3.2	Le module HD	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4.3.3	Configuration du module ST	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4.4	Résultats et discussions	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
3.4.5	Conclusion	81

#### *Chapitre IV*

### *4 Etude de faisabilité technique de rechargement en sédiment de la plage El Riadh*

74

4.1	Etude sédimentologique	74
4.1.1	Prélèvement et échantillonnage	74
4.1.2	Méthodes d'analyses sédimentologiques	76
4.1.3	Présentation des résultats	80
4.1.4	Conclusion	83
4.2	Détermination du secteur de rechargement	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3	Estimation des volumes de sable de rechargement	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3.1	Estimation de volume de la plage sous-marine	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3.2	Estimation du volume de la plage aérienne	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.3.3	Estimation du volume total du sable de rechargement	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
4.4	Synthèse	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
	Conclusion générale	85

***Bibliographie* .....89**

**ANNEXE**

*Introduction*  
*générale*

## **Introduction**

La croissance de la population algéroise se concentre principalement dans la zone côtière. En effet, cette dernière a connu d'importantes modifications et artificialisations durant ces dernières décennies (PAC, 2005). Les activités liées directement à la mer ont pris une place prépondérante notamment dans les collectivités côtières (BACHARI, 2009). Cet engouement pour ce milieu suit une tendance mondiale et n'est que le reflet des enjeux socio-économiques que présente la zone côtière notamment en matière d'implantation urbaine, industrielle ou encore touristique.

Par ailleurs, les projets de développement du tourisme prévus par le Schéma Directeur de l'Aménagement Touristique (SDAT) qui vise une nouvelle stratégie d'aménagement touristique à l'horizon 2030 (CNERU GROUPE, 2004). Prévoit pour le littoral Ouest algérois huit (8) zones d'expansion touristique (ZEST) sur les douze (12) que compte la wilaya d'Alger. (PAT, 2012)

Cependant, la majorité des plages de l'ouest algérois souffrent d'un problème d'érosion, qui ne cesse de s'accroître en raison des forces naturelles et anthropiques auxquelles le littoral fait face et ce à différentes échelles. Ces contraintes induisent un recul du trait de côte qui provoque la disparition de certaines plages, Pour faire face à ce problème, la lutte contre les attaques de la houle, l'étude des processus sédimentaire et la submersion marine, tendent souvent à définir comme moyen de protection des variantes se basant sur la fixation de la ligne de rivage (MEDDTL, 2010), qui d'ailleurs n'ont pas toujours été satisfaisantes aussi bien sur le plan économique, technique, qu'environnemental (DEAN, 2002).

Entre les obligations de faire face aux attaques de la mer, les besoins en espaces de loisirs pour la population et le défi touristique, le rechargement de la plage est devenu une nécessité pour lutter contre l'érosion et protéger les intérêts de l'homme sur la zone côtière.

Aujourd'hui, de nombreux pays du monde protègent leurs plages en investissant dans le rechargement artificiel, visant son double intérêt à la fois environnemental et économique. Pour ce faire plusieurs méthodes ont été développées pour l'évaluation de la faisabilité rechargement artificiel à plusieurs niveaux et ce, en se basant sur les systèmes d'informations, les modèles numériques ainsi que les analyses expérimentales.

Ce travail vise principalement à répondre aux questions qui suivent :

- Comment peut-on évaluer la faisabilité ou non du rechargement artificiel des plages en utilisant des indicateurs géomorphologiques, physiques et techniques ?
- Peut-on classer les plages en fonction de la faisabilité du rechargement à base de ces indicateurs ?

Pour répondre à ces questions, nous avons procédé comme suit :

- Faire un état des lieux à travers la caractérisation des sites d'étude.
- Définir et évaluer leurs états de vulnérabilité à travers :
  - Une étude d'évolution des fonds de l'avant plage des sites par des données bathymétriques historiques.
  - Une étude de la cinématique historique du trait de côte matérialisé par le GPS différentiel et la photographie aérienne.
  - Une modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire par le modèle SWAN et Mike 21.
- Effectuer une étude technique pour caractériser le sédiment des plages et estimer les volumes de rechargement.

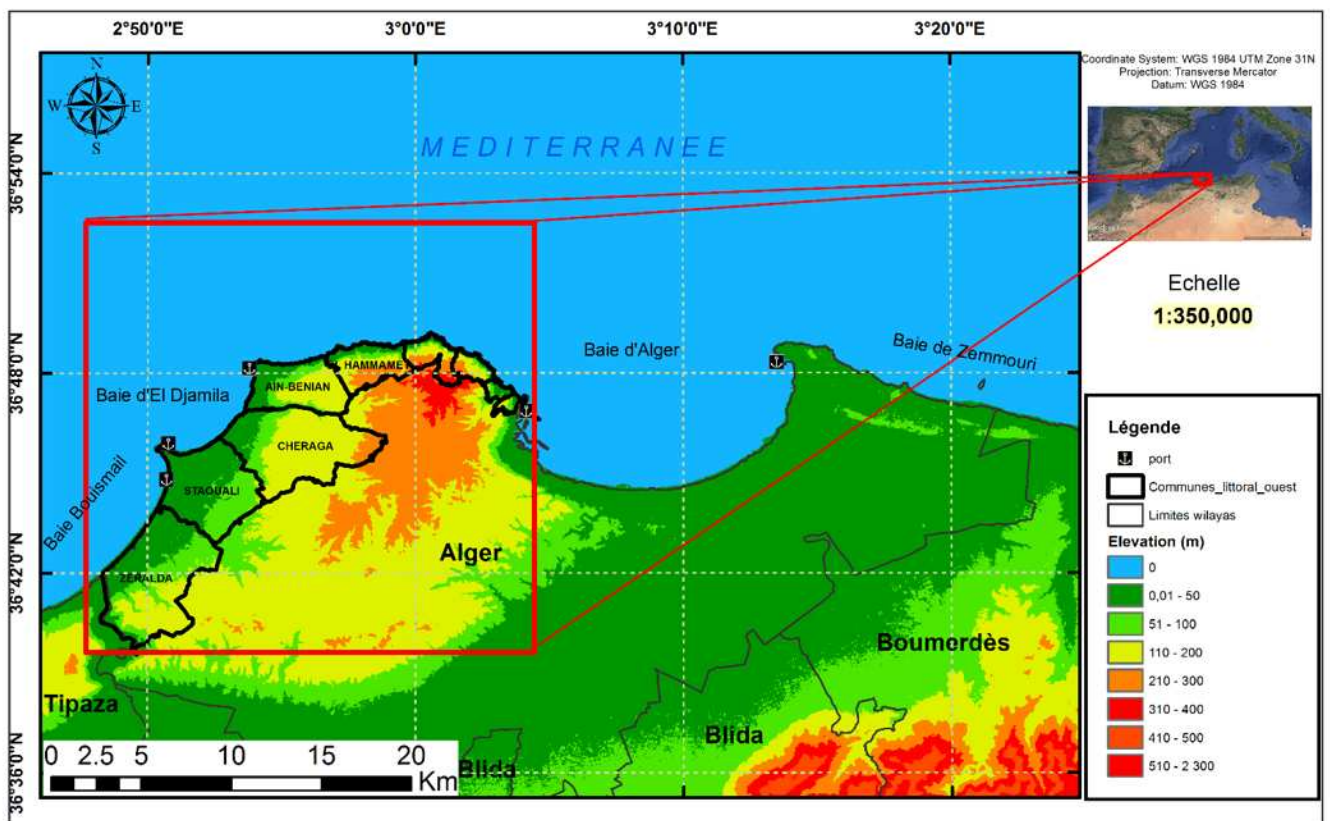
Ce travail se solde par une synthèse des principaux résultats obtenus répondant à la problématique posée, ainsi que des recommandations et perspectives ayant pour objectifs d'améliorer le présent travail et d'en assurer sa continuité.

# *Chapitre I*

## 1 Généralité sur la zone d'étude

### 1.1 Situation géographique

La zone d'étude constitue le secteur Ouest, elle s'étend du port d'Alger à l'est jusqu'à l'embouchure de l'oued Mazafran à l'ouest sur un linéaire d'environ 58 km, spatialement elle se localise entre les latitudes  $36^{\circ}41'97''\text{N}$  et  $36^{\circ}47'21''\text{N}$  et les longitudes Est  $2^{\circ}48'06''\text{E}$  et  $3^{\circ}03'94''\text{E}$ . Notre zone comprend : une partie de la baie de Bouismail à l'ouest, la baie



d'El Djamilia au centre et le littoral rocheux de l'algerois à l'est.

**Figure 1:** Situation géographique de la zone d'étude

## 1.2 Cadre climatologique et hydrographique

### 1.2.1 Cadre climatologique

La détermination du caractère de climat est très importante pour mieux apprécier les régimes hydrodynamiques se déployant dans notre zone d'étude et qui sont responsables de toute transformation morpho-sédimentaire. (OTMANI, 2014).

Des données historiques infra-journalières brutes du climat local sont disponible sur le site WINDGERU (observations au niveau de la station « Algiers » de la période entre 2005 et 2016). Afin de traiter convenablement ces données une Macro a été programmée sous Excel, les résultats sont exprimés en tableaux récapitulatifs (Annexe n°1) et en graphes représentatifs des différents paramètres climatologiques (Figure n° 2,3,4 et 10).

**Station :** Algiers (Alger)

**Période :** 01-01-2005 – 31-12-2016

**Altitude :** 154 m

**Latitude :** 36,78 N

**Longitude :** 03,05 E

### 1.2.2 Les précipitations

L'analyse des données de précipitations sur les 11 ans nous a permis de distinguer deux saisons : une première très pluvieuse qui s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai avec une moyenne maximale de 97,76 mm/mois au mois de février et une autre plutôt sèche allant du mois de juin au mois de septembre avec une moyenne minimale de 5,97 mm/mois. Il existe cependant, une période transitoire entre avril et mai qui indique la fin de la période des tempêtes. (Figure 2)

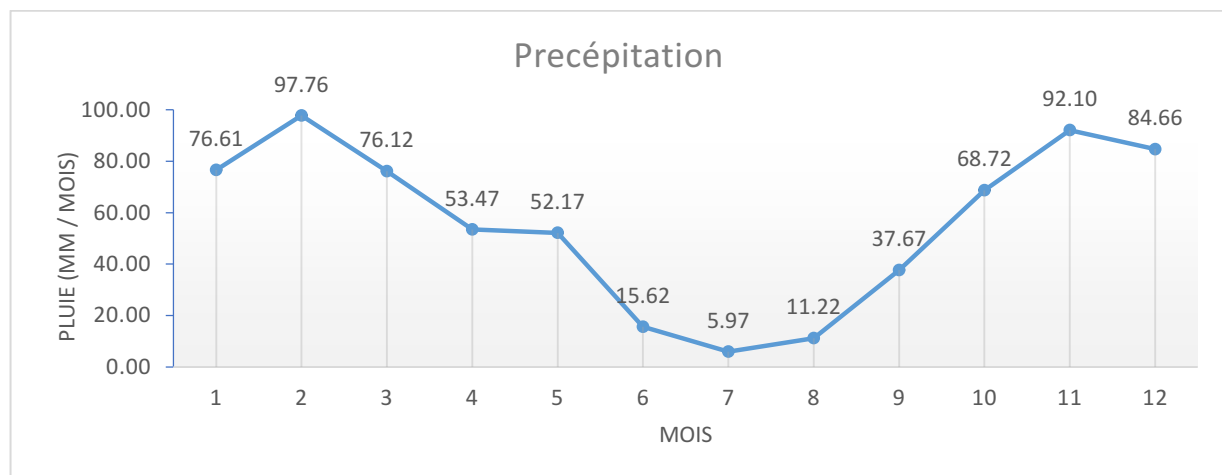


Figure 2 : Variations de moyennes mensuelles des précipitations (2005-2016)

L'analyse des Variations des moyennes annuelles des précipitations sur la période entre 2005 et 2016 révèle une variation dans le régime des précipitations qui tourne autour de 600 mm entre 2005 et 2010, puis un pic qui dépasse les 1006 mm en 2013, pour reprendre le régime habituel en 2014. (Figure 03)

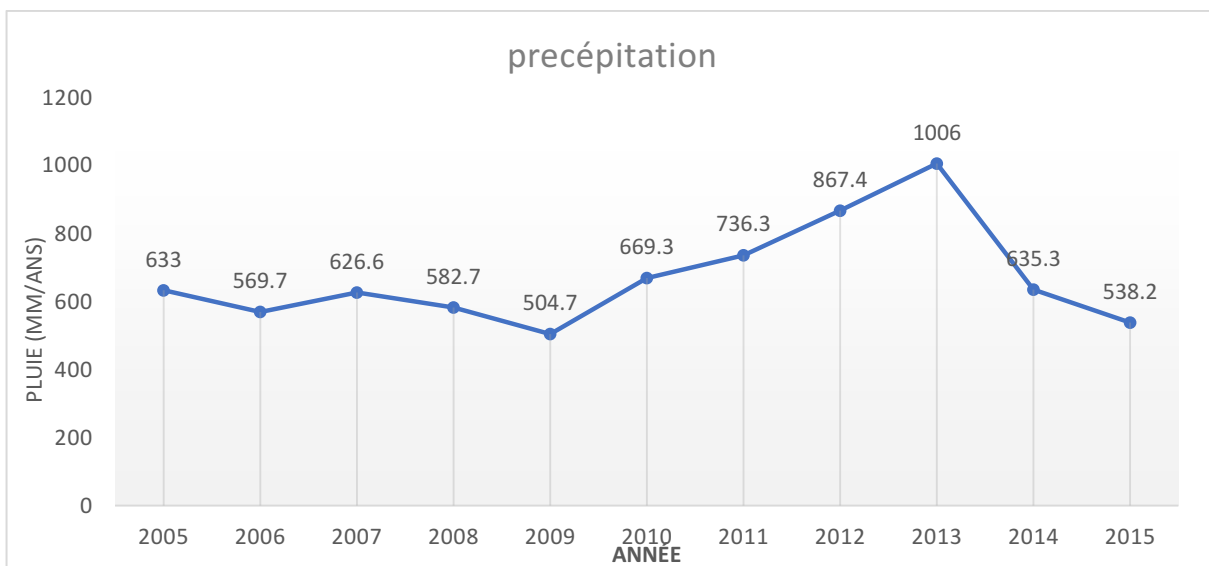


Figure 3 : Variations des moyennes annuelles des précipitations (Données windguru, 2005-2016)

### 1.2.3 La température

L'analyse des températures mensuelles enregistrées pendant 11 ans (entre 2005 et 2016) montrent une moyenne annuelle de température de 18,66°C, dont la température moyenne maximale est enregistrée pendant la saison estivale au mois d'août (26,5°C) avec un écart à la moyenne de 03 à 04 C°.

La valeur moyenne minimale de température est enregistrée pendant la saison hivernale au mois de février (12°C) avec un écart à la moyenne d'environ 02 à 03 C°. (Figure 04)

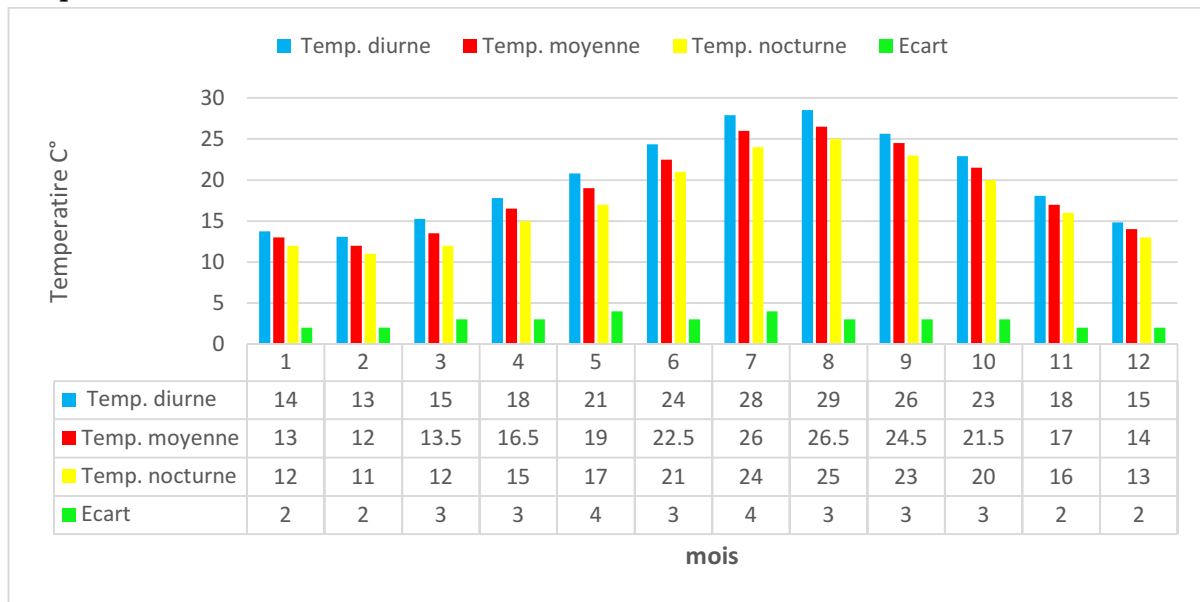


Figure 4: Températures moyennes en °C (Données windguru, 2005-2016)

### 1.2.4 Les vents

Le vent est un élément important dans la dynamique des eaux marines. En effet, il est à l'origine

des houles, des clapots (déferlent au large) et des courants superficiels par frottement à la surface (MIOSSEC, 2009) et (SALOMON, 2008), aussi, il est le moteur essentiel intervenant dans l'évolution, la mobilité et la reconstitution des dunes (MIOSSEC, 2009).

L'analyse du régime des vents locaux des dernières années est effectuée à partir de 02 sources de données météorologiques afin de comparer et valider la fiabilité des sources :

- Des données windguru de la station **Algiers** de 2005 à 2016.-Des données du site internet **windfinder** ; qui met à disposition des statistiques des vents entre 2012 et 2016, à partir des enregistrements infra-journalières (chaque les trois heures) de 7 h à 19 h au niveau de la station « Port d'Alger ».

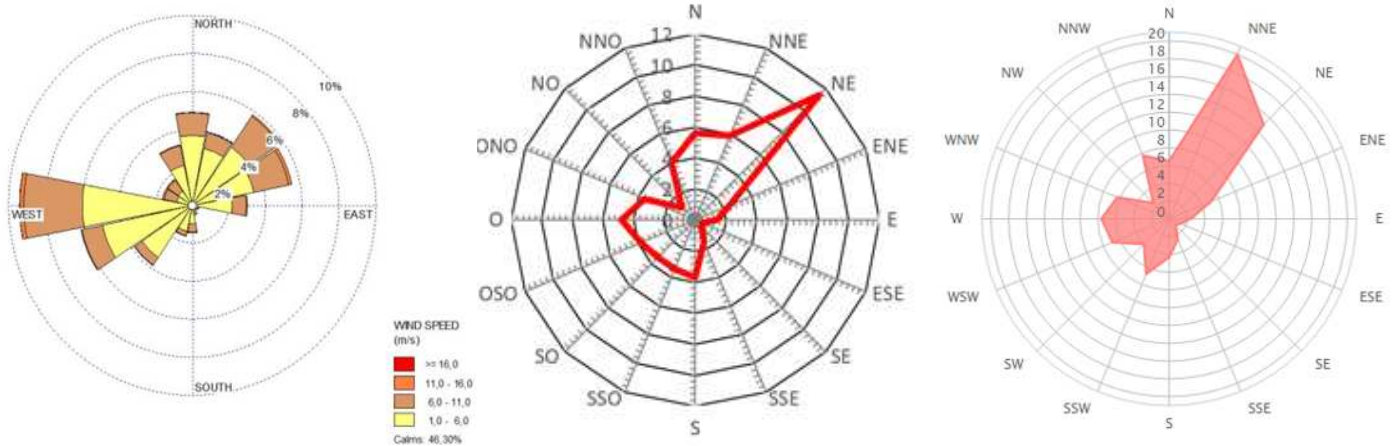
L'analyse statistique des données du vent nous a permis de déterminer les fréquences d'apparition des vents par secteurs à deux échelles : annuelle et saisonnière.

- **Echelle annuelle** : les vents dominants sont de secteur NE avec une fréquence moyenne de 11.4 % avec un champ de vitesse moyenne entre 3 et 9 m/s. Les vents calmes représentent 42.8 %. (Figure 05)

➤ **Echelle saisonnière** : Les figures 6, 7 et 8 bien montré l'abondance de deux régimes hivernale et estivale.

**La période hivernale** : les vents abondants sont de secteur O à NO avec une fréquence de 8 % et un champ de vitesse moyenne de 3 à 9 m/s avec une fréquence de 37 %. Cette période est caractérisée par l'apparition des vents de tempêtes avec des vitesses supérieures à 12 m/s d'une fréquence moyenne de 3 %.

**La période estivale** : les vents qui dominant sont de secteur NE à NNE avec une fréquence d'apparition de 12.63 %, le champ de vitesse et de 3 à 8 m/s avec une fréquence de 40.24 %.



Répartition annuelle des vents en % (ONM, Station Dar-El-Beida 1995-2015), (NADIR, 2016)

Répartition annuelle des vents en % (Données windguru, station Algiers, 2005-2016)

Répartition annuelle des vents en % (Windfinder, station Alger port, 2012-2016)

Figure 5: Répartition annuelle des vents en %

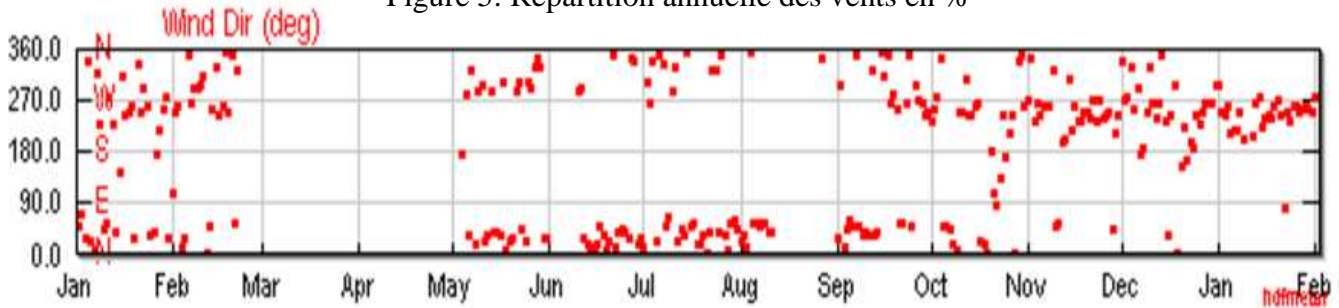


Figure 6 : Répartition mensuelle des secteurs d'apparition des vents (wundgrownd, station airport H-Boumediane ,2000-2016)

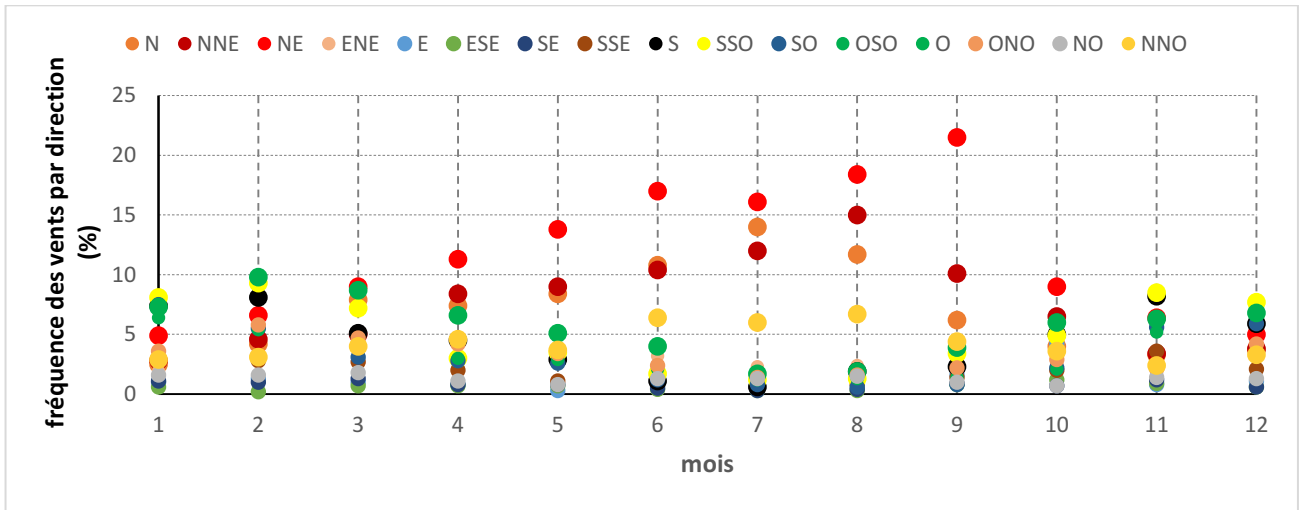


Figure 7 : Abondance mensuelle des secteurs d'apparition des vents (Données windguru, 2005-2016)

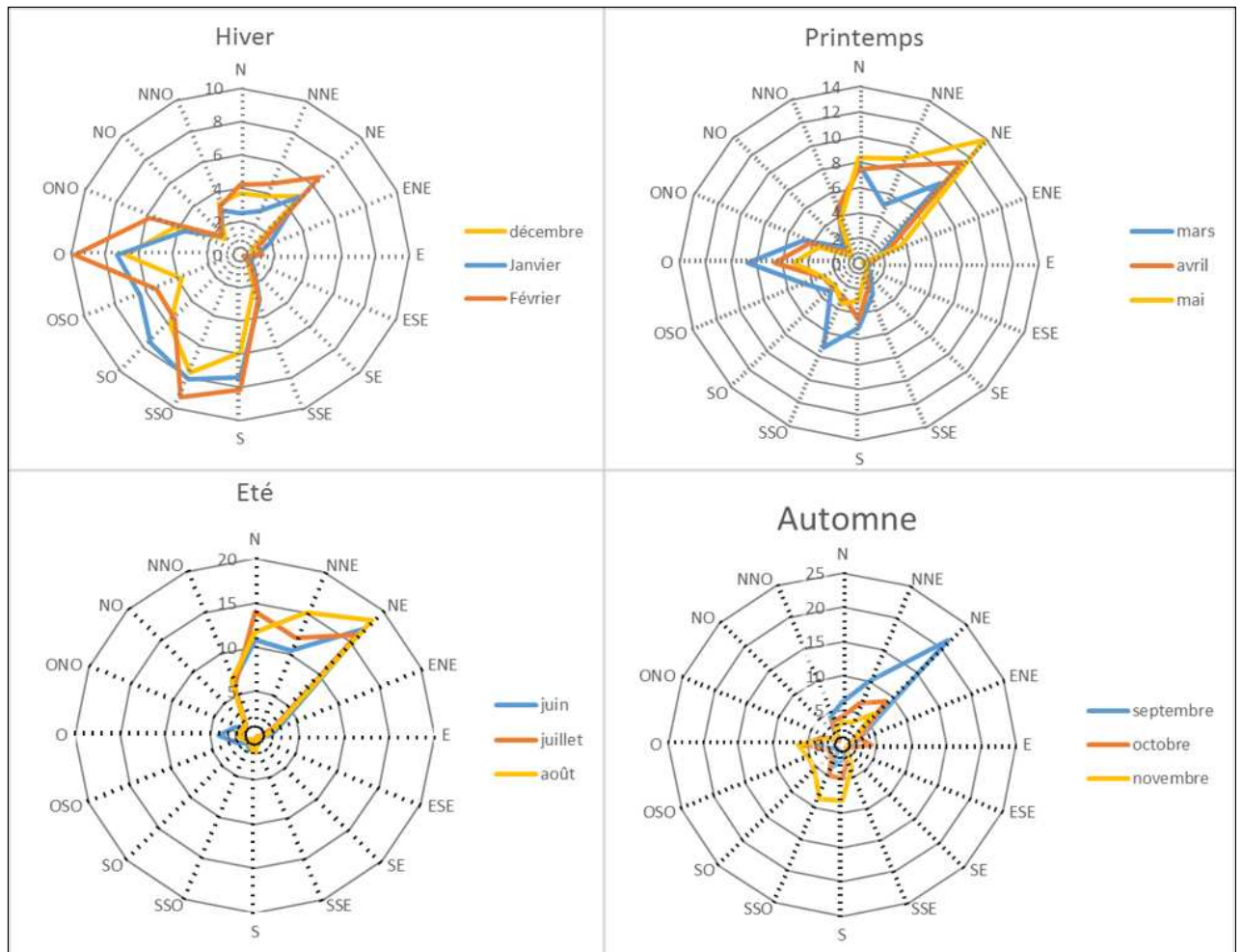


Figure 8: Roses des vents saisonniers : station Algiers (Données windguru, 2005-2016)

**Conclusion**

La côte algéroise bénéficie d'un climat tempéré. Elle est connue par ses longs étés chauds et sèches. Les hivers sont doux et humides. Les pluies sont abondantes et peuvent être diluviennes. (Figure 09)

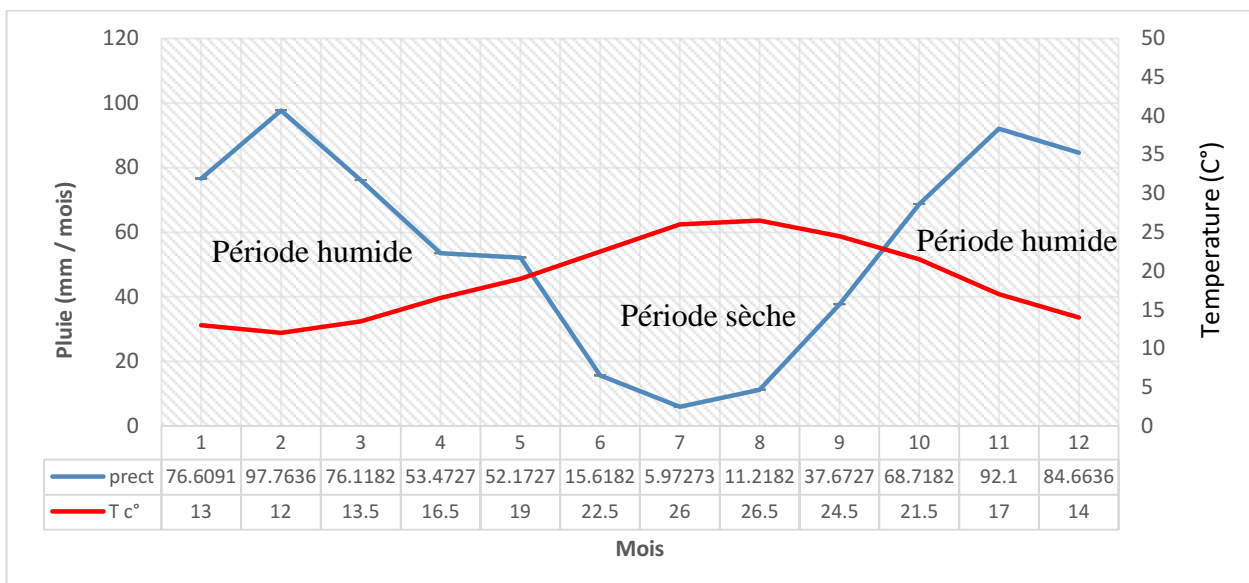


Figure 9: Diagramme ombrothermique de Gausse. (2005-2016)

1.2.5 Cadre hydrographique

Le réseau hydrographique de la côte Ouest algéroise est constitué essentiellement de deux cours d'eaux importantes affectent bien la morpho-dynamique côtière : oued Mazafran qui représente la limite ouest de la côte et oued Beni Messous (Figure 10).

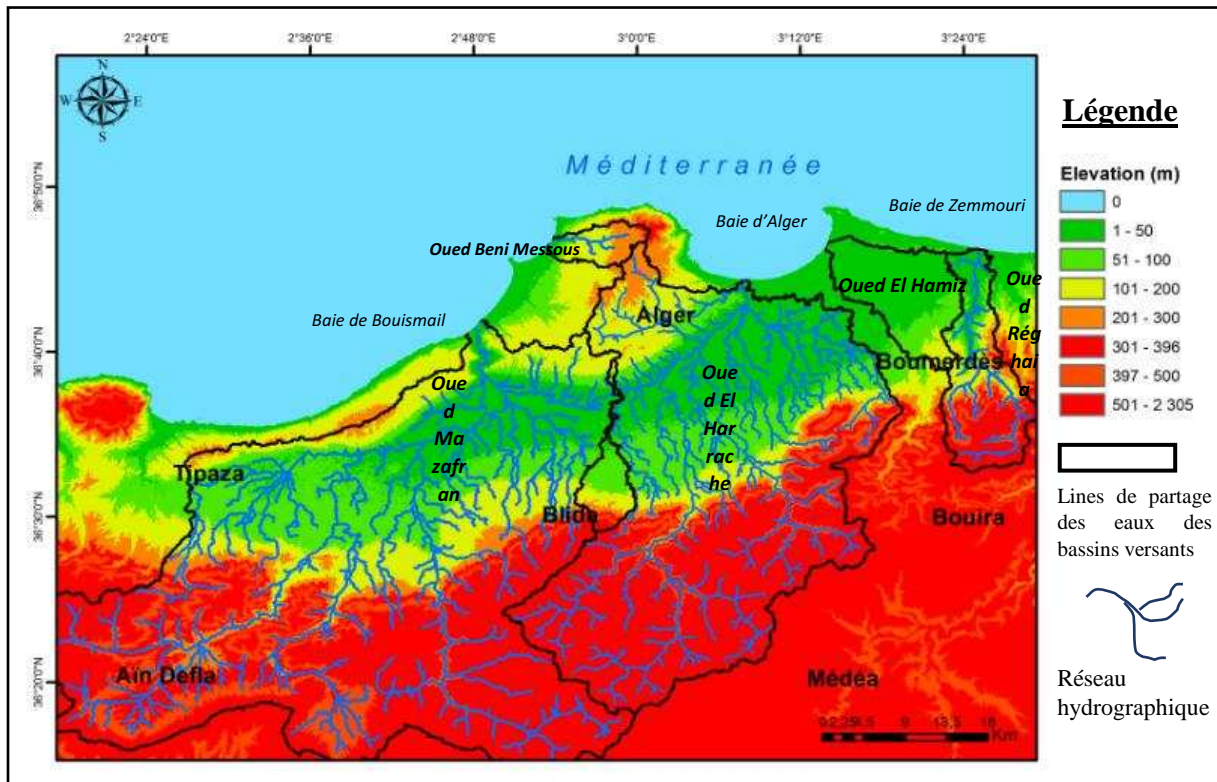


Figure 10: Bassins versants et réseau hydrographique de la côte Algéroise.

**Oued Mazafran** : est le plus important de la côte algéroise, il se situe à la frontière Ouest de la Wilaya d'Alger au niveau de la commune de Zeralda.

Caractérisé par un bassin versant assez vaste, dont la source est au niveau de la plaine de Matidja. La pluviométrie moyenne, au niveau de ce bassin, est de 720 mm/an (INRH,2014) (CNERU GROUPE, 2004). C'est un acteur important qui intervient dans l'évolution de la morphologie côtière de la baie de Bouismail.

La plus grande surface est occupée par des formations érodables de schistes, des marnes et de calcaire du crétacé de Blida ainsi que des marnes bleues du miocène inférieur et du pliocène. En effet, l'Oued Mazafran qui est un oued à fort débit, cependant, il se caractérise par un long étiage de six mois et des crues d'hiver et de printemps soudaines, fortes et rapides. Les aménagements existants sur ce cours d'eau sont : les barrages de

Béni Amrane, de Ladrat et de Koudiat Asserdoun. La nature des apports en suspension présente également une large variabilité dans le temps. Les suspensions d'hiver presque entièrement minérales et très abondantes pendant les crues fournissent l'essentiel des apports à la mer. Les suspensions d'été, à peu près exclusivement organiques, sont assez abondantes. Le débit solide de l'oued est évalué à 5,4 millions de m<sup>3</sup>/an. (LEM, 1999)

Oued beni Messous : se débouche dans la baie d'El Djamila au niveau de la plage des Dunes dans les limites entre la commune de Ain el Beniane et Cheraga, son bassin est relativement réduit, son débit est faible. (BENALLAOUA, 2013).

### **1.3 Cadre géomorphologique et géologique**

#### **1.3.1 Cadre géomorphologique**

Le littoral est un espace particulier, à l'interface de la lithosphère, de l'atmosphère et de l'hydrosphère. (MEDDTL, 2010)

##### **➤ Le Plateau continentale**

Toutes les caractéristiques de la marge continentale algérienne se retrouvent au niveau de la région algéroise. Ainsi la marge continentale des baies d'Alger et de Bouismail se caractérisent par une extension remarquable. Ces deux baies sont géographiquement séparées par le massif de La Bouzaréah. (BAKALEM, 2008), Aux secteurs littoraux dont les altitudes sont élevées correspondent un plateau continental réduit (Chenoua, Cap de Fer, Bouzareh, Cap Djinet). Par contre, en face des baies où l'orogénie est peu active, le plateau est plus développé (baie de Bouismail, d'Alger) où se trouve les cours d'eaux les plus important. (CNERU GROUPE, 2004)

La cartographie permet d'évaluer le littoral à l'échelle régionale, en termes de comportement probable de chaque type côtier (FAIRBANK, et al., 2006). L'élaboration d'une carte synthétique de la géomorphologie côtière (figure 11) à l'aide de SIG nous a donné une vue d'ensemble des différents traits morphologiques de la zone.



Figure 11: Distribution simplifiée des différents types géomorphologiques de côte de la wilaya d'Alger.

### ➤ Les Cordons dunaires

Les grands champs de dunes accompagnent presque toujours les plages bien alimentées en sable (PASKOFF, 2010). Le système plage-dunes doit être considéré comme un système unique. L'évolution de la côte dépend du bilan sédimentaire de ce système, qui doit être évalué et suivi au sein des différentes cellules hydro-sédimentaires, unités fonctionnelles de base du fonctionnement côtier. (LEY DE LA VEGAL, et al., 2012)

Malheureusement, le long de la côte Ouest d'Alger, la dégradation des systèmes dunaires est surtout due à la grande urbanisation, les constructions incontrôlées des structures de plage et l'extraction de sable pour les constructions (AMIS, 2004). Son rivage est caractérisé actuellement par un seul ensemble dunaire, les dunes de Zeralda à l'ouest. Les observations menées sur terrains ont permis de constater l'état dégradé de ces derniers (Figure 12), résultats de l'arasement pour porter les nouveaux hôtels de Khaloufi.



Figure 12: Illustration de l'état dégradé des dunes de Zeralda

➤ **Les plages**

La majorité des plages de la zone sont sableuses, qui ne diffère que dans la forme entre plage rectiligne et de poche ou de pied de falaise.

Ce secteur est caractérisé par l'abondance des plages sableuses ouvertes le long de la baie d'El Djamila jusqu'à oued Mazafran (tableau 1), et la présence des plages de poche et de pied de falaise au niveau du linéaire rocheux à l'est.

Tableau 1 : listes des plages de la côte ouest algéroise

<b>Azur Plage</b>	A l'ouest de Zeralda, 550 m de long, 50 m de de largeur, sédiments moyens	Staoueli
<b>Palm Beach</b>	Est de l'oued Mazafran, longueur de 150 m, largeur moyenne de 50 m à sable fin à moyen	Staoueli
<b>Sidi Fredj Oest</b>	250 m de longueur ; largeur de 20 m, sable sur la partie Ouest de la presqu'île de Sidi Fredj, a quasiment disparu. Quelques taches de sables fins à moyens persistent du côté Est	Staoueli
<b>Thalassothérapie</b>	Ouest de la presqu'île, continuité de la plage Ouest, coincée entre les promontoires rocheux à l'Est et un épi à l'Ouest. Aucun sédiment ne lui parvient naturellement. Sa longueur de 300 m,	Staoueli
<b>Sidi-Fredj Est</b>	Est de l'hôtel Riadh. Sa de longueur est 250m, sa de largeur de 40 m à sable fin	Staoueli
<b>El-Riadh</b>	Sa longueur est de 120 m, sa largeur de 10 m, sédiments fins à Moyens	Staoueli
<b>El-Menzeh</b>	Plage de Riadh - plage El Menzeh proximité des ouvrages de protection. Sa longueur est de 200 m, sa largeur est de 20m, les sables sont fins	Staoueli
<b>Moretti</b>	A l'Est de la plage Minzah d'une longueur de 800m et une largeur de 45m à sable fin	Staoueli
<b>Sahel</b>	700m de longueur ; 30m de largeur ; sable fin	Staoueli
<b>Kheloufi 1</b>	1800m de longueur ; 150m de largeur, sable fin	Zeralda

<b>Kheloufi 2</b>	1000m de longueur ; 150m de largeur, sable fin	Zeralda
<b>Familiale</b>	1000m de longueur ; 150m de largeur, sable fin	Zeralda
<b>Champ de tire 1</b>	1000m de longueur ; 150m de largeur, sable fin	Zeralda
<b>Complexe touristique</b>	800m de longueur ; 20m de largeur, sable fin	Zeralda
<b>Sable d'or</b>	800m de longueur ; 40m de largeur, sable fin	Zeralda
<b>les Dauphins</b>	De longueur 400m, de largeur 30m, sédiments moyens à grossier, plage dégradée	Cheraga
<b>Club des Pins</b>	420m de longueur, 40m de largeur, sable fin	Cheraga
<b>les Dunes</b>	150m, de largeur 40m, sédiments moyens à grossiers. Erosion et pollution	Cheraga
<b>El Bahdja</b>	1200 m de longueur, 30 m de largeur, sable moyenne et érosion	Ain Benian
<b>Jeunesse</b>	200 m de longueur, 30 m de largeur, sable moyenne	Ain Benian
<b>Méditerranée</b>	400m de longueur ; 20m de largeur ; sable moyenne, érosion	Ain Benian
<b>El Djemila</b>	200m de longueur ; 20m de largeur ; sable moyenne ; érosion	Ain Benian
<b>Ain Benian</b>	150m de longueur ; 30m de largeur ; sable moyenne, érosion	Ain Benian
<b>L'îlot</b>	De longueur 300m ; de largeur 20m ; galets, présence de gravats, à l'est du port d'El Djamilia	Ain Benian
<b>Grand rocher</b>	300m de longueur ; 20m de largeur ; granulométrie galets, présence de gravats	Ain Benian
<b>La fontaine</b>	250m de longueur ; 20m de largeur ; sable grossier et galets, présence de gravats	Ain Benian

➤ **Les falaises**

La présence des falaises et des côtes rocheuses est limitée qu'au secteur ouest et est où des plages de sable doré entre coupées arrivent jusqu'aux pieds de ces dernières offrant une vue pittoresque et augmentent l'attrait touristique de cette zone. (CNERU GROUPE, 2004)

Le tableau 2 suivant reporte la liste des falaises de la cote algéroise selon le rapport de cadastre d'Alger 2004.

Tableau 2 : liste des falaises de la côte ouest algéroise

<b>Nom de la falaise</b>	<b>Extension</b>
Falaise de Bab el Oued	El Kettani - Qaâ Essour

Falaise de Bologhine	Rais City - Rais Hamidou, Eden, Petit Bassin, Deux Chameaux, Poudrière
Falaise de Rais Hamidou	À l'est de la plage Réserve
Falaise de Ain Benian	À l'est du port de El Djamila
Falaise de Hammamet	Presque toute la côte de la commune de Hammamet
Falaise de Staouali	Cape de Sidi Fredj

### 1.3.2 Cadre géologique

#### ➤ Géologie régionale

La géologie de la région algéroise connue sous le nom de massif d'Alger (SEKKAL, 1986), est constituée d'un socle métamorphique primaire au niveau de cap Matifou et au mont Bouzaréah, bordé de part et d'autre de dépôts sédimentaires du Sahel et de la Mitidja. (MESSAOUD, 1987)

#### ➤ Stratigraphie de la région

La région d'Alger a connu une très grande lacune de sédimentation au cours du Secondaire et de base du Tertiaire (Éocène-Oligocène) seul le Primaire et le Mio-plio-quaternaire y est représenté, mais la formation la plus importante est celle du quaternaire. (BOUGHERARA, 2011)

Le faciès du Quaternaire marin, largement représenté tout le long du littoral, présente une succession de couches qui débutent par un calcaire coquillier (connue aussi sous le nom de lumachelle), puis viennent ensuite un grès, les dépôts de plage (qui terminent l'épisode marin) et enfin les dépôts dunaires, plus lapidifiés (terrasses plus récentes). Les dépôts marins peuvent atteindre 10 mètres d'épaisseur alors que les dépôts éoliens atteignent une trentaine de mètres d'épaisseur. (SOGREAH, 2010)

#### ➤ Géologie locale

Plusieurs faciès se distinguent le long du littoral essentiellement (figure 13) :

**Le cordon littoral dunaire** : il s'agit des bandes sableuses qui s'étalent parallèlement au rivage. Elles se développent dans les rives de l'oued El Harrach et Bordj El Bahri dans la baie d'Alger et le long de la baie d'El Djamila à l'ouest. Et des dunes consolidées au niveau du promontoire rocheux à l'ouest de Bouzaréah et l'arrière-pays de ce secteur.

**Le massif de Bouzaréah ou le massif d'Alger :** Ce relief est constitué de roches cristallophyllienne, de mica et de schiste, les bords nord de ce massif sont caractérisés par des barrières de Terraces marines.

Le substratum métamorphique de la presqu'île de Sidi Fredj d'El Marsa est constitué de granites et de gneiss de largement fissurés et diaclases. (NADIR, 2016)

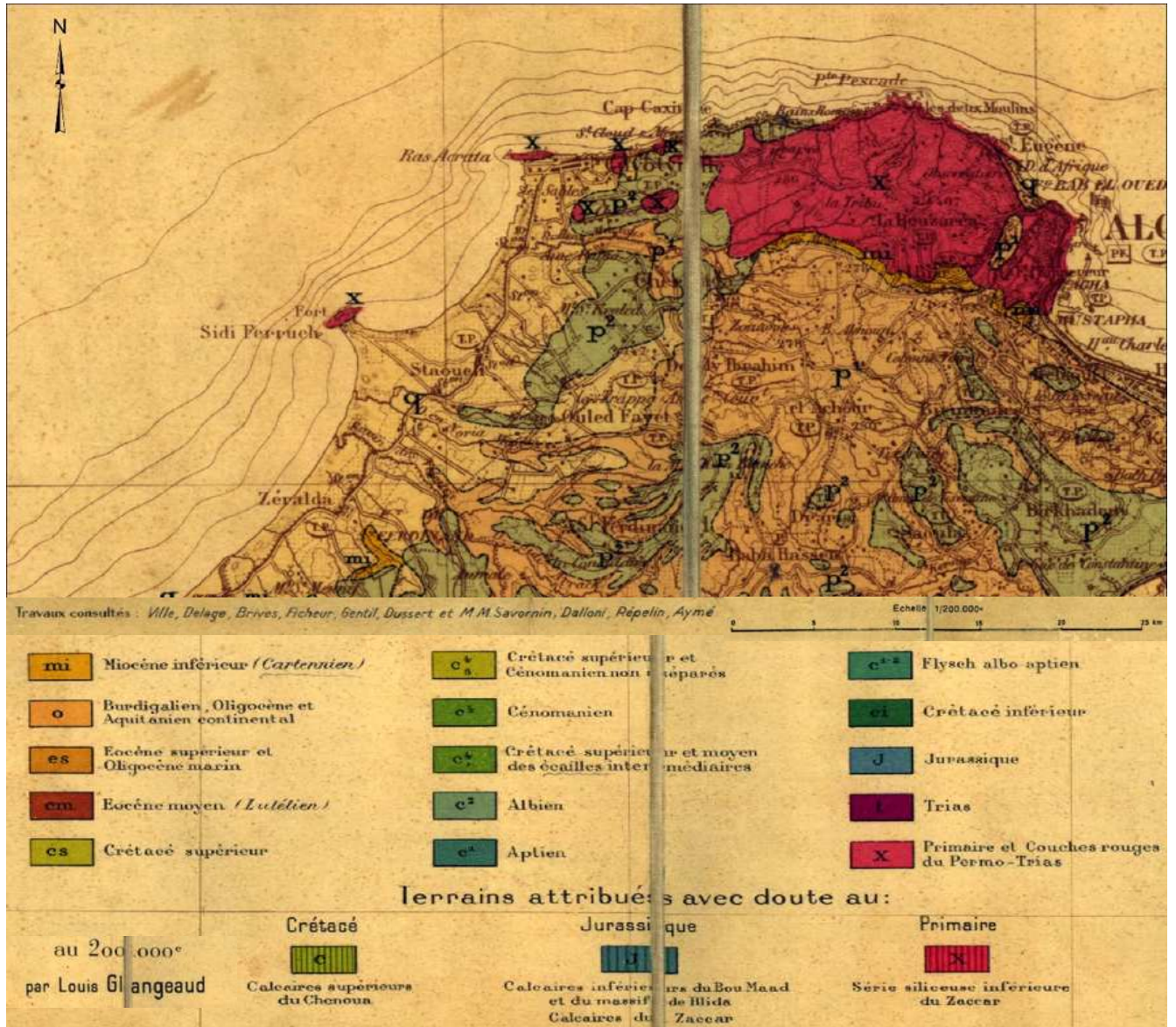


Figure 13: Carte géologique de la côte Ouest algéroise (GLANGEAUD, 1936),(Source : INCT)

## 1.4 Cadre océanographique

Les côtes évoluent par érosion et sédimentation. Ces phénomènes s'expliquent d'abord par le jeu des vagues et des marées ainsi que par celui des courants qu'elles engendrent. (PASKOFF, 2010)

Le Nivellement Général Algérien (niveau NGA) se trouve à + 0,34 m par rapport au Zéro hydrographique (Zéro Carte Marine) (SOGREAH, 2010) comme présenté sur la figure 14. Les données altimétriques acquiescent dans ce travail ont été homogénéisées dans un système unique prenant comme référence le Zéro NGA

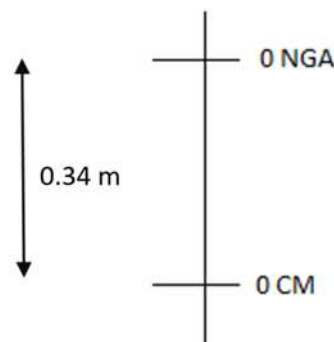


Figure 14: Correspondance entre les systèmes altimétrique NGA et ZH à Alger.

### 1.4.1 La marée et les variations du niveau d'eau marin

La marée est un mouvement périodique qui affecte le niveau général des océans et des mers. Combinée à la force d'inertie générée par les mouvements orbitale de la terre. (MEDDTL, 2010)

Pour la marée en Algérie, le port de référence est Alger. La marée astronomique à Alger est de type semi-diurne micro-tidale. En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm (marée de vives-eaux) et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm (marée de mortes eaux). Elle est masquée le plus souvent par les surélévations ou l'abaissement du niveau de la mer du aux conditions climatiques (Pression atmosphérique, ravale des vents ...etc.) (SOGREAH, 2010)

### 1.4.2 Les courants

Un courant est un déplacement d'une masse d'eau, c'est le moteur principal de la morphodynamique côtière (MIOSSEC, 2009).

Les courants le long d'une côte sont en général de quatre types : les courants généraux, les courants de marée, les courants de dérive dus au vent et les courants générés par la houle. Les trois premiers types peuvent être considérés comme négligeables le long du littoral de la wilaya d'Alger : (EGIS EAU, IAU-IDF, BRGM, 2013)

- Ils sont liés à la circulation de grandes masses d'eau océaniques et ne se font sentir qu'au de large.
- Les courants de marée sont faibles,
- Les courants dus au vent ne dépassent pas 15 à 20 cm/s et ne concernent que la partie superficielle de la masse d'eau.

Seuls les courants dus à la houle sont susceptibles d'agir sur le transit littoral dont :

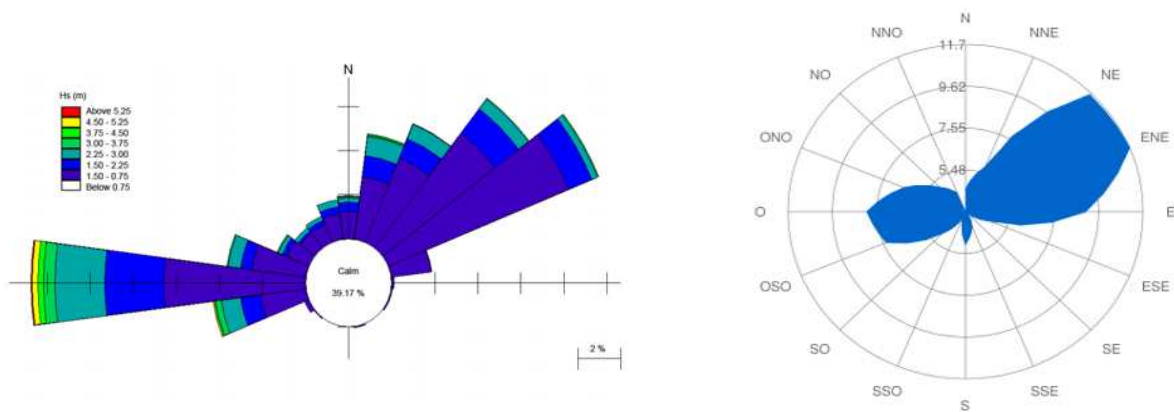
- Les courants de translation et de compensation,
- Les courants de retour,
- La dérive littorale,
- Les courants d'expansion latérale.

### **1.4.3 La houle**

Dans le littoral algérois, les houles ont un régime saisonnier comme le reste du précontinent algérien (LECLAIRE, 1972). C'est un paramètre hydrodynamique qui dépend directement des vents et qui joue un rôle important dans la zone de déferlement (OTMANI, 2014).

Pour l'étude de la houle près de la côte on dispose des statistiques de houle disponibles sur le site internet Wisuki basées sur des données recueillies depuis 01 Janvier 2012 de la station Alger port dirigée par l'Agence Interactive Cool Z. La présentation de ces données a été faite sous Excel selon nos intérêt (Figure 16).

Pour l'analyse des houles au de large on a recours aux données MEDATLAS développées durant les années 1999-2004. Ces données au large de la baie d'Alger sont disponibles au point de coordonnées 37°N e 3°E, à une profondeur d'environ 2500m (AMIS, 2004) (Annexen°1)



Rose des houles annuelle au large d'Alger  
(Groupe AMIS, 2004)

Rose des houles annuelle station Alger port (WISUKI, 2012-2016)

Figure 15 : Rose des houles annuelle au large

L'analyse des roses des houles annuelles et saisonnière (Figure15) et les histogrammes des fréquences d'apparition des hauteurs de la houle significative par rapport à la direction ci-dessous (Figure 15), nous permis de constater ce que :

- Le régime des houles est pratiquement semblable à celui des vents, ce qui nous permet de confirmer le constat que ce dernier est le moteur principal de ces houles.
- La dominance de deux secteurs ouest et nord-est.
- Les houles de secteur ouest dominant pendant la période hivernale et sont caractérisés par l'apparition des houles de tempêtes avec des hauteurs maximales qui dépassent les 5 m.
- Les houles de secteur nord-est dominant pendant la période estivale avec des houles plus calmes qui ne dépassent pas les 3 m.

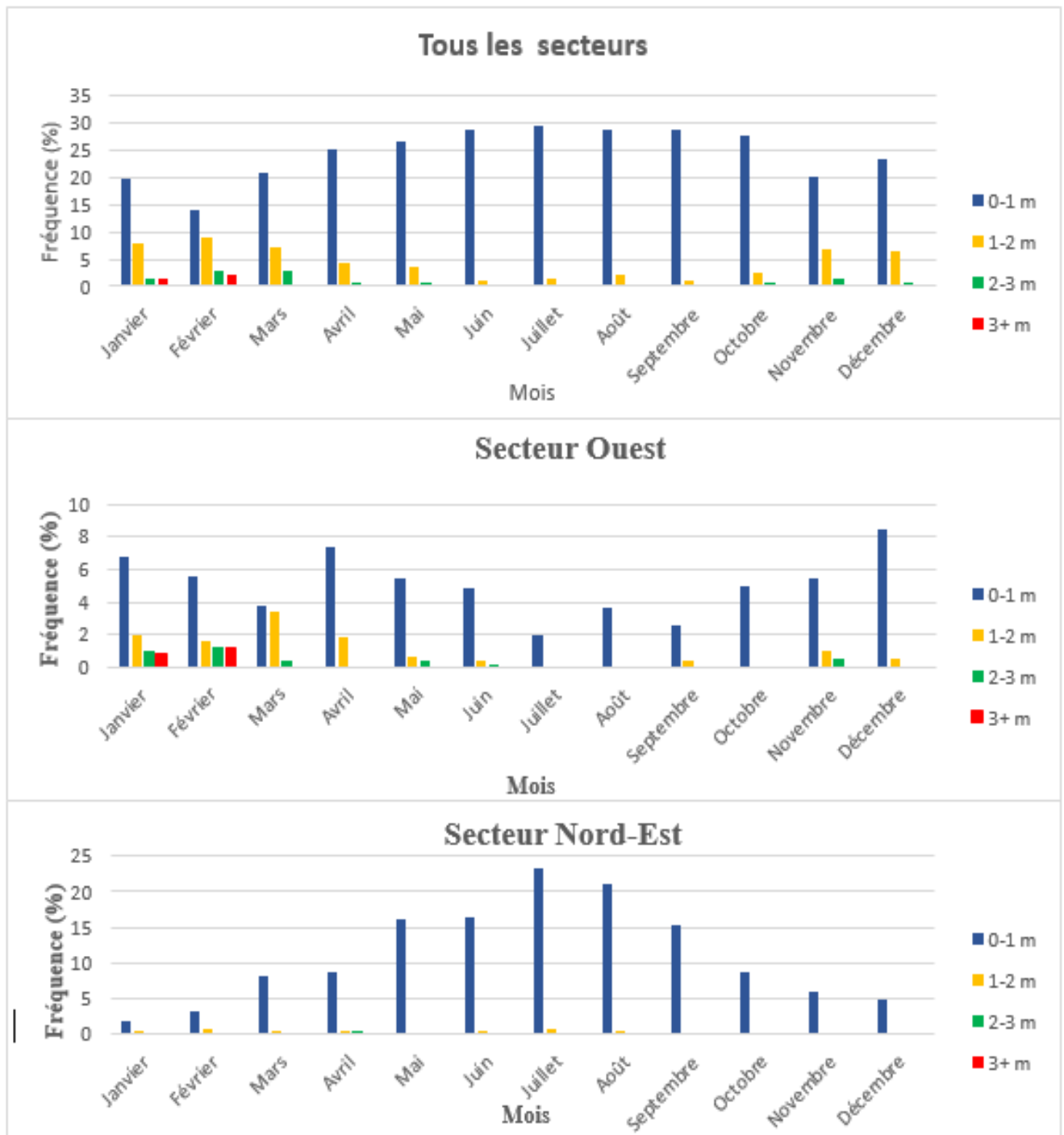


Figure 16: Fréquences des hauteurs de la houle pour la station Alger Port données Wiziku 01-01-2012 - 31-12-2016



# *Chapitre II*

## **2 Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude**

Dans ce chapitre l'objectif est de faire ressortir des indicateurs physiques, représentant les caractéristiques du comportement géomorphologique de toutes les plages accessibles dans notre zone, afin de les classer géomorphologiquement favorables ou pas pour le rechargement en sable, à travers la superposition de quelque processus agissant sur une gamme d'échelle temporelle allant du siècle à l'année, en termes :

- D'évolution des fonds avec deux levés bathymétriques ; un ancien de (1867-1868 et 1921) et un autre plus au moins récent entre 2005 et 2012,
- La cinématique du trait de côte avec des données de haute résolution acquises par le GPS différentielle (*DGPS*) et la photogrammétrie.

Une compréhension globale de cette évolution et des processus qui en sont responsables nécessite donc un suivi de la zone côtière à différentes échelles spatio-temporelle (JAUD, 2011).

### **2.1 Généralités**

#### **2.1.1 Le système côtier**

Le littoral est un espace particulier, à l'interface de la lithosphère, de l'atmosphère et de l'hydrosphère (MEDDTL, 2010), (PASKOFF, 2010), très dynamique par l'action de plusieurs facteurs (météorologiques, hydrologiques, géologiques et anthropiques) intervenants dans les différents processus côtiers (érosion, transport de la matière et accumulation).

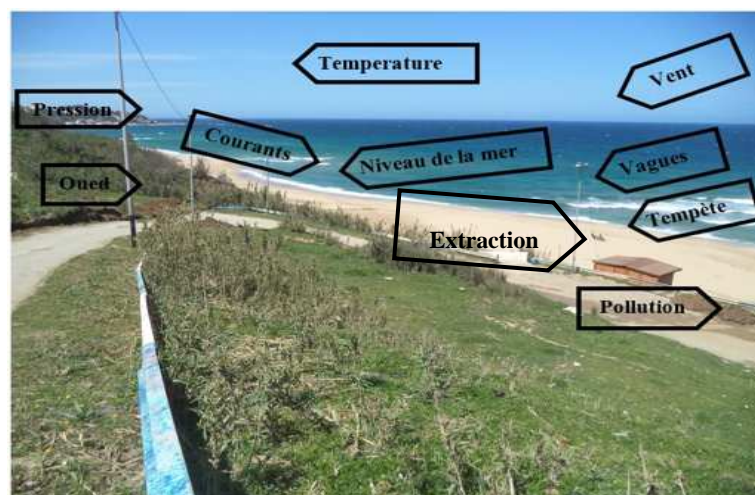


Figure 17 : Les pilotes physiques et humaines clés qui gouvernent les changements dans les systèmes côtiers.

**2.1.2 Facteurs intervenants dans la dynamique sédimentaire**

Les plages situées au sein de la zone côtière, qui comprend la zone de la plateforme continentale et celle de la côte où les processus morphodynamique sont déterminés par la dynamique marine, subissant des variations topo-bathymétriques sous l'action de la houle, des courants et du vent son développement vers la terre et vers la mer dépend de la typologie de la côte, de la plateforme continentale et du climat maritime de la zone (LEY DE LA VEGAL, et al., 2012).

Comprendre les facteurs et les processus clés des dynamiques côtières (Figure 18) dans une échelle spatio-temporelle (tableau 3) et les activités humaines le long de la côte est fondamental pour une gestion appropriée des problèmes de l'érosion côtière.

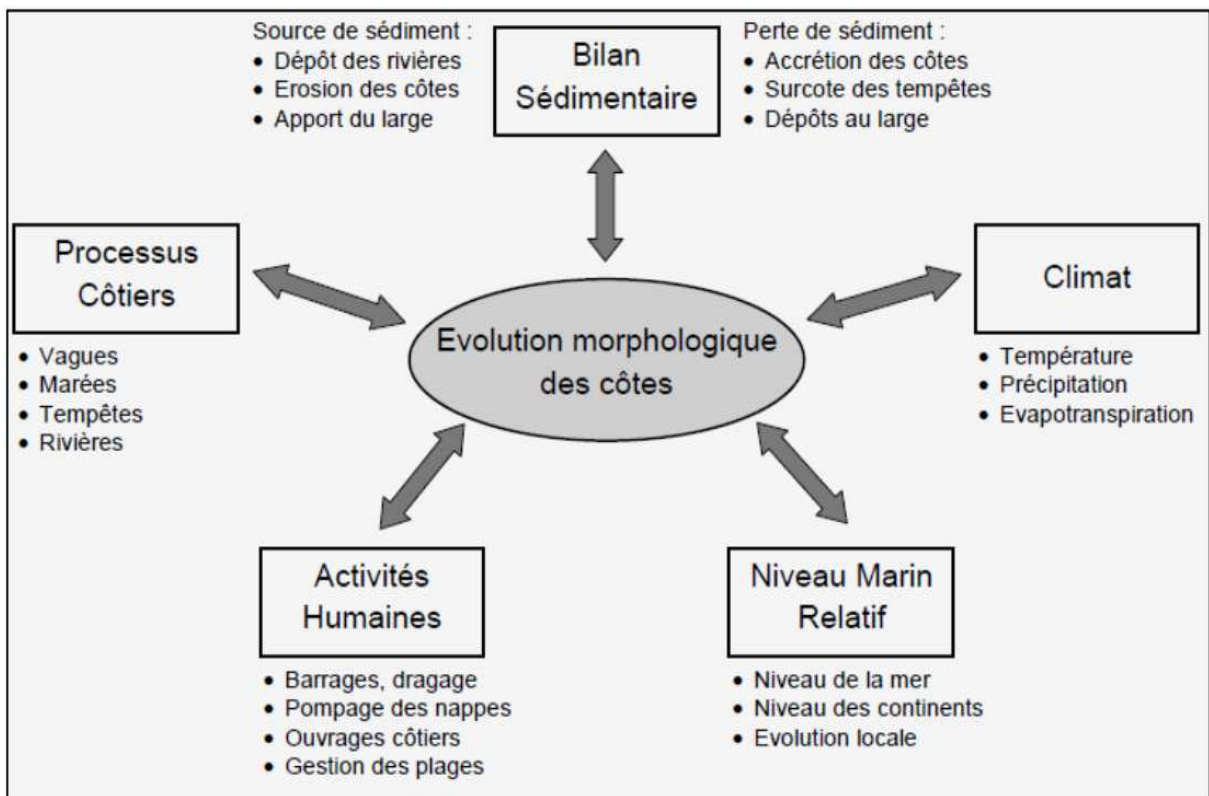


Figure 18 : Synthèse des paramètres influençant l'évolution morphologique des côtes (GRASSO, 2009)

Tableau 3 Résumé des facteurs naturels et les activités humaines qui modifient la ligne de côte (FAO,2005 in AMIS MAP)

Factor	Effects	Time scale									
		sec's	hours	days	months	years	10 years	50 years	100 years	1000 years	10.000 years
<b>Natural Factors</b>											
Short wave period	Erosion		Red	Red	Red						
Waves of small stepnees	Accretion		Blue	Blue	Blue						
Large wave height	Erosion		Red	Red	Red						
Storm surge	Erosion		Red	Red							
Alongshore currents	Accretion, no change or erosion		Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Rip currents	Erosion		Red	Red	Red						
Underflow	Erosion		Red	Red							
Overwash	Erosion		Red	Red							
Wind	Erosion		Red	Red	Red	Red	Red	Red	Red		
Sediment supply (source and sink)	Accretion or Erosion						Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Inlet presence	Net erosion; hig instability					Red	Red	Red	Red		
Sea level rise	Erosion								Red	Red	Red
Land subsidence (tectonic)	Accretion or Erosion					Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
<b>Human activities</b>											
Dredging	Erosion or Accretion					Yellow	Yellow				
Coastal defence	Erosion or Accretion						Yellow	Yellow			
Vegetation clearing	Erosion						Red	Red			
Harbour development	Erosion or accretion						Yellow	Yellow			
River damming	Erosion							Red	Red		
Land reclamation	Erosion								Red	Red	

Le mouvement des sédiments est engendré majoritairement par l'action de 03 facteurs ;

- La houle qui régit deux types importants, le transit littoral parallèlement à la côte et le mouvement dans le profil (Figure 19).
- Le vent par le transport éolien au niveau de la plage aérienne
- Et les courants par l'entraînement des sédiments si la contrainte de cisaillement des grains est suffisante.

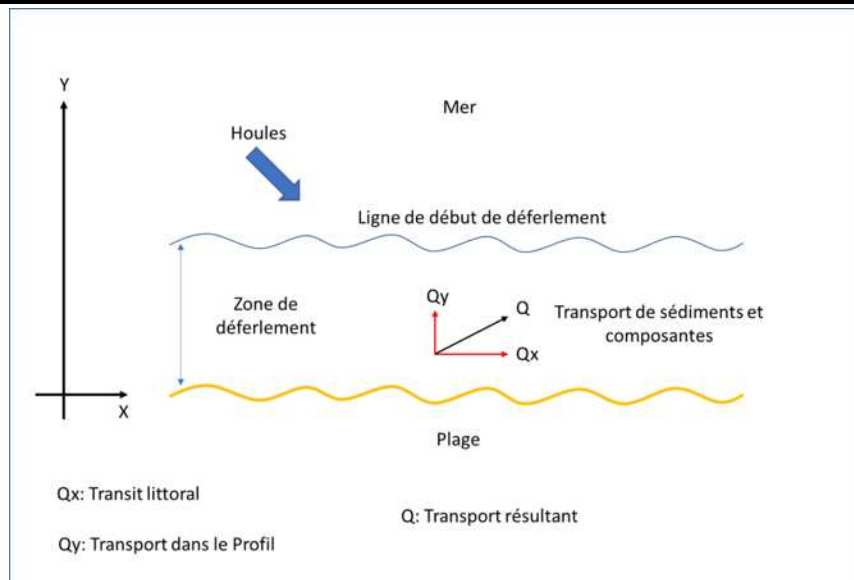


Figure 19: Schéma des mouvements sédimentaires engendrés par la houle

### 2.1.3 Profondeur de fermeture

Profondeur maximale au-dessous de laquelle les sédiments ne sont plus remis en mouvement par l'action de la houle (MOUREAU, et al., 1993). L'effet de la houle sur le transport dans le profil est capital et notamment celui des tempêtes, malgré leur faible probabilité d'occurrence (LATTEUX, 2008), (CAPOBIANCO, et al., 2002).

Parmi les formules empiriques les plus utilisées pour l'estimation de cette profondeur, et se trouve être basée sur les caractéristiques de la houle celle de Hallermeier (1978) (LEM, et al., 2010), (LOUATI, et al., 2009), (DEAN, et al., 2004), (FRANCOIS, et al., 2004):

$$d_l = 2.28 H_{s(12h)} - 68.5 (H_{s(12h)}^2 / g T_s^2) \dots\dots\dots (\text{Équation 1})$$

Avec :

- $d_l$  : Profondeur limite d'action de la houle
- $H_s$  : Hauteur significative dépassée 12 heures par an soit 0.137%
- $T_s$  : Période significative associée
- $g$  : L'accélération de pesanteur

L'analyse statistique des houles au large de Sidi Fredj des mois de janvier et février 2017 conduit à un  $H_s$  (12h) compris entre 4.4 et 4.8 m, la période de pique associé est de 9 seconde. Dans ces conditions la profondeur limite serait comprise entre 8.4 et 9 m.

## 2.2 Evolution des fonds

On a abordé l'évolution des fonds de l'avant plage pour savoir s'il y a un déplacement considérable des masses sédimentaires dans la zone et ce, durant la période centennale passée,

## **Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude**

et de comprendre d'une façon globale les tendances remarquables de leurs variations, et donc de constater s'ils se sont abaissés ou rehaussés (phénomène de sédimentation). Les résultats vont être à titre indicatif avec la prise en considération des précautions indiquées en-dessous

### **2.2.1 Acquisition des données, conditions et précautions de la méthode**

L'étude est basée sur la comparaison entre les deux levés bathymétriques ancien du Service Hydrographique des Forces Navale (SHFN) et récent de Navionic, par la superposition des modèles numériques de terrain (MNT) des deux levés et la détermination du différentiel d'évolution entre les surfaces après interpolation à l'aide de systèmes d'informations géographiques (SIG).

#### **➤ Conditions de la méthode**

Plusieurs conditions indispensables à la superposition de ces deux modèles et la création d'un modèle d'évolution suffisamment fiable sont accomplies (LOUATI, et al., 2009) :

- Les deux cartes ont des échelles comparables (1/120 000 pour le levé SHFN et 1/100 000 pour celle de Navionic).
- Les données bathymétriques ont la même référence spatiale.
- Le niveau de référence altimétrique est le même lors des deux périodes de levés.

Les levés bathymétriques ont été obtenus par extraction numérique après géoréférencement dans le système de projection WGS1984 UTM Zone 31 à partir des deux cartes à l'aide du logiciel ArcGIS 10.2.2 (Figure 20).

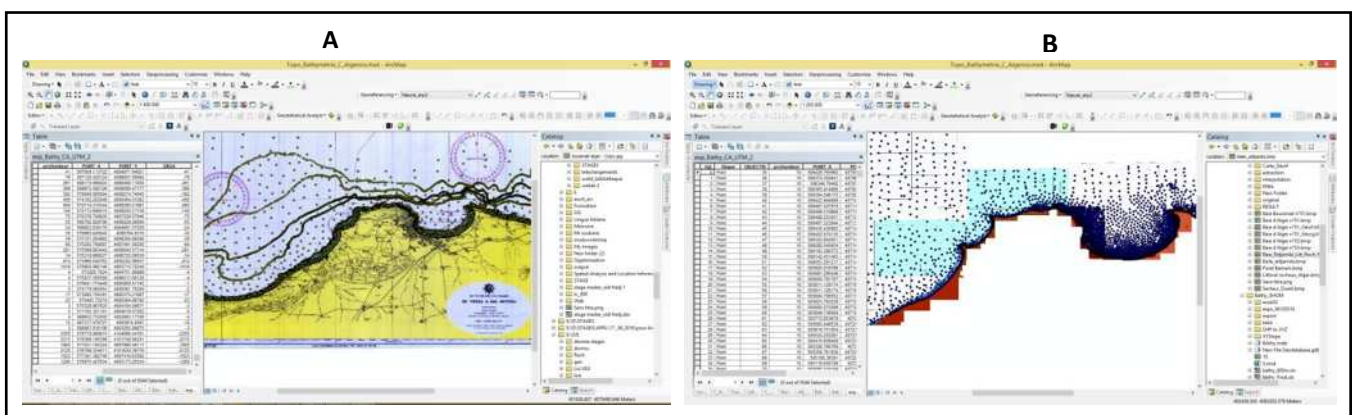


Figure 20: Captures d'écran de l'étape d'extraction de la bathymétrie ; A- Du SHFN - B- Du Navionic, dans l'espace de travail ArcMap

#### **➤ Précautions**

On précise que les résultats obtenus doivent être considérés avec les précautions suivants (LEM, et al., 2010), (LOUATI, et al., 2009):

## Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude

- La marge d'erreur qui est suffisamment large, à la fois horizontale et verticale.
- La période entre les levés est très importante, des aménagements et des actions anthropiques ont pu être réalisés (extraction de granulat, clapage, dragage ...etc.)
- La densité des points du levé de la carte SHFN est faible par rapport à celle de Navionic.

### ➤ Méthodologie de traitement des données

Les données extraites ont subi successivement un traitement similaire par les outils : Spatial Analyst Tools et 3D Analyst Tools de Arc toolbox. Afin de performer le traitement, on a programmé une extension qu'on a nommé "Interpolation\_TIN" sous Model Builder (Outil de programmation intégré sur ArcGIS à base du langage python), qui nous permet de programmer des modèles de géotraitement. (Figure 21), (Annexe 02)

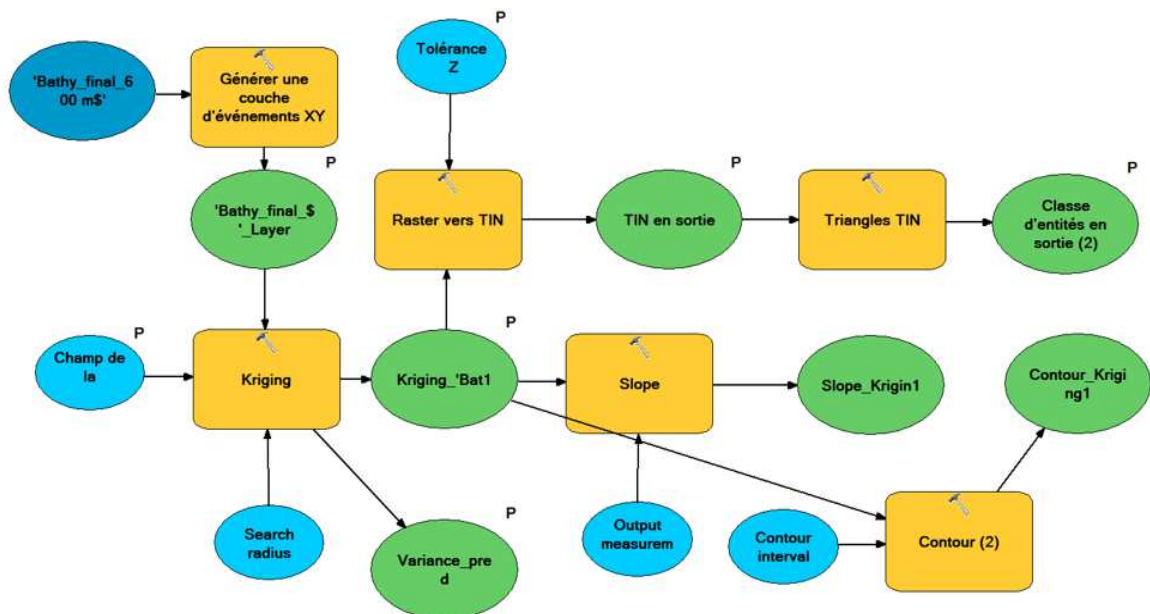


Figure 21 : Modèle de l'extension Interpolation\_TIN de traitement des fichiers bruts de la bathymétrie.

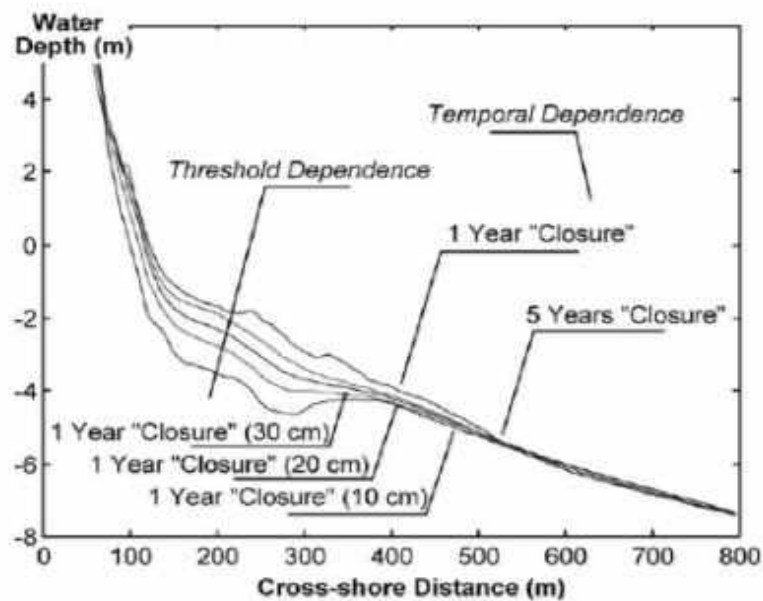
L'extension permet :

- 1- L'importation et l'affichage des tableaux de bathymétrie sous forme des points géoréférencés.
- 2- D'effectuer une interpolation « Kriging » sur les nuages des points et la création des rasters en sortie.
- 3- La Conversion des rasters d'interpolation en raster \*TIN (Triangulation Irregular Network).
- 4- La Création des courbes de niveau (Isobathes) à partir des TIN.

5- La Création des rasters des pentes à partir des rasters d'interpolation.

On a adopté la méthode d'interpolation Kriging ordinaire car elle est la plus adéquate pour nos données qui sont dispersées d'une façon hétérogène et peu dense (DROUIN, et al., 2010), (ARUN, 2013) vue leur erreur moyenne quadratique qui se trouve plus faible que celle des autres méthodes pour cette configuration des données (LOUATI, et al., 2009).

Les cartes bathymétriques sont élaborées avec des mailles de 100 m<sup>2</sup>, de l'isobathe 5 m jusqu'à 100 m de profondeur, où on a préféré aller plus loin que la profondeur de fermeture. Sachant que la dl ne représente que les limites de la morphodynamique et non les limites de transport sédimentaire



(CAPOBIANCO, et al., 2002), (FRANCOIS, et al., 2004). En plus elle est dépendante des échelles spatiale et temporelle (CAPOBIANCO, et al., 2002) (Figure 22).

Figure 22 : Dépendance de la profondeur de fermeture en temps et en espace (CAPOBIANCO, et al., 2002).

**2.2.2 Estimation d'erreur**

Il est difficile d'estimer une marge d'erreur exacte, vue les précautions décrites précédemment qui doivent être prises en considération surtout pour la bathymétrie de la carte marine dont la marge d'erreur est estimée à 30 cm dans le vertical et à 20 m dans la position selon le SHOM. Contrairement aux levés de Navionic, qui sont d'une précision assez bonne, l'erreur altimétrique est de l'ordre centimétrique et de 10 m dans le positionnement (source : Site Navionic).

**2.2.3 Présentation des résultats**

➤ **Différentiel bathymétrique**

Les modèles numériques de terrains MNT permettent de distinguer deux aspects différents de la bathymétrie. Un accentué avec des isobathes très serrées et irrégulières dans l'est de la zone d'étude représenté par une côte rocheuse dont le plateau continental est très étroit, le deuxième est caractérisé par des fonds qui s'étalent faiblement et régulièrement vers le large dont les isobathes sont bien espacées jusqu'à 20 m de profondeur dans la baie d'El Djamila voir -50 m dans la baie de Bouismail.

La superposition des deux MNT, ancien et récent (Figure 23) montre bien la tendance érosive de l'avant côte du littoral rocheux à l'est de la zone d'étude et la partie Ouest de la baie d'El Djamila, contrairement à la partie est ainsi que la baie de Bouismail dont les fonds augmentent par sédimentation jusqu'à la profondeur de fermeture.

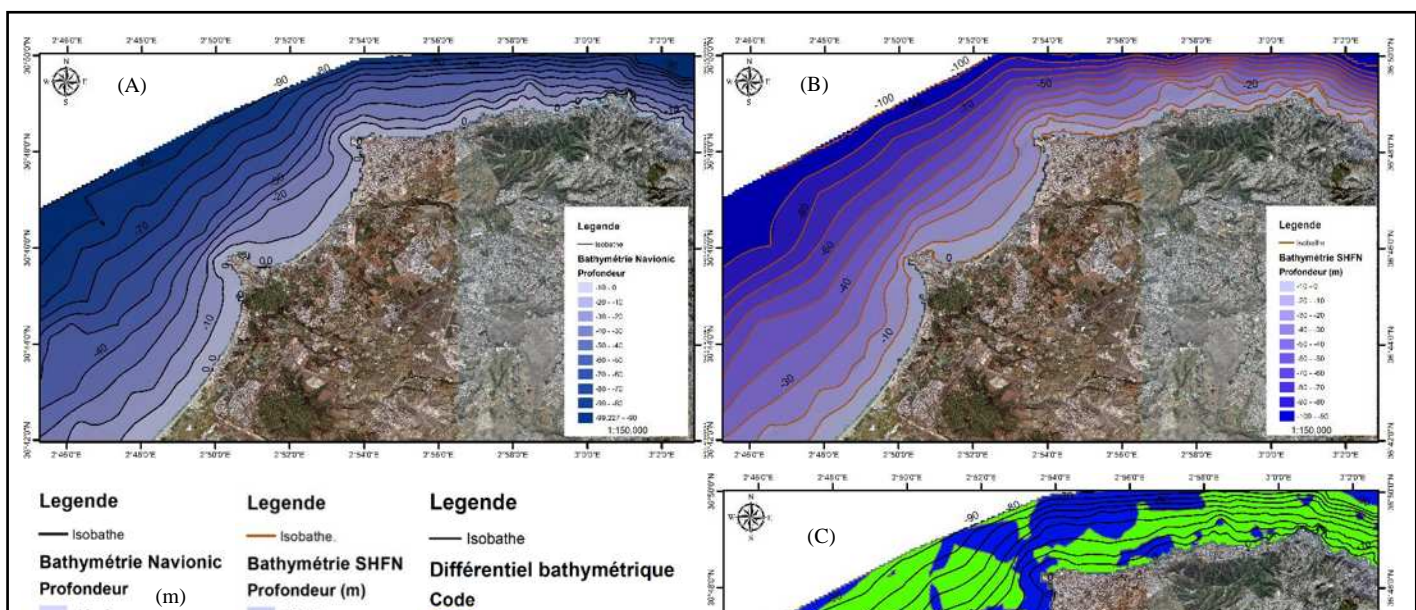


Figure 23 : Comparaison entre la bathymétrie de SHFN et de Navionic (A)- Bathymétrie Navionic –(B)- Bathymétrie SHFN –(C)- Différentiel bathymétrique.

➤ **La Pente**

L'étude des pentes permet une meilleure compréhension des processus de transfert des sédiments à petite échelle de temps (tempêtes) et à long terme (façonnage du plateau continental) et pour déterminer le sédiment à apposer il va falloir étudier du degré de la pente qui va partir du fond marin jusqu'aux abords de la plage. (BELKESSA, 2007)

La carte des pentes (Figure 24) montre une répartition logique similaire à la bathymétrie ; des fonds à forte pentes de 2.5 à 16 % le long du littoral rocheux et au niveau du cap Acrata ainsi qu'à Sidi Fredj, contrairement au deux baies El djamila et Bouismail où la pente de l'avant côte est douce et varie entre 0 et 2.5 %.

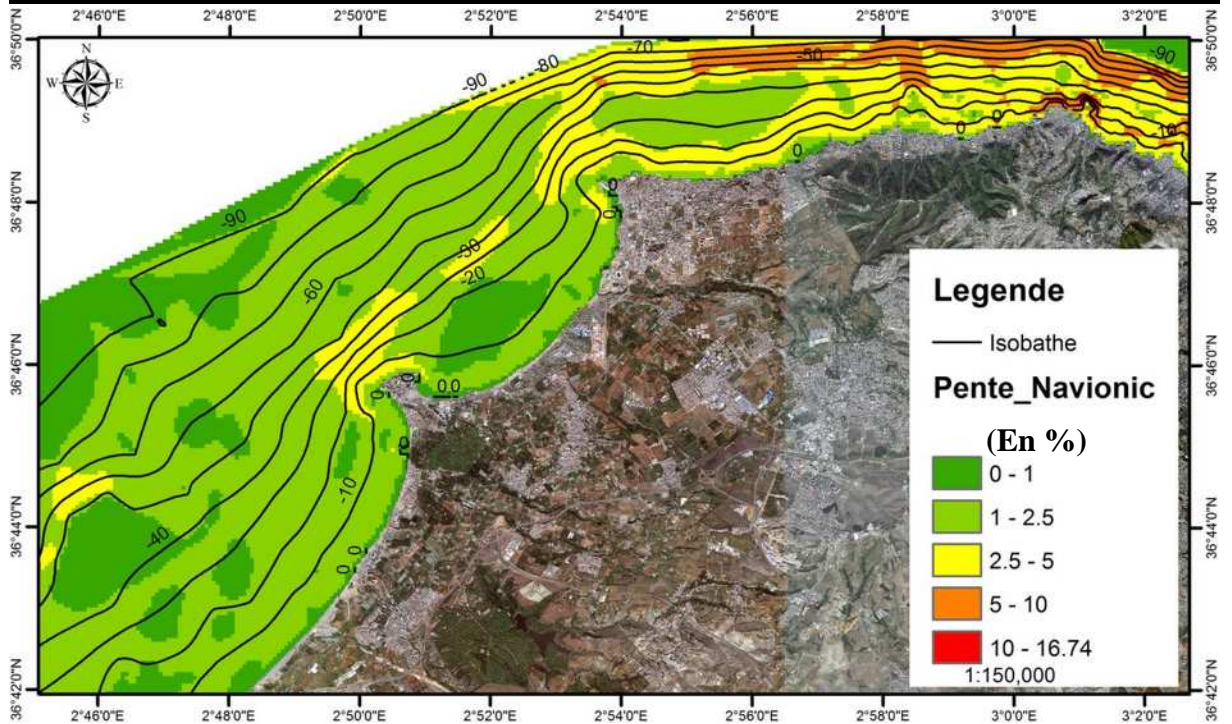


Figure 24 : Carte des pentes sous-marines de l'avant côte de la zone d'étude en (%)

➤ Aspect des Pentas

L'avantage de l'élaboration d'une carte des pentes (Figure 25) à l'aide de l'outil 3D Analyst Tools (Surface Aspect) est qu'elle décrit les caractéristiques de la pente (sa valeur, son orientation et sa longueur, ce qui nous donne une idée sur les zones où les pentes sont favorables à l'échappement des sédiments vers le large, et de ce fait, constitue le problème majeur de rechargement des plages (CAPOBIANCO, et al., 2002).

La carte des pentes montre mieux l'aspect accentué et brusque des fonds du littoral rocheux (zone favorable au transfert des sédiments vers le large). Les pentes de la baie d'El Djamila et de Bouismail sont faibles et longues ce qui permet de ralentir le déplacement des sédiments vers le large.

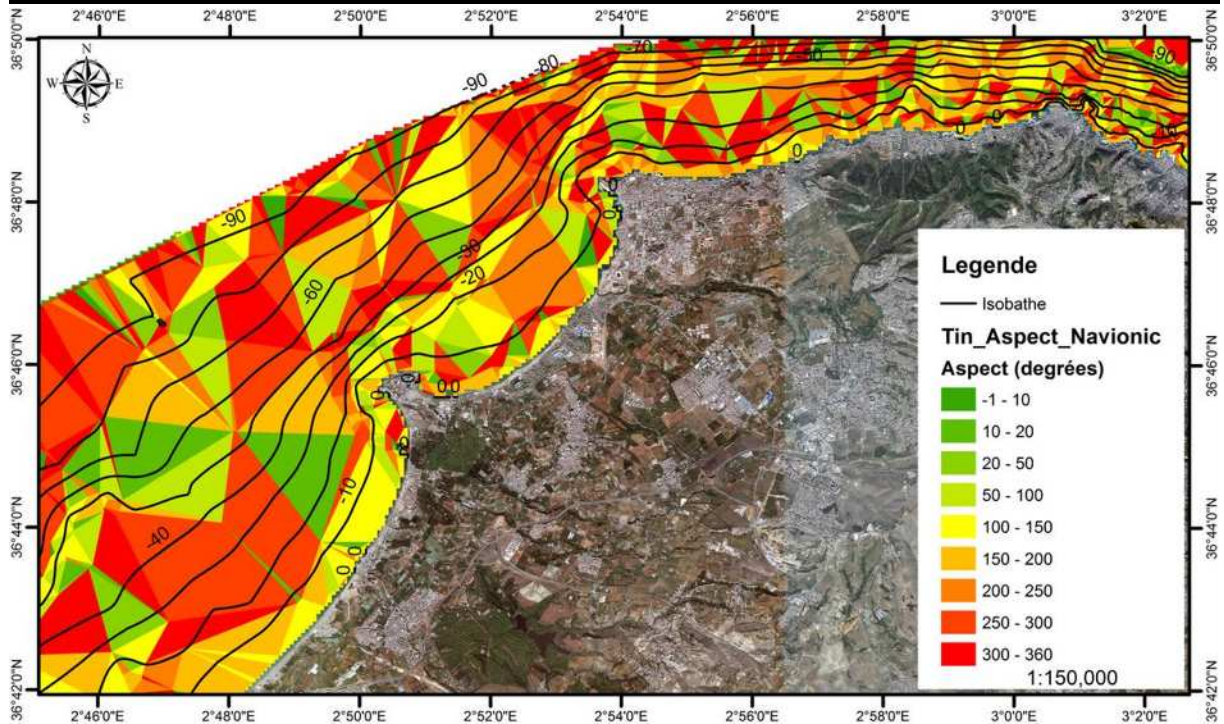


Figure 25: Aspect des pentes de l'avant côte de la zone d'étude

➤ **Variation des pentes**

La figure 26 représente les variations des pentes de l'avant côte de la zone élaborée à partir des MNT des deux levés Navionic et SHFN. La carte montre des variations très remarquables le long du littoral rocheux à l'est, contrairement à la baie d'El Djamila et de Bouismail qui ne présentent pas des variations remarquables.

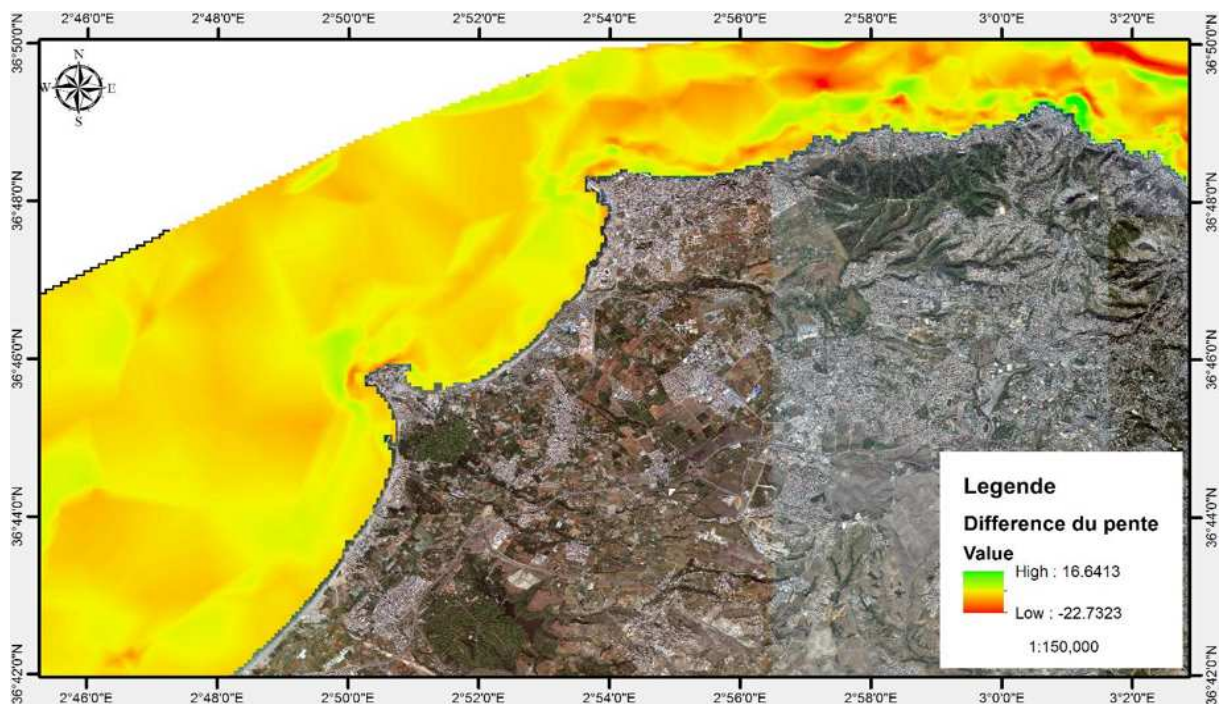


Figure 26: Variation des pentes de l'avant côte entre la période 1867-1921 et 2005/2012

**2.3 Etude de la cinématique du trait de côte et cartographie de l'érosion marine**

**2.3.1 Approche méthodologique**

Le choix de la méthodologie de suivi du trait de côte doit être en fonction des caractéristiques du milieu, des moyens et outils disponibles ainsi que les besoins en matière de précision. Dans le cadre de ce mémoire, nous avons opté pour la méthodologie proposée par le BRGM (Bureau de la Recherche Géologique et Minière) ; basée sur une logique de progression d'étapes à entreprendre (MELLETT, et al., 2012). L'organigramme synthétise l'application de ces différentes étapes sur notre zone d'étude (figure 27) :

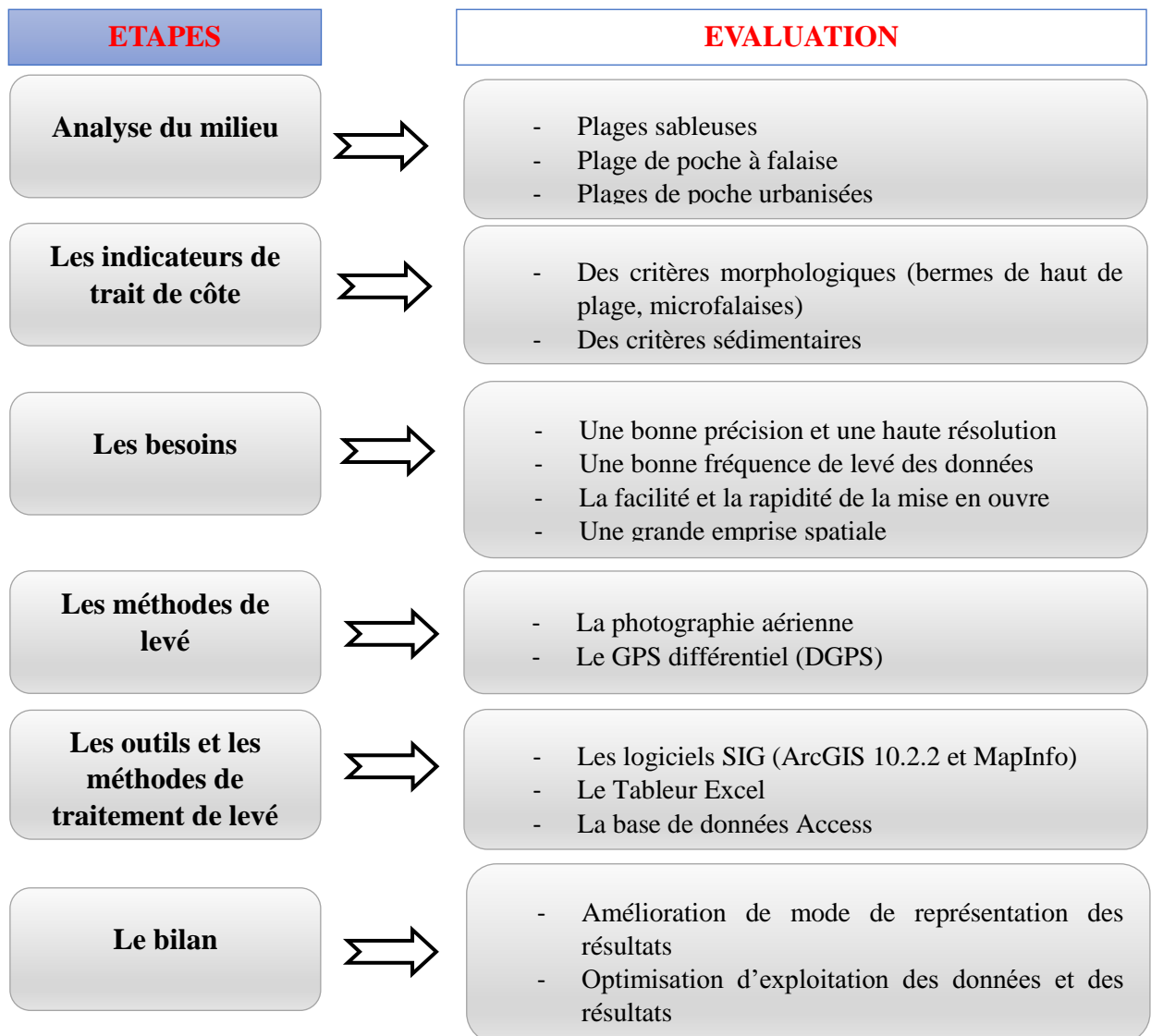


Figure 27 : Organigramme de la méthode de suivi du trait de côte

Le trait de côte généralement est la ligne qui sépare la terre et la mer, mais avec la complexité de la morphologie côtière, il est souvent très difficile de le déterminer sur terrain. Pour analyser ces changements, une définition du « trait de côte » doit être donnée de manière à

## Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude

prendre en compte les différentes configurations géomorphologiques des littoraux ainsi que les notions d'évolution temporelle relative (LE BERRE, et al., 2008).

Pour notre étude on a retenu le trait de côte tracé à base des indicateurs géomorphologiques, qui est le plus recommandé par la communauté scientifique des milieux côtiers, matérialisé par des techniques et des appareils de haute précision (FAYE, 2010).

Pour les différents types du littoral (Figure 28) :

- Milieu dunaire : pied de dune, lisière de haut de falaise dunaire, ligne de crête dunaire.
- Littoral à falaises : lisière du sommet de falaise / pied de falaise ; sommet / base de l'éboulis, contour de la cicatrice d'arrachement.
- Littoral artificiel : ouvrages de défense (limite côté mer / côté terre, ligne de crête).

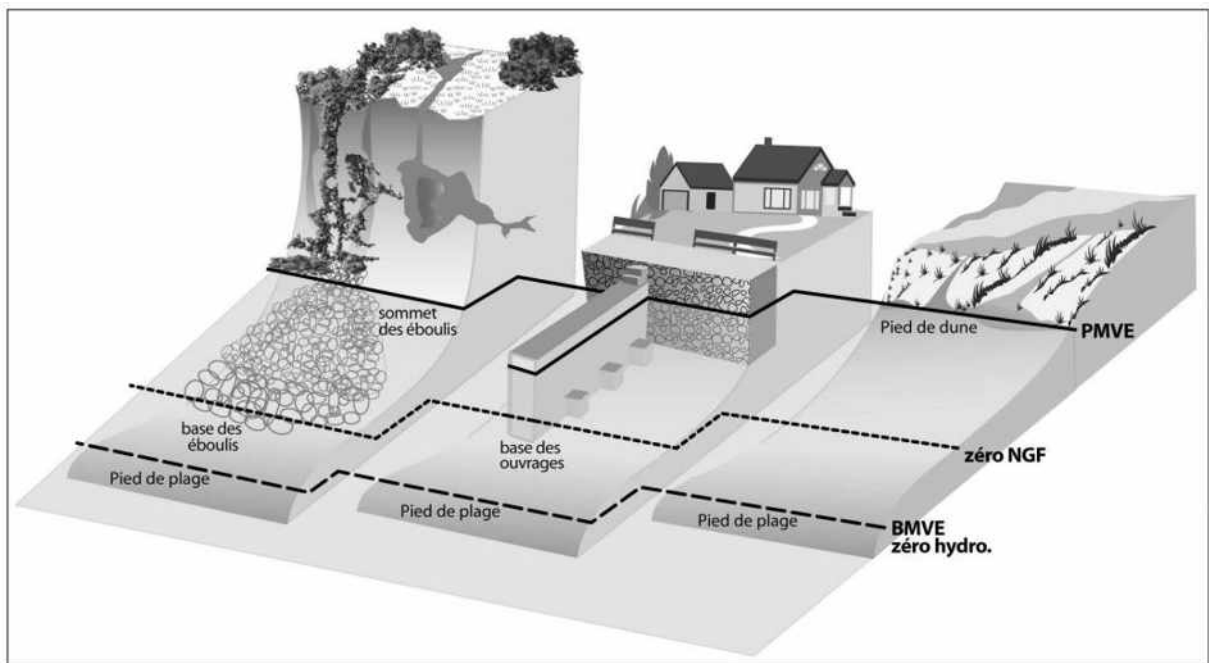


Figure 28 : Limites de références du littoral (source : E. GIRAUDET, GEOMER in (LE BERRE, et al., 2010))

Selon la typologie morphologique de notre côté, la limite du trait de côte choisie est la ligne de rivage instantanée (Figure 29) qui correspond au Limite d'humectation « En mer calme (SABATIER, 2001), (BOUAKLINE, 2009).



Figure 29 : La ligne de rivage instantanée choisie pour définir le tracé du trait de côte.

### **2.3.2 Modes d'acquisition des levés du trait de côte**

L'acquisition des positions de la ligne de rivage pour l'analyse multi-temporelle s'est faite à travers deux modes de hautes précisions, la photographie aérienne et le GPS différentiel (*DGPS*). Les images satellitaires quant à elles, ont été exclues pour ne pas altérer la qualité des résultats vu leur marge d'erreur qui reste assez importante par rapport aux deux précédents modes.

### **2.3.3 La photographie aérienne**

Les positions de la ligne de rivage ont été extraites par digitalisation des photos aériennes de 1959, 1972, 1980, 1999 et de 2003 après avoir été scannées et enregistrées comme des fichiers raster ".tiff", avec une résolution de 600 dpi. (Projet AMIS, 2004), puis redressées et géoréférencées à l'aide d'un logiciel SIG (Figure 30).

**Estimation de l'erreur :** Le groupe du projet AMIS a estimé l'erreur à +/- 6 m. Cette erreur se résume essentiellement en trois types :

- L'erreur graphique : représente l'erreur de la phase de digitalisation, elle est estimée à 0.2 mm fois l'échelle générique (N) soit  $0.2 * N$ , c'est-à-dire 4 m pour l'échelle 1 :20 000 et 2 m pour 1 :10000.
- L'erreur liée à la résolution des rasters : elle est considérée comme  $\frac{1}{2}$  dimension du pixel soit 5 cm.

## **Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude**

- L'erreur de l'opérateur : la position lors de la prise de vue, ou lors du géoréférencement...  
etc.

Le tableau 4 suivant résume les échelles des photos acquises pour chaque campagne aérienne

Tableau 4: Années et échelles des photo aérienne (Projet AMIS, 2004)

<b>Année de la campagne aérienne</b>	<b>Echelle</b>
1959	1 :25 000
1972	1 :20 000
1980	1 :10 000
1999	1 :10 000
2003	1 :10 000

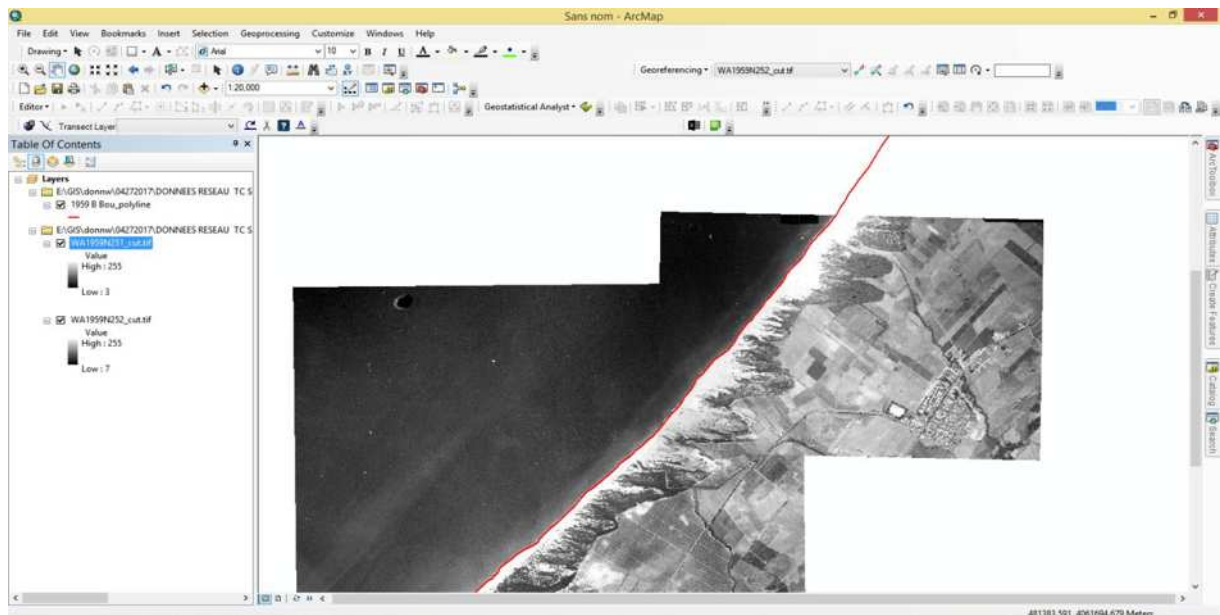


Figure 30: Etape de géoréférencement des photos aériennes et digitalisation du trait de côte.

### **2.3.4 Levés DGPS (GPS différentiel)**

La technique DGPS est une méthode destinée à améliorer la performance de positionnement ou de synchronisation du GPS en utilisant une ou plusieurs stations de référence à des emplacements connus, chacune équipée d'au moins un récepteur GPS (KAPLAN, et al., 2006).

## Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude

Les campagnes ont été réalisées en utilisant la méthode de positionnement différentiel, deux récepteurs géodésiques ; fixes (Base) et mobile (Rover), en particulier le modèle « *Topcon Hyper Pro* » pour la station de base et « *Rover Pro* » pour la mobile qui constitue le récepteur avec une antenne géodésique, un modem radio et un contrôleur intégrés (Figure 31). C'est une technique à double différence satellite-récepteur qui permet de calculer la position relative d'un point par rapport à un autre de coordonnées connues de façon précise.

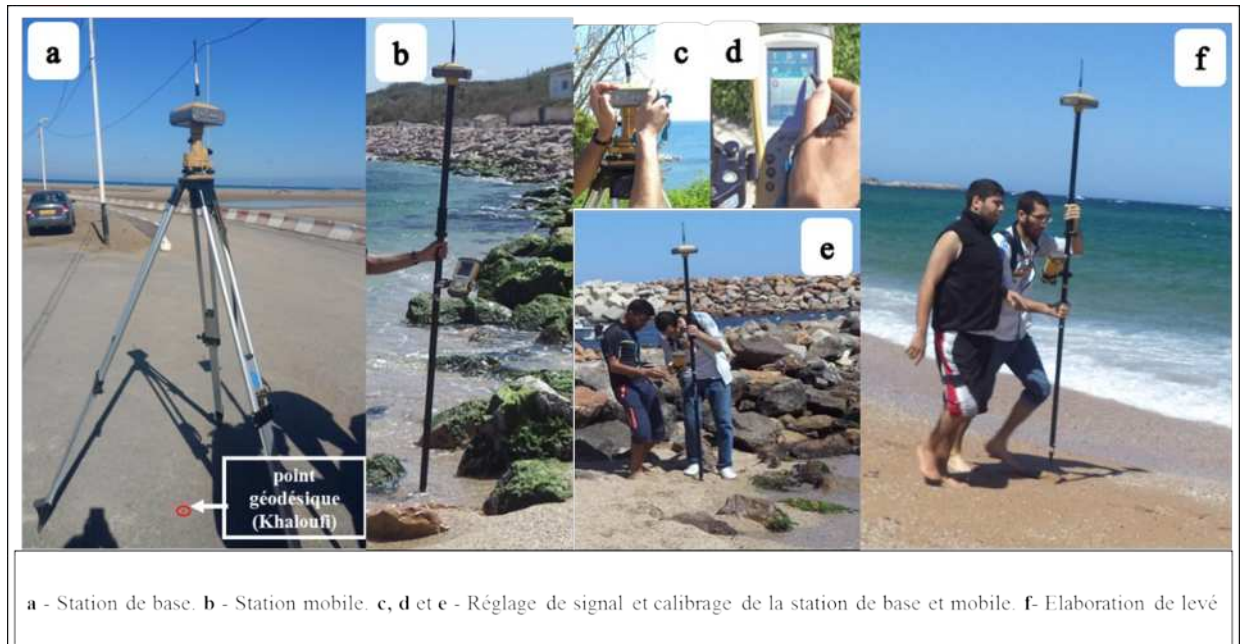


Figure 31: Système complet du DGPS levé RTK base temporaire avec repaire

Le réseau de surveillance du trait de côte algérois, instauré par l'Agence de Protection et de Promotion de Littoral (APPL), comprend 15 points géodésiques au niveau desquels les stations de base peuvent être installées (figure 32). Ces points servent de référence invariants lors d'un levé topographique. A ce titre, ils sont fortement préconisés quelque soit le mode de levé choisi (MELLETT, et al., 2012)

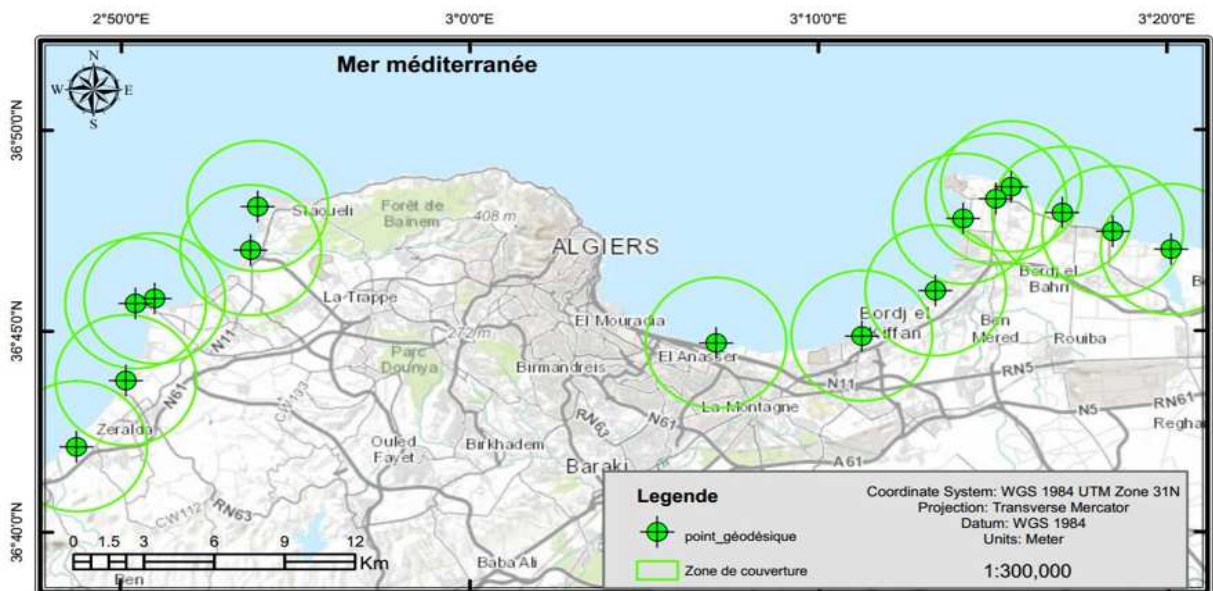


Figure 32 :Réseau des points géodésiques de la côte algéroise mis en place par l'APPL

➤ **Principe de fonctionnement**

Le principe du GPS Différentiel consiste à utiliser deux récepteurs GPS dites « stations », un fixe et l'autre mobile. Le récepteur fixe sert de référence au mobile. Il est basé sur le fait que ces deux récepteurs GPS soient situés à proximité (MESSAOUD, 2009). Ce qui permet à chacun de calculer ses propres coordonnées. Le positionnement de base étant connu avec précision (infra-centimétrique), celle-ci peut déterminer les corrections à appliquer par comparaison entre sa position calculée à partir des signaux satellitaires et ses coordonnées absolues afin de les transmettre à la station mobile. (FAYE, 2010), (KAPLAN, et al., 2006). Les corrections sont transmises par le récepteur de la base vers le ou les récepteurs GPS mobiles distants par l'intermédiaire d'un système radio (figure 33).

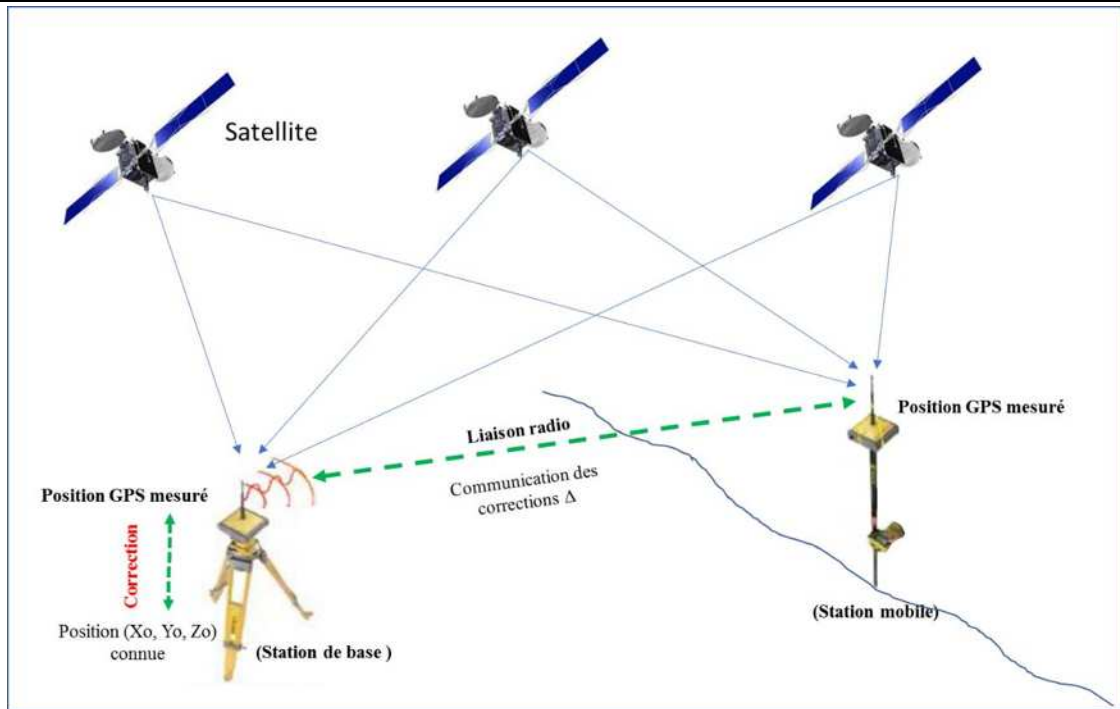


Figure 33 : Principe de levé DGPS en mode RTK (Real Time Kinematic)

Il existe deux types de levés pour mesurer des coordonnées de points à partir d'un DGPS (MELLETT, et al., 2012) :

- Levé RTK (Real Time Kinematic), la mesure (cinématique) se fait selon une précision centimétrique en temps réel (instantanée).
- Levé PPK (Post Processing Kinematic), la mesure (cinématique) est faite en temps différé, c'est-à-dire qu'elle nécessite un post-traitement pour atteindre une précision centimétrique.

Nos levés sont élaborés en mode RTK, le GPS mobile est positionné en temps réel en recevant les corrections émises par la base. Celle-ci est déployée de manière spécifique et temporaire sur la zone d'étude.

- **Estimation d'erreur** : Se résume en deux types d'erreurs, celle liée à la précision de système GPS lui-même et celle liée au manipulateur.

- Le système GPS est affecté par 04 principales sources d'erreurs :
- L'horloge du satellite,
- Les éphémérides,
- L'ionosphère
- La troposphère.

## **Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude**

Le DGPS élimine seulement la première, mais il augmente également la corrélation des autres sources (MESSAOUD, 2009)

- Les erreurs du manipulateur sont issus surtout de l'inclinaison de la station mobile lors de prises des levés et la précision du tracé du trait de côte.

Le tableau 5 ci-dessous résume les valeurs estimées pour ces erreurs.

Tableau 5 : Valeurs estimées des erreurs d'un levé DGPS.

<b>Source d'erreur</b>	<b>Erreur estimée</b>
Système GPS	+/- 3 cm
Inclinaison de la station mobile	+/- 2 cm
Tracé du trait de côte	+/- 25 cm
Erreur Totale	+/- 30 cm

### **2.3.5 Mode de traitement et de visualisation des résultats**

Traditionnellement, la télédétection et les SIG sont des méthodes largement recommandées pour détecter et décrire l'évolution des côtes. Plus récemment, la combinaison de ces méthodes avec des techniques et des modèles comme Digital Shoreline Analysis System (DSAS) (THIELER, et al., 2009) a été efficacement utilisée. (THINH, et al., 2017)

Après l'acquisition des levés du trait de côte, l'évaluation de sa cinématique a été faite par l'application de l'extension DSAS (Digital Shoreline Analysis System) sur l'environnement ArcGIS 10.2.2. Cet outil permet de réaliser un calcul statistique des taux d'évolution à partir de différents traits de côte. (THIELER, et al., 2009) (MELLET, et al., 2012)

Le DSAS est un système basé sur les SIG développé par United States Geological Survey (USGS), Deux versions DSAS sont disponibles : le DSAS-Software une extension de l'Institut du Système de Recherche Environnementales (ESRI) associé à son logiciel ArcGIS (THIELER, et al., 2009) et le Web-DSAS.

Le DSAS-Software a été sélectionné car il fonctionne plus rapidement que la version Web, et plus efficacement pour le calcul des taux de variation du trait de côte dans un espace de temps précis, (COHEN, et al., 2003) (SHEIK, et al., 2011) il est capable de fournir une meilleure

## **Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude**

compréhension de la nature, de la dynamique et la tendance évolutive des côtes. (THINH, et al., 2017)

Cinq principaux paramètres statistiques, parmi lesquelles le Net Shoreline Movement (NSM), Shoreline Change Enveloppe (SCE), l'End Point Rate (EPR), le Linear Regression Rate (LRR) et le Weighted Linear Regression Rate (WLR), peuvent être utilisés à fin d'établir un diagnostic d'évolution. Dans notre étude se sont l'EPR, le LRR et le WLR qui ont été retenus.

Le LRR est un paramètre décrivant les taux de variation du trait de côte déterminé en ajustant une ligne de régression par la méthode des moindres carrés à tous les points de la ligne de rivage pour un transect particulier. Le LRR a plusieurs avantages à savoir :

- Toutes les données sont utilisées, indépendamment des changements de tendance ou de précisions
- La méthode est purement computationnelle
- Il est basé sur des concepts statistiques acceptés
- Et il est facile à utiliser (DANG VAN, et al., 2008)

L'EPR est un paramètre statistique qui décrit le tracé et les distances parcouru par les variations du trait de côte (THIELER, et al., 2009) c'est un taux calculé en divisant la distance entre la position du trait de côte initiale (année 1959) et la plus récente (année 2017) par le temps écoulé (58ans)

L'avantage principal de l'EPR est sa facilité de calcul et les exigences minimales pour les données d'entrée (deux traits de côte) (DANG VAN, et al., 2008).

Le DSAS nécessite comme données d'entrée : la ligne de base qui est une ligne de référence parallèle à l'orientation globale de la côte et un fichier Shape file agrégeant tous les traits de côte dans une seule entité dont la forme de table des attribues doit être respectée, le tout est stocké dans une géodatabase personnelle.

Le système de coordonnées choisi pour l'ensemble des travaux est le système WGS 84, la projection UTM Zone 31.

Les équidistances entre les transects et leur longueur sont respectivement de 10 m et 300 m. La marge d'erreur par défaut est considérée de +/- 6 m. Les transects générés doivent être ajustés manuellement dans les zones où le trait de côte se trouve très déformé.

## Chapitre II Faisabilité géomorphologique et classification des plages de la zone d'étude

Les résultats en sortie sont spécifiés dans l'étape de choix des statistiques à calculer dont on a choisi un intervalle de confiance de 95 %. La figure 34 illustre les différents paramètres à définir.

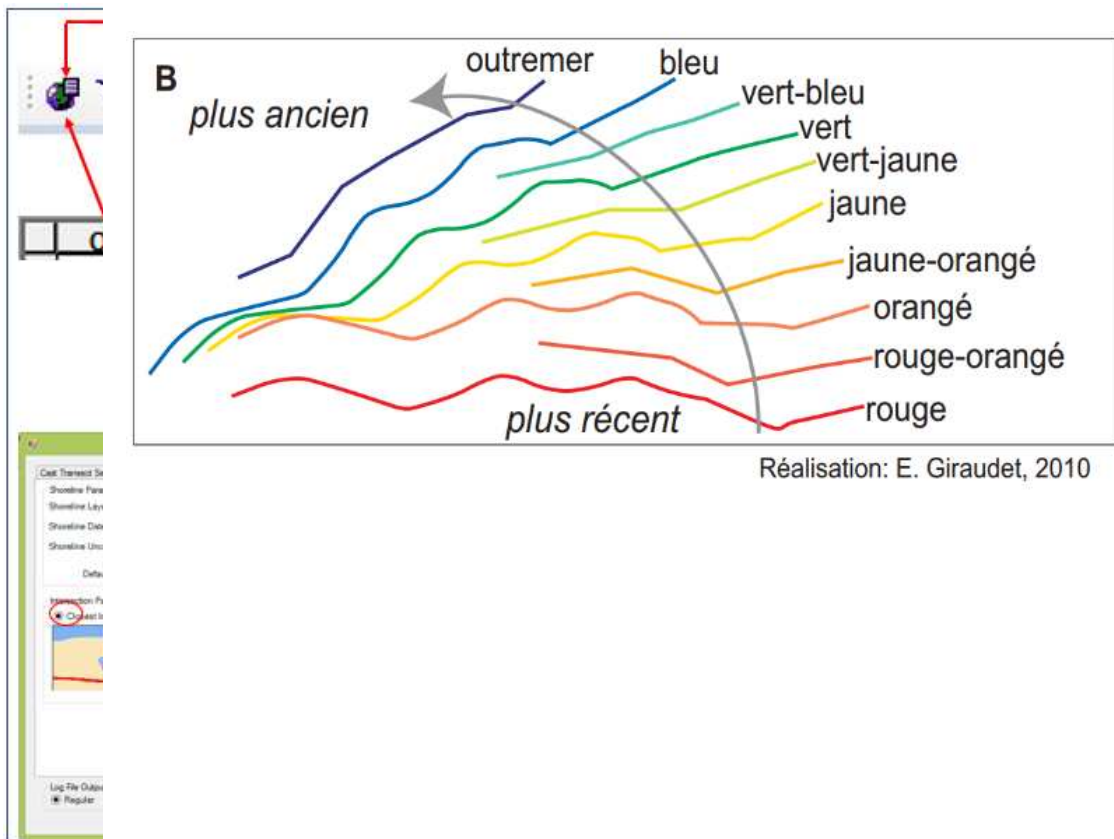


Figure 34 : Les différents paramètres et interfaces de DSAS.

La visualisation des résultats consiste à élaborer des variogrammes qui décrivent :

- L'évolution de la ligne de rivage entre 1959 et 2017,
- Les différents calculs statistiques en sortie de DSAS

Et des cartes de variation du trait de côte par superposition des levés en suivant les normes de variation des couleurs des plus chaudes vers les plus froides proposées par Ibrahima FAYE (2010), allant du bleu qui représente le trait de côte le plus ancien vers le rouge pour le plus récent.

(Figure 35)

Figure35: Proposition des légendes pour le trait de côte représenté à plusieurs dates

### **2.3.6 Présentation des résultats**

Les calculs des variations de la ligne du rivage sont effectués le long des 1645 transects espacés de 10 m, répartis sur 26 plages de la baie d'El Djamila et de la partie orientale de la baie de Bouismail à l'exception des plages de la résidence d'état de la commune de Staouali (Figure. A.36). Les plages sont délimitées par des transects numérotés de l'extrémité de l'embouchure oued Mazafran à la limite de la commune de Zeralda (plage Khaloufi 1) vers le Cap Acrata à l'extrémité Est de la baie d'El Djamila (plage artificielle d'El Djamila) (Figure. B.36)

#### **Variation mi- séculaire de la ligne du rivage entre 1959 et 2017**

Pour cause de présence de chantiers de travaux maritimes dans quelques secteurs nous avons opté, pour combler ces discontinuités par des levés de 2015 pour la plage thalassothérapie et de 2014 pour les plages El Sheraton, Club des pins, Les Dunes et la plage Jeunesse.

Afin de choisir les dates des levés qui représentent les meilleures corrélations entre les taux d'évolution du trait de côte mesurés (EPR) et calculés par le modèle (LRR et WLR), plusieurs tests de calculs sont effectués.

La Figure 37 montre que les périodes 1959 – 1980, 1980 – 1999 et 1999 – 2017 présentent les meilleures corrélations entre l'EPR et LRR avec un  $R^2 = 0.97$ , EPR et le WLR avec un  $R^2 = 0.94$ . Le variogramme de la Figure 38 confirme aussi cette forte relation entre les trois paramètres, graphiquement parlant, elles sont bien superposées le long des transects

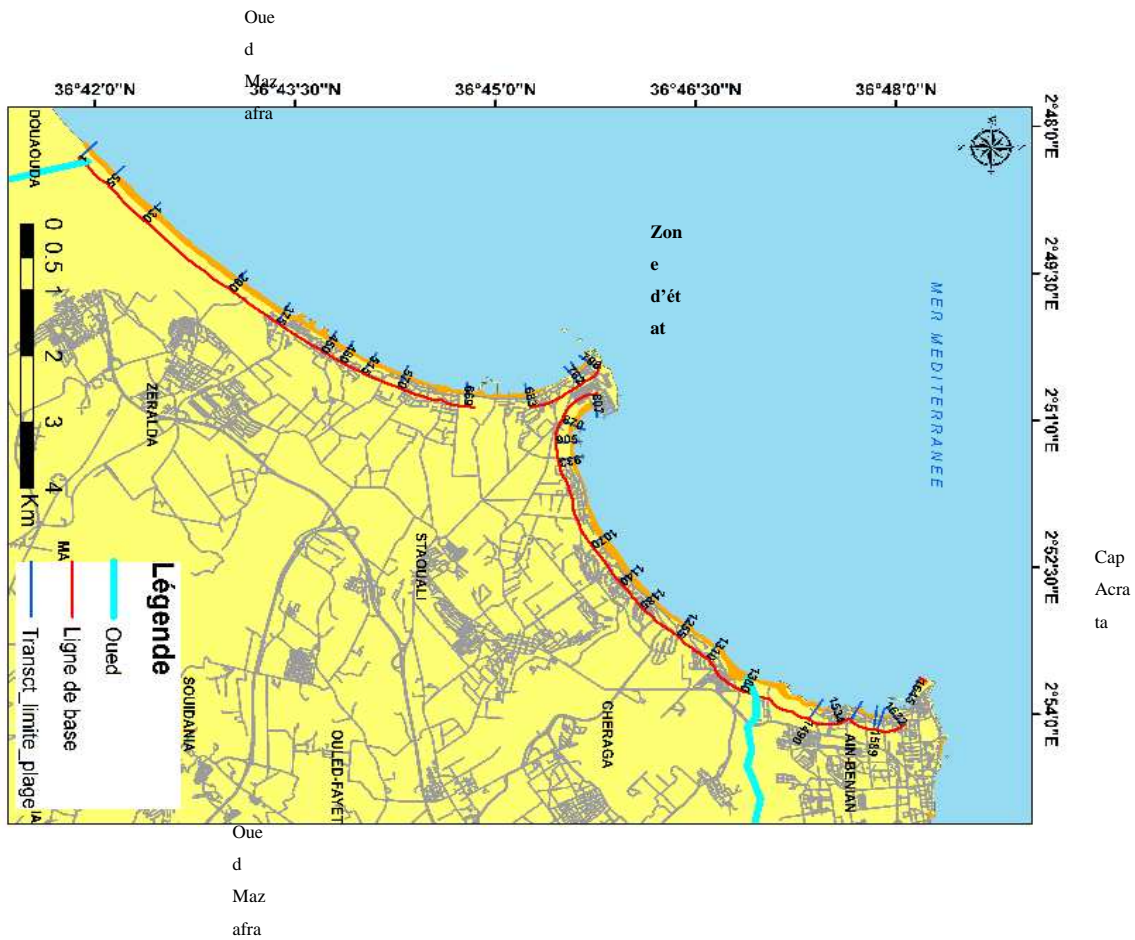
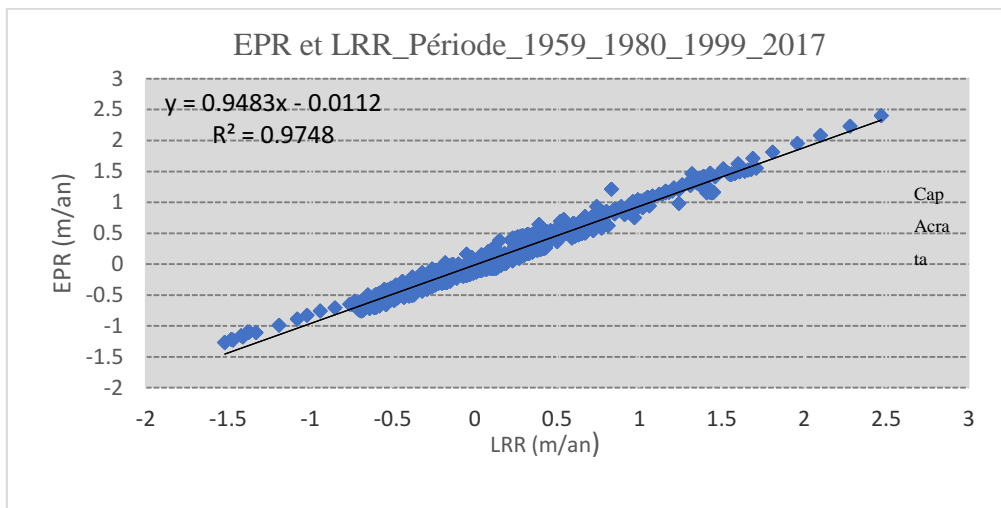


Figure 36: A-Répartition des transects le long de la zone d'étude. B- les transect limites des Plages



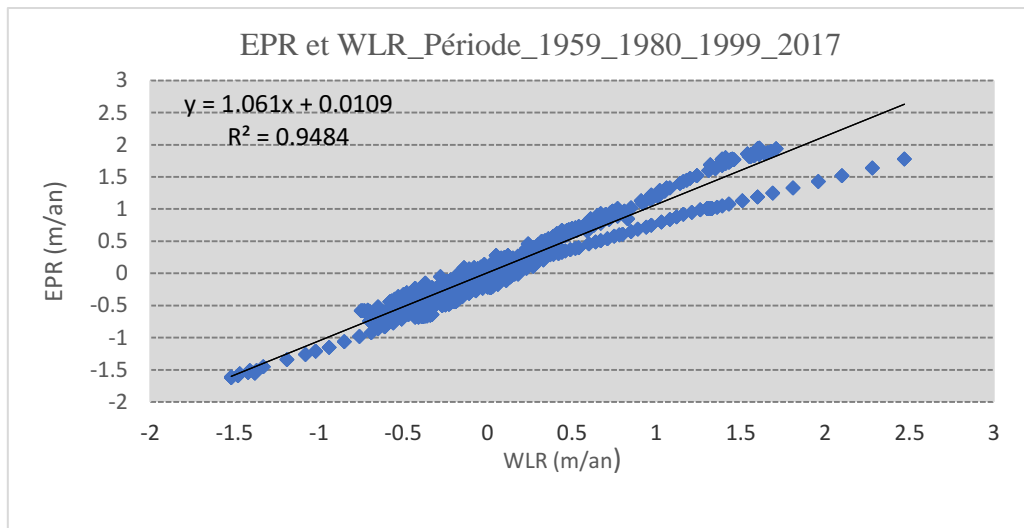


Figure 37: Corrélation entre les taux d'évolution mesurés EPR et calculés (LRR et WLR)

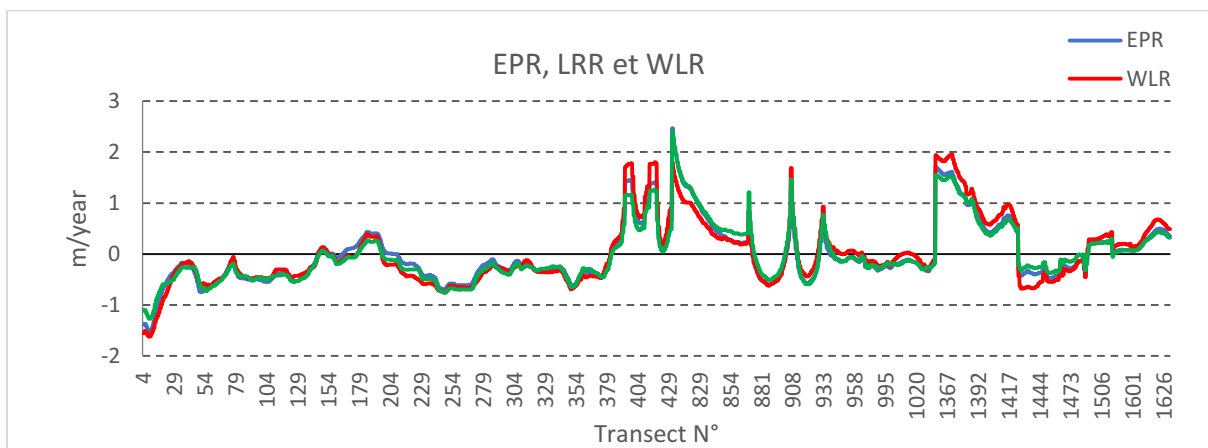


Figure 38: La correspondance entre les trois paramètres EPR, LRR et WLR

L'avancement ou le recul de la ligne de rivage présenté par le NSM (Figure 39) montre un maximum d'avancement avec 142.8 mètre au niveau de la plage Est de Sidi Fredj et maximum de recul avec -87.8 mètre au niveau des transect 09 et 10 correspondant à la plage Khaloufi

01.

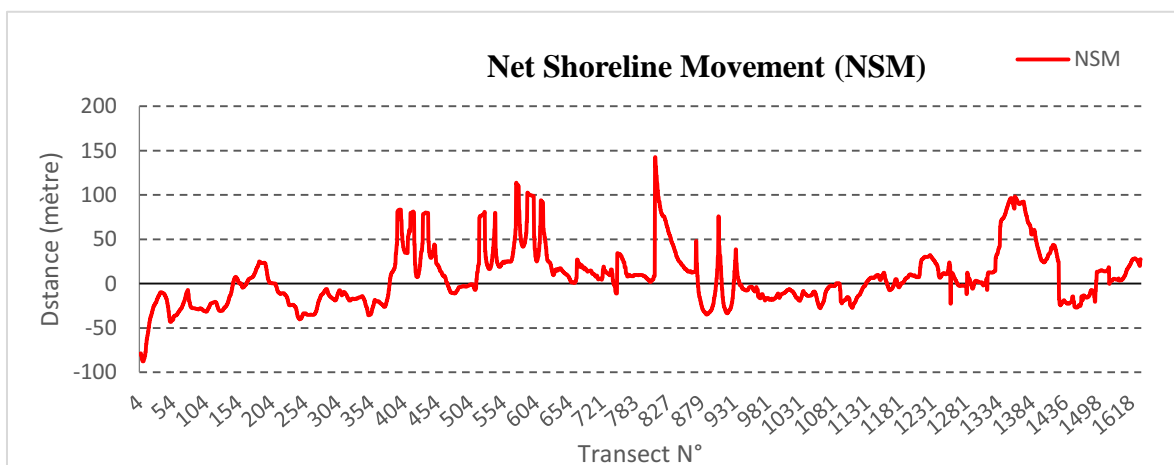


Figure 39 : Evolution du trait de côte le long de la zone d'étude entre 1959 et 2017.

La figure 41 présente une synthèse statistique sur les taux nets d'évolutions mesurés EPR le long de la zone d'étude, et une classification des plages en termes d'aléa par rapport à l'érosion côtière.

Cette analyse a abouti à l'identification de 10 plages en état d'érosion :

➤ **La baie de Bouismail**

**La plage Khaloufi 01** : Elle est à l'extrémité de l'oued Mazafran, on dénote un recul de l'ordre de 87.8 m entre 1959 et 2017, elle représente le taux de recul le plus important de la zone avec une moyenne annuelle de -0.68 m/an, un maximum de recul de -1.52 m/an et un minimum de -0.17 m/an. Ce recul est dû à l'arrachage des sédiments de la plage par le fort débit de l'Oued (Figure 40.1).

**La plage Khaloufi 02 et Champs de Tir** : Elles aussi connaissent une érosion dramatique comparé à la plage Khaloufi 01 sur tous les transects avec respectivement un taux de recul moyen de -0.46 m/an et -0.33 m/an. L'attaque frontale de la mer et la dégradation des dunes de l'arrière-pays sont deux facteurs importants qui gouvernent cette situation (Figure 4.2).

**La plage Familiale et Sable d'or** : Ces deux plages connaissent des variations dans les deux sens, un recul annuel maximal respectivement de -0.7 m/an et -0.19 m/an sur quelques transects, au niveau des autres transects le taux d'accrétion n'arrive pas à mettre en équilibre les deux plages. Cette situation a abouti à un taux de recul moyen de -0.18 m/an et -0.06 m/an respectivement.

➤ **La baie d'El Djamila**

**Le secteur des plages El Riadh, El Menzeh, Moretti et El Sheraton** : la présente étude montre la tendance négative d'évolution des quatre plages avec un taux de recul maximal de 0.6 m/an pour les deux premières qui connaissent une alternance entre avancement et recul, une situation logique avec la présence de 03 épis qui diminuent la virulence de l'attaque de la houle d'une part et bloquent le transit littoral d'autre part (figure 40.3 et 40.4.) La plage Moretti et Sheraton ont aussi le même comportement érosif avec un taux de recul maximal de 0.5 m/an.

**La plage jeunesse :** elle présente un recul maximal de 11 mètres dans la rive gauche et un avancement du côté de l'épi de l'ordre de 16.24 mètres entre 1959 et 2014 ce qui a abouti à un bilan négatif de - 1.16 mètre de recul de l'ensemble de la plage sur la même période.



Figure 40:1-1-Un fort débit de l'oued Mazafran. 2-Dégradation des dunes de Zeralda et attaque frontale de la mer.3-Epis de la plage El Riadh et Menzeh. 4 -Le recul du trait de côte au niveau de la plage El Riad

### **2.3.7 Conclusion**

Tout au long de ce chapitre autant d'informations que possible ont été recueillies. Ces dernières nous ont permis de faire ressortir les résultats suivants :

Selon l'étude d'évolution des fonds et l'aspect des pentes l'avant côte du littoral rocheux est classée comme favorable à la fuite des sédiments continentaux vers le large, on déduit par cela que ces plages sont donc, géomorphologiquement défavorables pour le rechargement en sable contrairement aux plages de la baie d'El Djamila et de Bouismail qui sont retenues comme favorables au rechargement.

Suivant l'étude des variations de la ligne de rivage entre 1959 et 2017, dix (10) plages présentant une tendance à l'érosion ont été identifiées à savoir ; Khaloufi 01 et 02, La plage Familiale, Champs de Tir, Sable d'or (baie de Bouismail), El Riadh, EL Menzeh, Moretti, El Sheraton et la plage Jeunesse.

En raison de la présence des épis en forme L et T qui peuvent jouer le rôle de rétenteur du sédiment, les deux plages El Riadh et El Menzeh semblent être les plus favorables pour le rechargement.

# *Chapitre III*

### **3 Faisabilité Physique de rechargement artificiel de la plage El Riadh**

Ce chapitre traite les processus physiques intervenant dans la dynamique sédimentaire du secteur de la plage El Riadh, l'identification des sources de gain qui alimentent le site, les points de perte et la direction des fuites des sédiments soit dans le profil vers le large (cross-shore transport) ou bien latéralement vers les plages adjacentes (longshore transport), est recommandée dans les projets de rechargement artificiel (CBNP, 1995), (DEAN, 2002), de plus, il est nécessaire de bien appréhender au préalable la dynamique hydro-sédimentaire du site afin d'optimiser cette opération (DE LA TORRE, et al., 2014),

Dans ce chapitre, notre objectif sera d'étudier la réponse de la plage El Riadh face aux forces hydrodynamique et ces impacts sur le comportement du transit sédimentaire avec le régime des houles annuelles et lors des tempêtes, dont la finalité est d'évaluer la pertinence ou le risque d'une opération d'alimentation et de juger sa faisabilité sur la plage El Riadh.

Suivant la méthodologie de la CBNP (*Committee on Beach Nourishment and Protection*) et la CETS (*Commission on Engineering an Technical Systems*), la prédiction de la performance d'alimentation d'une plage de point du vue physique (*Physical considerations*) nécessite de prendre en considération l'évaluation de l'impact des facteurs suivantes :

- La houle
- Les courants.
- La dynamique sédimentaire
- La variation historique du trait de côte
- La variation des profils
- Le bilan sédimentaire

Mais dans le cas de projet de rechargement nous avons pris en considération juste les trois premiers traits.

Afin d'évaluer l'action de ces facteurs sur la zone d'étude, on a recours à la modélisation numérique, qui a apporté beaucoup de progrès dans la simulation des phénomènes côtiers. (CAMENEN, et al., 2000)

### ***Chapitre III Faisabilité physique de rechargement artificiel de la plage El Riadh***

La modélisation numérique est une approche basée sur des modèles mathématiques décrivant de manière suffisamment fiable les phénomènes physiques, (Houle, Courant et Transport sédimentaire), elle constitue une méthode pratique vu qu'elle permet de tester les effets d'un grand nombre de paramètres (physiques et géométriques) en un temps relativement court et à moindre coût comparativement à un modèle physique équivalent. (KHALFANI, 2014)

La fiabilité résultats fournis par les modèles numérique dépend essentiellement de la qualité des données d'entrés, la résolution spatiale des grilles de calcul (AMAROUCHE, 2015), et d'un bon choix de modèle.

#### **3.1 Choix des modèles**

A la recherche des résultats les plus proches possible de la réalité, dans un empirisme géographique petit (tel que la plage El Riadh), les modèles numériques adéquats pour simuler les processus étudiés doivent être choisis soigneusement, prenant en compte les limites et les hypothèses de base du modèle.

Pour la modélisation des caractéristiques de la houle, nous avons opté pour le modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore) qui est un modèle spécialisé dans la simulation des paramètres physiques de vagues dans les zones côtières avec une résolution jusqu'à 20 \* 20 m.

La simulation du transport sédimentaire nécessite une superposition des processus hydrodynamiques (houle et courant) avec les paramètres sédimentologiques, c'est pourquoi nous avons choisi le modèle Mike 21.

#### **3.2 Choix des Conditions de houle à modélisées**

Pour l'ensembles des modélisations de la houle, du courant et du transport sédimentaire nous avons sélectionné les conditions suivantes :

- Trois (03) conditions (pour des modèles locaux) représentent le régime annuel des houles obtenues lors du projet AMISMAP et extraites des données de MedAtlas (2004), (Tableau 6)
- Une condition exceptionnelle représente la tempête de 05 Février 2017 qu'on a enregistré ces paramètres météo-marines à partir du site internet Windfinder au

### **Chapitre III      Faisabilité physique de rechargement artificiel de la plage El Riadh**

niveau du point Huecija au large de la baie d'El Djamila et vérifier sur terrain le jour même.(Figure 42)

Pour la modélisation de la tempête nous avons procédé par l'élaboration de deux modélisations ; une régionale qui servira à estimer les caractéristiques de la houle aux frontières de la zone d'étude, la deuxième modélisation sera quant à elle locale au secteur de Sidi Fredj.

Tableau 6 : Les conditions des houles à modélisé :

Condition à modéliser	Emprisme du modèle	Houle			Vent	
		Dir (°)	Hs (m)	T (s)	Vitesse (m/s)	Dir (°)
1	Local	21	1.82	5	8	45
2	Local	345	2.24	5.23	9	345
3	Local	270	2.71	5.78	9	270
Tempête 05/02/2017	Régional	270	4.8	11	15	270
	Local	283	5	6.8	15	270



Figure 41 : la tempête de 05 Février 2017 au niveau de Sidi Fredj

**3.3 Modélisation de la réfraction de la houle et de la dissipation d'énergie.**

**3.3.1 Description du modèle SWAN (Simulating Waves Nearshore)**

C'est un modèle de propagation de la houle de troisième génération développé par l'université de Delft (BOOIJ, et al., 1999), basé sur l'équation d'équilibre de densité d'action spectrale (et décrit l'évolution du spectre d'énergie de la houle pour certaines conditions spécifiées de vents, courants et bathymétrie, pour estimer les caractéristiques des houles dans les zones côtières.

L'équation de conservation de la densité d'action spectrale de la vague est résolue par (OUKADR, et al., 2017) :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma} \dots \dots \dots \text{(Équation 2)}$$

Où :

- N (σ, θ) = densité de l'action des vagues
- T = temps (s)
- x = distance dans la direction x (m)
- y = distance dans la direction y (m)
- σ = fréquence relative (Hz) comme on l'observe dans un cadre de référence se déplaçant avec la vitesse du courant
- θ = direction de la vague (degrés)
- C<sub>x</sub>, C<sub>y</sub>, C<sub>σ</sub>, C<sub>θ</sub> = vitesses de propagations (m / s) pour respectivement x, y, σ et θ
- S = sommes de termes source / puits de densité d'énergie

Les paramètres en sortie calculés par SWAN et qui nous intéressent dans ce travail sont :

➤ **La hauteur significative (H<sub>s</sub> en mètre)**

$$H_s = 4\sqrt{\int \int E(\omega, \theta) d\omega d\theta} \dots \dots \dots \text{(Équation 3), (DUT, 2006)}$$

- E (ω, θ) est le spectre de densité

- ω est la dispersion

- **La dissipation d'énergie** : Dissipation d'énergie par unité de temps due au frottement du fond, de whitecapping et de la rupture de vague induite par la profondeur (en  $W/m^2$  ou  $m^2/s$ )
- **Le setup** : Augmentation du niveau d'eau moyen dû à la présence des vagues.

### **3.3.2 Données d'entrée**

Les données d'entrées utilisées pour la modélisation de la houle du modèle SWAN sont :

- Deux grilles bathymétriques, une établie à partir des données Navionic (chapitre 02) pour le modèle régional avec une résolution de  $200 * 200$  m, et une deuxième, à partir des données de haute précision instaurées par l'APPL (chapitre 04), avec une résolution de  $20 * 20$  m pour les modèles locaux.
- Les anomalies de niveau de la mer, extraites à partir des données du portail d'Aviso + de référence d'altimétrie, dont nous avons fixé une valeur max de 0.28 m.
- Pour les courants géostrophiques, on a négligé ce paramètre grâce à la fermeture du portail d'AVISO +.

### **3.3.3 Mode de visualisation des résultats**

Pour la visualisation des résultats de SWAN, nous avons programmé une Macro sous Excel (qu'on a nommé T\_R\_SWAN) à l'aide de langage Visuel Basic pour le traitement automatique des tableaux des résultats de SWAN (Figure 43), et une deuxième extension sous Model Builder de l'environnement ArcGIS (Figure 44 et 45) pour la visualisation des tableaux des résultats traités.

The image shows the Microsoft Excel interface with a custom ribbon containing a macro button. A VBA code editor window is open, displaying the following code:

```

Sub T_R_swan0 ()
    T_R_swan0 Macro
    'By: Boukbediche Walid
    'le 25/02/2016

    Range("A:1,I:1,P:P").Select
    Range("I1").Activate
    Selection.Delete Shift:=xlToLeft
    Range("1:4,6:7").Select
    Range("A6").Activate
    Selection.Delete Shift:=xlUp
    Range("O12").Select
    'Cells.Replace What:=".", Replacement:=".", LookAt:=xlPart, Search
    i:=xlByRows, MatchCase:=False, SearchFormat:=False, ReplaceFor
    Columns ("K1"), Select
    Selection.AutoFilter
    ActiveSheet.Range("$L$1:$L$9607").AutoFilter Field:=1, Criteria:
    Operator:=xlAnd
    Cells.Select
    Range("O1").Activate
    Selection.Copy
    Sheets ("1vmax25-dirv111").Select
    Sheets.Add After:=ActiveSheet
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, S
    i:=False, Transpose:=False
    Range("O7").Select
    ActiveWindow.ScrollRow = 22
    ActiveWindow.ScrollRow = 44
    ActiveWindow.ScrollRow = 87
    ActiveWindow.ScrollRow = 152
    ActiveWindow.ScrollRow = 240
    ActiveWindow.ScrollRow = 520
    ActiveWindow.ScrollRow = 736
    ActiveWindow.ScrollRow = 779
    
```

Figure 42: Macro du traitement automatique des tableaux des résultats du SWAN

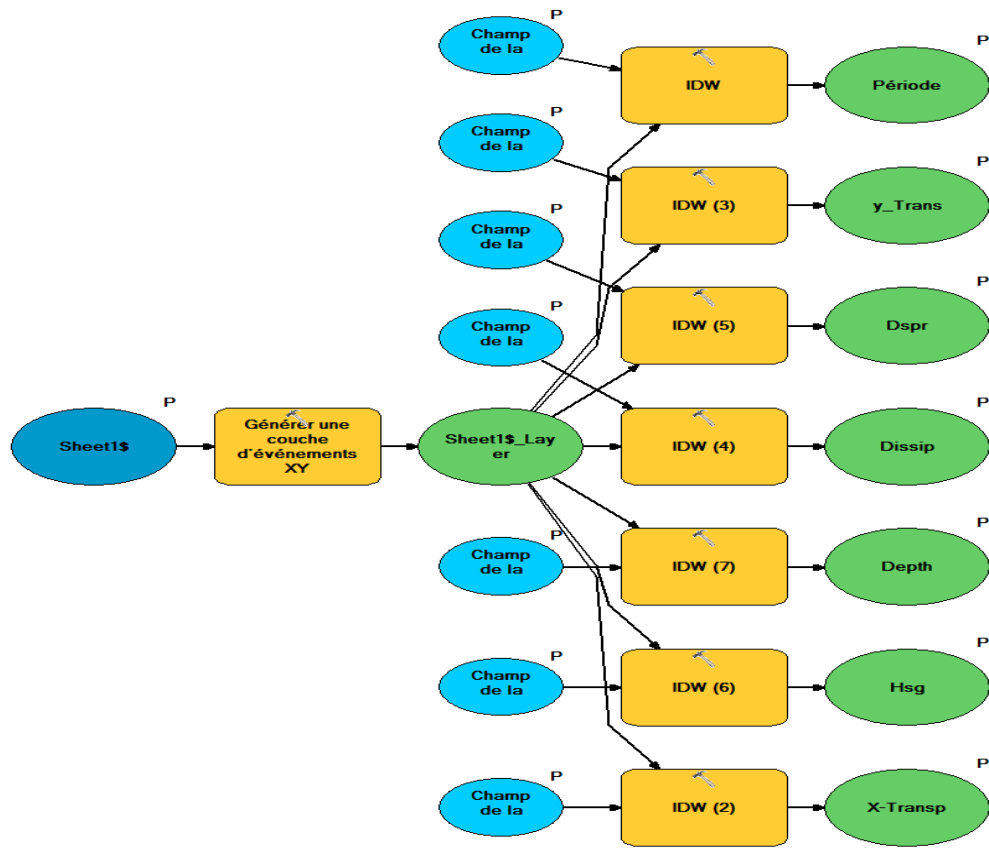


Figure 43: L'extension SWAN View du visualisation des résultats de SWAN

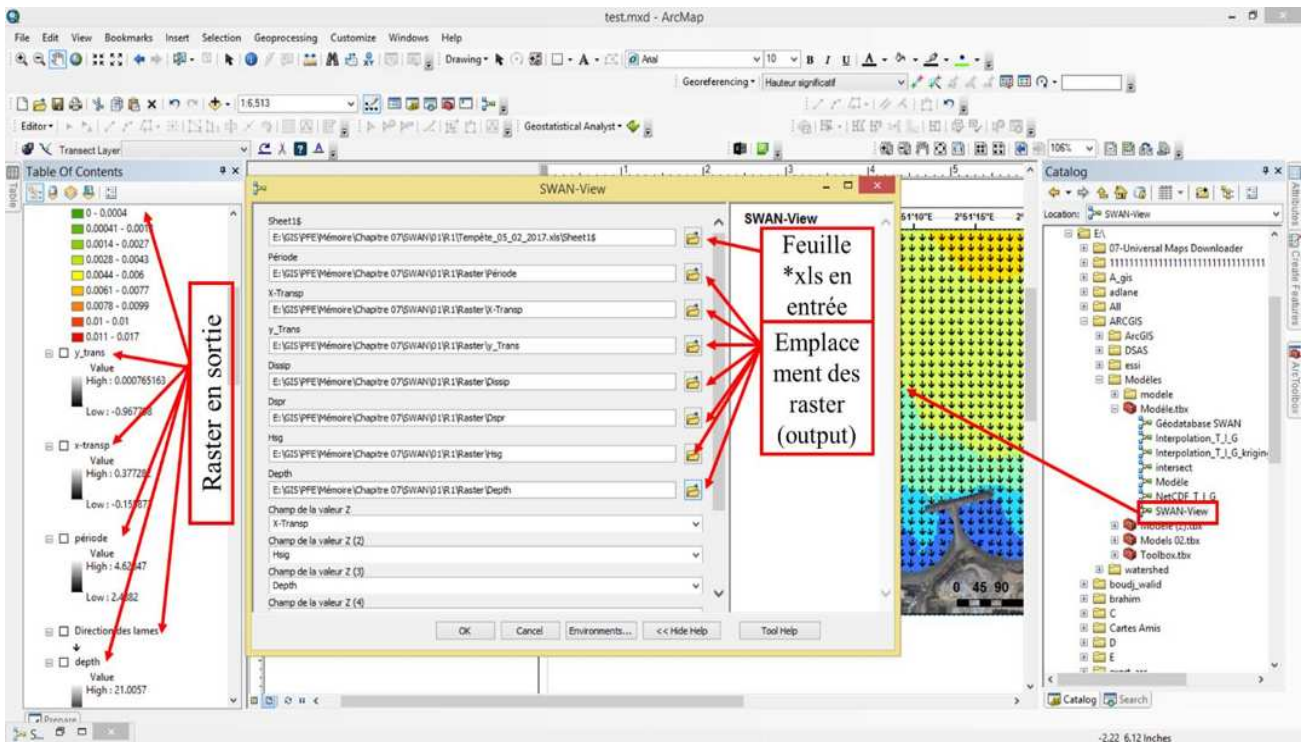


Figure 44 : Interface graphique de l'extension SWAN View du visualisation des résultats de SWAN

### 3.3.4 Mode Opérateur d'exploitation du Modèle SWAN

L'organigramme ci-dessous résume les étapes d'utilisation du modèle SWAN, dont on a procédé pour choisir les données d'entrées à partir des sources fiables, les traitées avec les résultats par les méthodes les plus adéquates, et optimiser ce resultat par des applications de traitement et de visualisation automatiques afin de minimiser le temps d'exploitation, les erreurs et d'obtenir des résultats les plus fiables que possible, en tirant profit des langages de programmation et des systèmes d'informations géographiques.

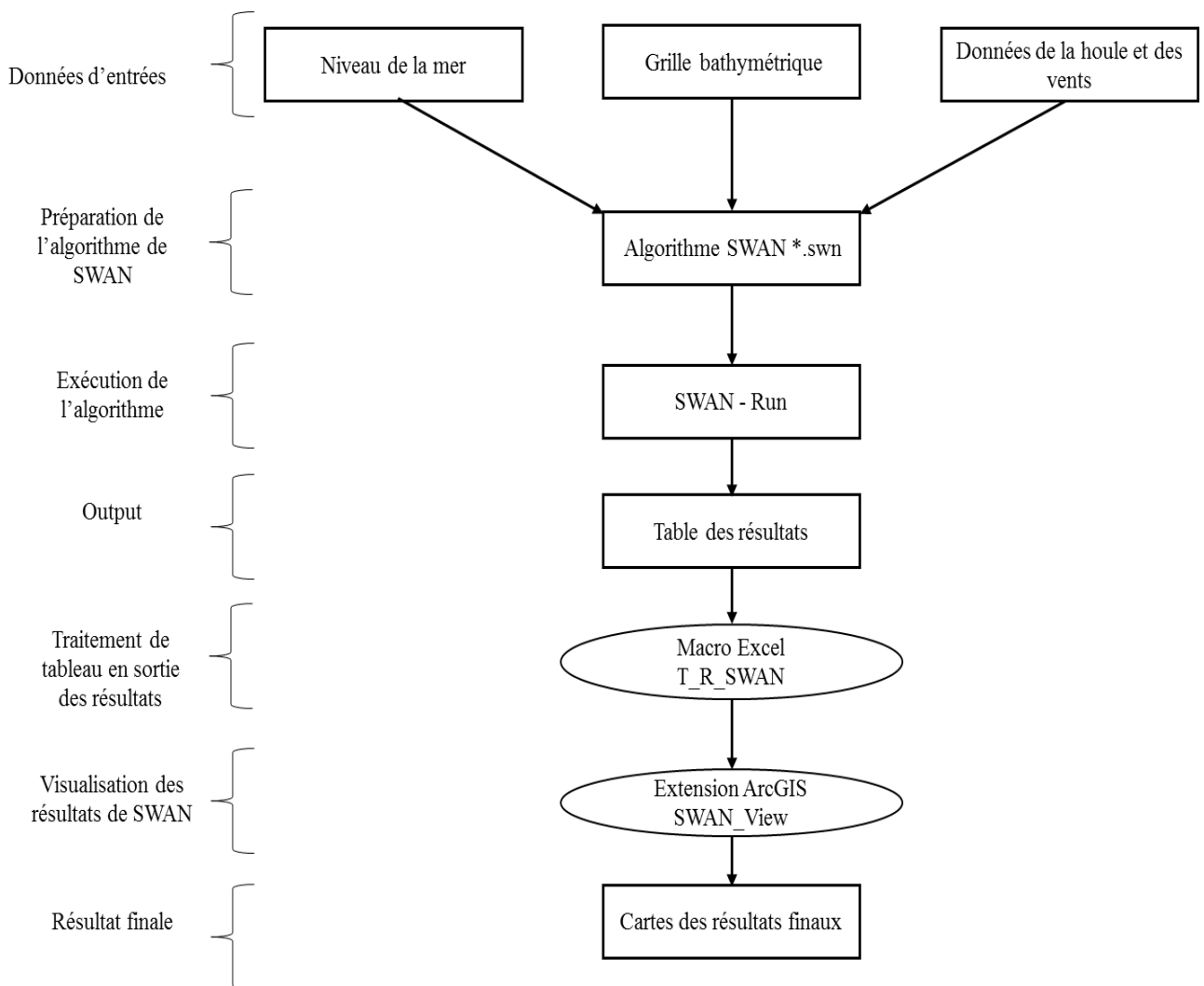


Figure 45: Mode opératoire d'exploitation de Modèle SWAN

### **3.3.5 Conclusion**

La modélisation du courant et de transport sédimentaire nous a permis de confirmer la présence d'affouillement au niveau de pied des parties d'épis les plus exposés à la houle, avec des capacités de transport importantes des sédiments.

Malgré la présence d'affouillement auprès de la passe d'entrée à la plage El Riadh, il ne y a pas vraiment d'impact sur la dynamique sédimentaire à l'intérieur de plage pour récompenser les sédiments arrachés par l'affouillement.

La simulation du climat hydro-sédimentaire de la houle de tempête de 05/02/2017, et des houles de secteurs N 345° qui sont aussi des houles de tempête, nous a permis d'émettre l'hypothèse sur le fait que la morpho-dynamique du secteur de Sidi Fredj fortement liée aux événements climatiques extrême.

On terme de faisabilité d'alimentation en sédiment de la plage, prenant en compte les facteurs physiques, l'importance des processus hydro-sédimentaire près de la passe d'entrée à la plage El Riadh pose un risque pour le rechargement de cette dernière, ce qui nous oblige à proposer une protection en géo-tube de rétention immergé au niveau de la passe d'entrée pour assurer la stabilité de la plage et réduire les pertes en sédiments lors des événements extrêmes.

# *Chapitre IV*

## **4 Etude de faisabilité technique de rechargement en sédiment de la plage El Riadh**

L'objectif de ce chapitre est d'évaluer la possibilité de l'alimentation en sable de la plage El Riadh de point de vue technique, par la détermination des secteurs à recharger, puis d'estimer les volumes du sable nécessaire pour que la stabilisation de la plage soit faisable, et donc proposition de plusieurs scénarios.

### **4.1 Etude sédimentologique**

Cette étude aura pour finalité de déterminer le diamètre moyen  $D_{50}$  des sédiments du secteur de la plage El Riadh, afin de définir le diamètre et d'estimer le volume du granulat de rechargement.

#### **➤ L'analyse granulométrie**

La granulométrie a pour objet la mesure de la taille de particules élémentaires ou de grains. Les méthodes qui permettent cette mesure doivent être reproductibles ; c'est pourquoi elles suivent des normes strictes (FOURNIER, et al., 2012)

#### **➤ Principe de l'étude granulométrique**

- L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes.
- Les masses des différents refus et tamisats sont rapportées à la masse initiale du matériau. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique (GHOMARI, et al., 2008).

#### **4.1.1 Prélèvement et échantillonnage**

##### **Prélèvement dans la partie marine**

La campagne de prélèvement en mer a été menée au bord de bateau Baba Aroudj équipé d'une benne preneuse (de type Van Veen) et d'un GPS de navigation pour l'orientation vers les points de prélèvement (figure 62), 23 échantillons de sédiments superficiels (profondeur d'environ 10 cm) ont été prélevés selon des radiales orientées perpendiculairement à la ligne

de rivage, la distance moyenne entre deux radiales juxtaposés d'environ de 90 m et entre deux prélèvements successifs est d'environ 100 m (Figure 63).



Figure 46: Prélèvement de sédiment marin à l'aide de la benne et du GPS



Figure 47: Localisation des points de prélèvement dans la partie marine.

### Prélèvement dans la partie aérienne

A l'aide du GPS, l'étude sédimentologique a été effectuée sur 17 échantillons de sédiments superficiels prélevés sur la plage El Riadh (Figure 64) à l'aide d'une benne Van Veen répartis sur 07 profils. Les échantillons ont été ensuite mis dans des sacs en plastique et



bien étiquetés.

Figure 48 : Localisation des points de prélèvement dans la partie aérienne.

#### 4.1.2 Méthodes d'analyses sédimentologiques

L'ensemble des prélèvements sédimentaires a été analysé au laboratoire selon les techniques classiques de tamisage (Annexe n°4) (Weydert, 1971 ; Rivière, 1977) (CHAMLEY, 1987). La granulométrie consiste à évaluer le pourcentage de la masse totale correspondant à chaque dimension de particule. L'étude granulométrique d'un sédiment comporte généralement deux (02) phases :

### **Phase technique expérimentale au laboratoire**

Cette phase conduit à l'évaluation 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°) pendant 24 h.
- Lavage de 200g 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  $\mu\text{m}$  (Figure 65).
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve (105°) pendant 24 h.
- Pesée de la fraction grossière séchée, ainsi la différence entre ce poids et le poids initial nous donnera le taux de péltite.

Tamissage de la fraction grossière séchée sur une colonne de tamis répondant aux normes AFNOR, pendant 10 mn : constituée de haut en bas, de tamis de dimension décroissante (Figure 65).

- Pesée de refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision.
- Evaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

### **Phase d'interprétation des résultats obtenus**

Pour cela, on a procédé de la manière suivante :

- Traitement des résultats sous formes de fiches granulométriques
- Représentations graphiques en courbes cumulatives
- Exploitation des résultats pour la répartition des cartes des différents indices et paramètres granulométriques



Figure 49: Préparation et traitement des échantillons et tamissage.

### **Calcul des paramètres granulométriques**

L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (Friedman, 1979 ; Bui et al., 1990). Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont :

- Les paramètres de position
- L'indice de tri ( $S_0$ ),
- L'indice de symétrie de la distribution ( $S_{ki}$ ).

### **Paramètres de position**

Les paramètres de position sont déduits à partir de la courbe cumulative en faisant une projection sur l'axe des pourcentages et déterminer le diamètre de tamis qui lui correspond. Ces paramètres vont servir à calculer les différents indices granulométriques et à classer les grains du sable (tableau 7).

- Les quartiles
- Q25 : diamètre du grain à l'ordonnée 25%, c'est le premier quartile.
- Q50 : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane.
- Q75 : diamètre du grain à l'ordonnée 75%, c'est le second quartile.

- Les quantiles
- D10 : diamètre du grain à l'ordonnée 10%, premier décile.
- D90 : diamètre du grain à l'ordonnée 90%, second décile.

Tableau 7: Classification des grains de sable (FOLK, et al., 1957)

Diamètre du grain	Classification
< 110 $\mu\text{m}$	Sable très fin
110-150 $\mu\text{m}$	Sable fin
150-250 $\mu\text{m}$	Sable moyen
250-500 $\mu\text{m}$	Sable grossier
>500 $\mu\text{m}$	Sable très grossier

- **Le mode granulométrique**

Le mode granulométrique ( $M_o$ ) correspond à la dimension la plus significative de la distribution granulométrique, c'est-à-dire la dimension la plus représentative des grains d'un sédiment.

### **Indice de symétrie de la distribution ( $S_k$ )**

Indice d'Asymétrie de Trask ( $S_k$ ) Il exprime l'asymétrie de la courbe des fréquences simples par rapport à la médiane ( $M_d = Q_2$  : est la valeur d'un diamètre tel que 50% de l'effectif total se place de part et d'autre). Trois cas se présentent (BELLAHBIB, 2015):

- $S_k = 1$  : le mode coïncide avec la médiane ( $Q_2$ ), et la courbe de fréquence simple est symétrique.
- $S_k > 1$  : le classement est maximal du côté des grossiers, alors que la fraction fine est étalée.
- $S_k < 1$  : le classement est maximum du côté des fins, la fraction grossière est très étalée.

$$SK = \frac{\Phi_{16} + \Phi_{84} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_5 + \Phi_{95} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)} \dots\dots\dots(\text{Équation 4})$$

**Indice de tri (S<sub>0</sub>)**

Contrairement aux autres indices, celui-ci fait intervenir les extrémités de la courbe dans la définition du classement donc donne une idée sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen et il nous renseigne sur la croissance du tri lors du transport et de la sédimentation (Durafour, 2014 in ( )).

$$S_0 = \left[ \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} \right] + \left[ \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6,6} \right] \dots\dots\dots(\text{Équation 5})$$

Les différents cas du tri utilisés par FOLK (1954) sont les suivantes :

- TRI < 0.35 : très bien trié
- 0.4 < TRI < 0.5 : bien trié
- 0.5 < TRI < 0.7 : modérément bien trié
- 0.7 < TRI < 1 : modérément trié
- 1 < TRI < 2 : mal trié
- 2 < TRI < 4 : très mal trié
- 4 < TRI : extrêmement mal trié

**4.1.3 Présentation des résultats**

➤ **Répartition des Médiannes (Q50)**

La carte des médianes (Figure 66) montre une répartition homogène du la côte vers le large avec la dominance du sable moyen dont le diamètre varie entre 150 et 250 µm dans la plage et sous-marine de toute la zone et de la plage aérienne d'El Riadh, le sable fin n'apparaît qu'à partir de l'isobathe -5 m au niveau de la plage Est et -4 m pour El Riadh. Le sable grossier n'apparaît qu'au sommet de la plage aérienne d'El Riadh.

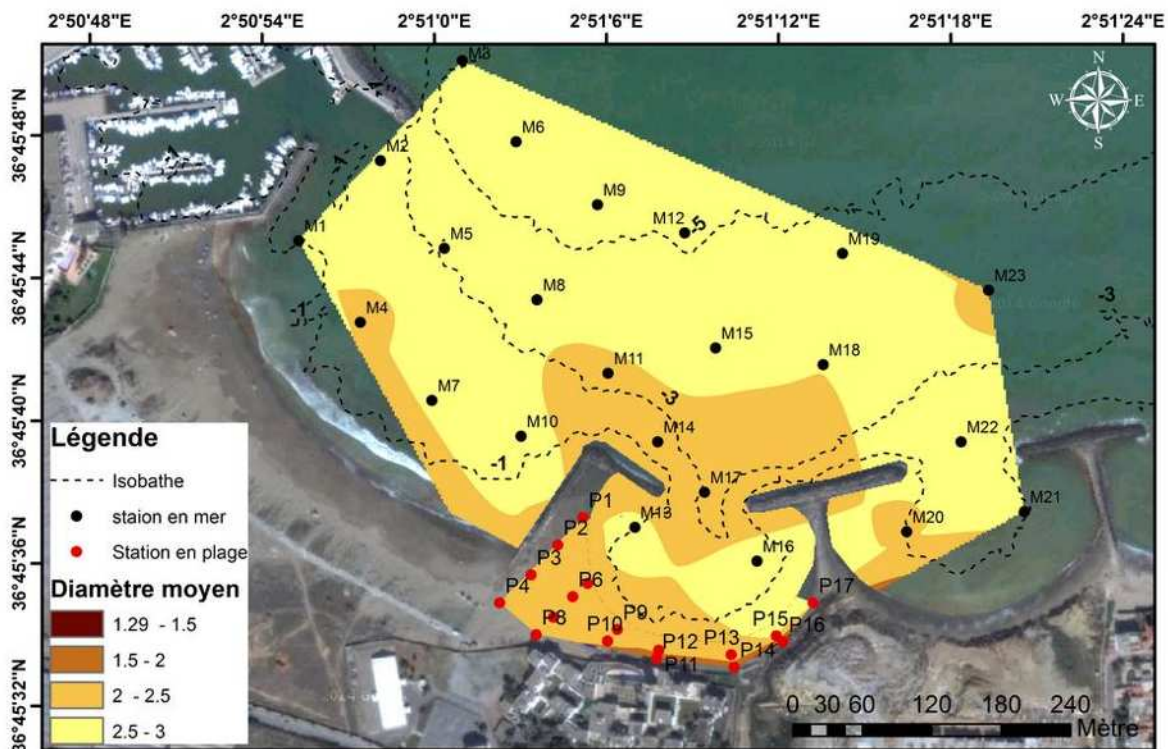


Figure 51: répartition de diamètre moyen ( $M_z$ ) dans la région de Sidi Fredj

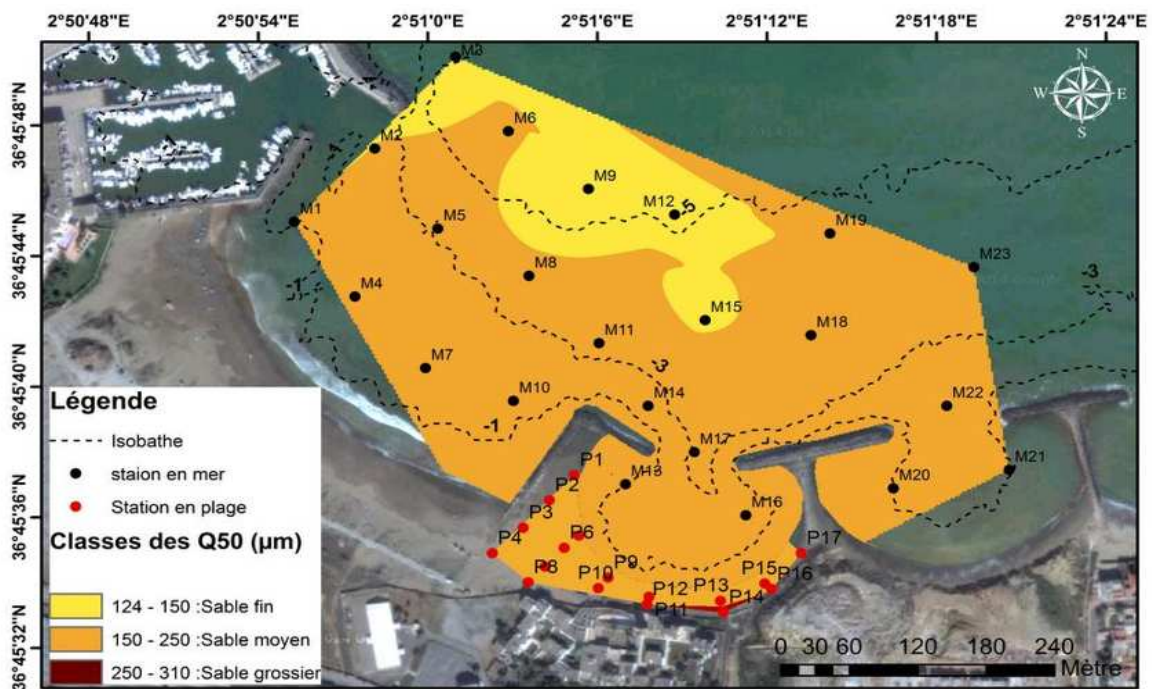


Figure 50 :répartition des médianes ( $Q_{50}$ ) dans la région de Sidi Fredj

➤ **L'analyse modale**

L'histogrammes des fréquences des classes modales (Figure 68) montre l'abondance de mode 180  $\mu\text{m}$  au niveau de la plage aérienne avec un pourcentage de 80% suivi par le 160  $\mu\text{m}$  et le mode 125  $\mu\text{m}$  pour la plage sous-marine avec 70% suit par le 160  $\mu\text{m}$

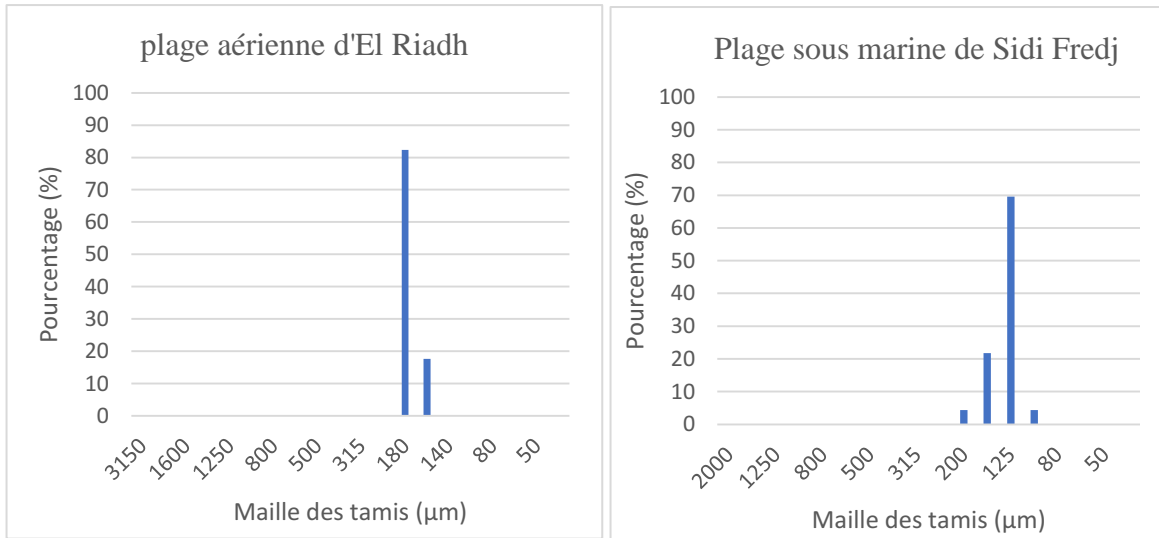


Figure 52 : Pourcentage des modes au niveau dans la plage sous-marine de secteur de Sidi Fredj et la plage aérienne d'El Riadh.

➤ **Le tri ( $S_0$ ) et l'indice d'asymétrie ( $Sk_i$ )**

Les échantillons de la zone connaissent un tri très varié d'un très bon tri à un mal tri (Annexe n°04) (Figure 69), donc notre sédiment est mal classé. D'un autre côté, les valeurs de l'indice d'asymétrie des échantillons sont inférieures à 1 et dont la majorité sont négatives (Figure 70), ces valeurs révèlent une asymétrie des particules vers les fines (Annexe n°04),

Ceci peut être expliqué par le régime variable des houles entre calme et tempête. Ce qui confirme l'hypothèse et les résultats des modèles hydrodynamiques et du transport sédimentaire du chapitre 03, sur le fait que la morphodynamique du secteur de Sidi Fredj sera influencée surtout par les tempêtes.

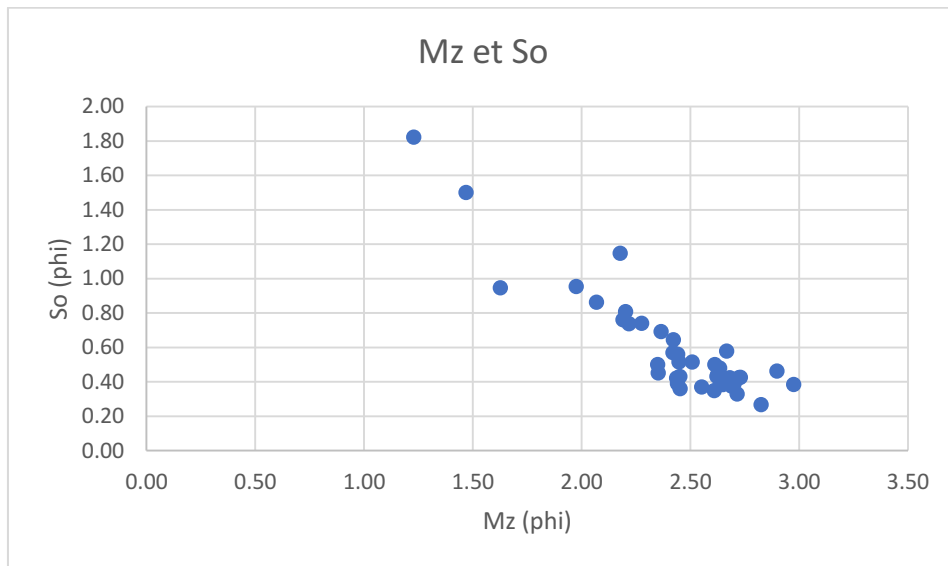


Figure 53 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen

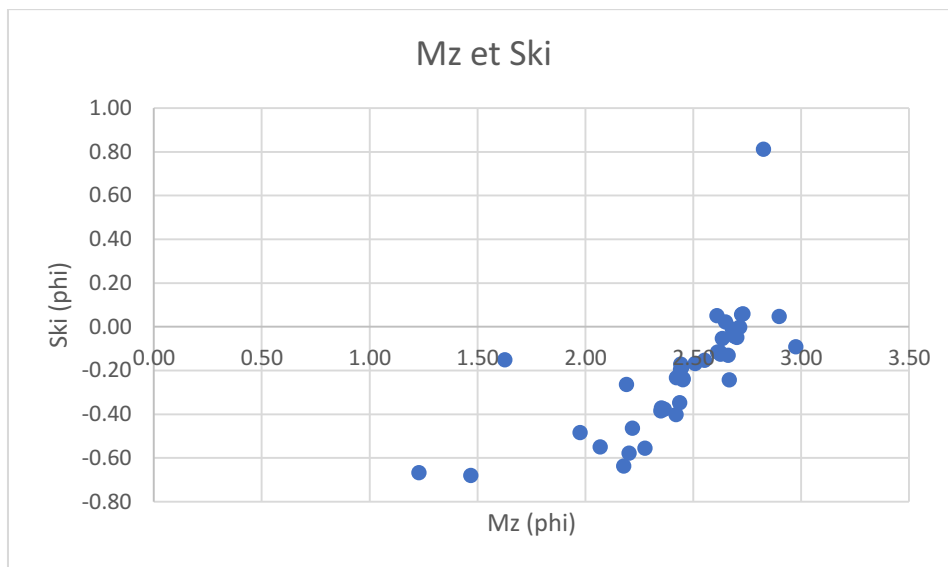


Figure 54 : Relation entre l'indice d'asymétrie ( $S_{k_i}$ ) et le diamètre moyen

#### 4.1.4 Conclusion

Vue la faible variation de diamètre moyen  $M_z$  qui est entre 1.29 et 3 sur l'échelle Phi, le  $D_{50}$  adopté pour calculer le diamètre des grains de rechargement est la moyenne des  $Q_{50}$  de tous les échantillons de la plage aérienne et sous-marine soit 0.175 mm.

# *Conclusion générale*

## **Conclusion générale**

A travers cette étude, nous avons pu sortir avec les conclusions suivantes :

Dans un souci de précision et de fiabilité, nous avons utilisé des données de sources différentes et actuelles issues des campagnes océanographiques (MEDATLAS (2004), Wiziku (2012-2016) des données météorologiques (Windfinder (2017), Windguru (2005-2016) et ONM, (1995-2016) et des études, les plus récentes possible, en adoptant des méthodes et des techniques pertinentes. En effet nous avons disposé d'instruments de mesure de haute précision, mis à notre disposition par l'Agence de Promotion et de Protection du Littoral de la wilaya d'Alger (APPL), avec laquelle nous avons pu élaborer des suivis du trait de côte par le biais d'un instrument topographique d'une résolution centimétrique, le DGPS, durant deux années 2016 et 2017, ce qui fait l'originalité de ce projet de fin d'étude.

L'étude des variations de la ligne de rivage a révélé des taux nets d'évolution fluctuants d'un site à un autre. Dix (10) plages présentant une tendance à l'érosion ont été identifiées à savoir Khaloufi 01 et 02, La plage Familiale, Champs de Tir, Sable d'or (baie de Bouismail), El Riadh, EL Menzeh, Moretti, El Sheraton et la plage Jeunesse.

L'étude de l'évolution des fonds en exploitant les données bathymétriques historiques et à l'aide des systèmes d'informations géographiques a permis de détecter les variations de la morphologie des fonds et de distinguer les pentes favorisant la perte en sédiment. Ces deux indicateurs nous ont permis de classer les plages rocheuses comme géomorphologiquement défavorables pour le rechargement artificiel.

La modélisation numérique de l'hydrodynamique sédimentaire a apporté des réponses très satisfaisantes en termes de faisabilité de rechargement au niveau de la plage El Riadh, dont elle nous a permis d'identifier les parties des ouvrages et de la plage les plus exposés à la virulence de la houle et ce, en se basant sur les résultats de dissipation d'énergie fournis par le modèle SWAN et de déterminer des points d'affouillement au pied des ouvrages confirmés par le module ST du transport sédimentaire. La présence de telles zones indique un éventuel risque de fuite des sédiments de rechargement.

### *Conclusion générale*

---

La reproduction des évènements météo-marins extrêmes à l'aide des SIG et des modèles numériques donne comme avantage la rapidité et la facilité de détecter les zones les plus sensibles faces à l'attaque de la mer.

La qualification des indicateurs techniques tel que l'accessibilité, la présence des structures marines et terrestres, les sources de sédiment de rechargement donne des indices pertinents sur la faisabilité d'une opération d'alimentation des plages.

Ces conclusions nous ont permis de répondre clairement aux questions posées dans la problématique. L'étude de cas illustré par la plage El Riadh a renforcé le résultat visant à classer les plages de la côte Ouest algéroise de point de vue géomorphologique en deux secteurs, favorable et défavorable pour le rechargement artificiel.

En raison de quelques paramètres techniques. La sélection de notre cas d'étude s'est portée sur la plage EL Riadh. Nous avons donc testé son comportement et sa stabilité lors des évènements extrêmes. Ceci nous a amenés à définir un statut favorable pour le rechargement de cette plage à condition d'être associé par l'implantation d'un géo-tube arasé à une profondeur optimale pour permettre une régénération des eaux.

Afin de valoriser les résultats obtenus, il a été nécessaire de calculer les erreurs probables, dont l'intérêt est d'éviter de prendre des mauvaises décisions basées strictement sur des outils de mesure empiriques, des calculs informatisés et des formules mathématiques.

Le long de cette étude nous avons essayé de quantifier au maximum les marges d'erreurs pour toute valeur estimée qu'elle soit issue des mesures, des calculs ou des traitements des données, ce qui n'est pas toujours évident surtout pour ce dernier, où la difficulté se présente dans la fiabilité des bases de données exploitées.

Dans notre travail, nous avons pu exploiter la performance des outils informatiques et des langages de programmation, pour optimiser le taux de calcul et minimiser les erreurs. A cet effet, 04 programmes de traitement automatique des bases de données planes et de visualisation des résultats obtenus ont été élaborés à savoir deux macros sous Excel, et deux extensions sous ArcGIS.

Pour améliorer et compléter ce travail on propose les perspectives suivantes :

### *Conclusion générale*

---

- L'application de l'optimisation mathématique afin de déterminer les meilleurs scénarios de rechargement et/ou les plus rentables en termes de faisabilité technico-économique.
- Une étude de faisabilité biologique, par l'évaluation de l'impact de ce genre de projet sur l'écosystème biologique et surtout le benthos marin.
  
- La mise en place des systèmes d'informations « *story map* » sur les caractéristiques socio-technico-économiques des lieux et ces populations, pour performer les études de faisabilité précédemment mentionnées.

# *Bibliographie*

## Bibliographie

**ABDELLAOUI, Aimen et BENBETKA, Youcef. 2017.** Modélisation des processus hydrosédimentaires de la plage de « Sidi Fredj ». *Mémoire de fin d'étude; Hydraulique*. Alger : école nationale polytechniques, 2017.

**AMAROUCHE, Khalid. 2015.** *Contribution à la recherche des zones à fort potentiel d'énergie houlomotrice à base d'un modèle hydrodynamique*. Alger : ENSSMAL, 2015. p. 88.

**AMIS, Groupe. 2004.** 2004.

**ARNOTT, R. Davidson. 2010.** *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. New York : Cambridge University Press, 2010. p. 442. ISBN-13 978-0-521-69671-5.

**ARUN, P.V. 2013.** A comparative analysis of different DEM interpolation methods. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space*. 2013, Vol. 16, pp. 133-139.

**BACHARI, H.F. 2009.** Modélisation et cartographie de la pollution marine et de la bathymétrie à partir de l'imagerie satellitaire. Paris, France : s.n., 2009. p. 236.

**BAKALEM, A. 2008.** Contribution à l'étude des peuplements benthiques du plateau continental Algérien. 2008, p. 278. Thèse doctorat.

**BELKESSA, Rabah. 2007.** *Une différence de granulé peut tout changer*. s.l. : Publié dans El Watan, 2007.

**BELLAHBIB, N. 2015.** Etude granulométrique et minéralogique des sédiments superficiels du littoral de Saïdia et de l'estuaire de la Moulouya (nord-est du Maroc) . 2015, p. 28.

**BENGOUFA, S. 2016.** Etude et évaluation de l'état de la vulnérabilité du système côtier de la zone Est-algéroise. Alger : ENSSMAL, 2016. p. 92.

**BOOIJ, N, RIS, R.C et HOLTHUIJSEN, L.H. 1999.** *A third-generation wave model for coastal regions*. 1999. pp. 7649-7666.

**BOUAKLINE, Salim. 2009.** *Variation historique de la ligne de rivage et érosion cotière le long de la cote Est algéroise entre Cap Matifou et l'embouchure de l'oued Réghaia*. 2009. Thèse Magester.

- BOUGHERARA, Hind. 2011.** Caractérisation géologique et géotechnique de la partie occidentale de la baie d'Alger. 2011. PFE.
- BOUHAMADOUCHE. 1993.** Sédimentologie du plateau continentale Est algérois (Boumerdes-Boudouaou el Bahri) "morphologie, minéralogie, mécanisme hydrosédimentaire, érosion et protection du littoral",. Alger, université de science et technologie HB, Algérie : s.n., 1993.
- BRGM, EGIS-EAU et IAU-IDF. 2013.** *Etude sur la vulnérabilité et l'adaptation de la Wilaya d'Alger au changement climatique et aux risques naturels.* 2013. Doc non publié..
- BRUNEL, Cédric et SABATIER, François. 2006.** Recul du rivage et remonté de la mer sur les plages contrôlées par la houle et sur les plages de poches. *IXèmes Journées Nationales Génie Cotier - Génie Civil.* 2006, pp. 394-395.
- CAMENEN, R., et al. 2000.** *Modélisation numérique du transport sédimentaire sur une plage sableuse.* Caen, France, : Rapport du colloque Nationales Génie Civil- Génie Côtier, 2000. pp. 17-19 .
- CAPOBIANCO, Michele, et al. 2002.** Nourishment design and evaluation: applicability of model concepts. *Elsevier.* 2002, pp. 113-135.
- CBNP. 1995.** *Beach nourishment and protection.* Washington : National Academy Press, 1995. p. 334. ISBN 0-309-05290-4.
- CHAMLEY, H. 1987.** *Sédimentologie.* [éd.] Dunod. Paris : s.n., 1987. p. 175.
- CNERU GROUPE. 2004.** *Cadastre Littoral Wilaya d'Alger.* Alger : MATE, 2004.
- COHEN, M.C.L., et LARA R.J. 2003.** Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. *Wetland Ecology Management.* 2003, Vol. 11, pp. 223-231.
- CREOCEAN. 2010.** *MODELISATIONS COMPLEMENTAIRES, D'AGITATION ET NIVEAU DE SURCOTE, POUR LA PRISE EN COMPTE DE L'EVENEMENT XYNTHIA.* La Rochelle : s.n., 2010. Rapport 1-10099I-RA1indD .
- DANG VAN, TO et THAO, PHAM THI PHUONG. 2008.** Shoreline analysis using DSAS in Nam Dinh coastal Area. *international journal of geoinformatics.* Geoinformatics International (GI), 2008, Vol. 4, 1.

- DE LA TORRE, Y, et al. 2014.** *Inventaire et analyse des solutions douces de gestion de l'érosion cotière et applicabilité au littoral corse.* BRGM. 2014. p. 59, Rapport final. RP-63034-FR.
- DEAN, G.Robert. 2002.** *Beach nourishment: Theory and practice.* s.l. : British Library, 2002. ISBN 981-02-1547-9.
- DEAN, G.Robert et A.DALRYMPLE, Robert. 2004.** *COASTAL PROCESSES: with Engineering Applications.* 2004. pp. 212-218.
- DHI. 2014.** REMOTE SIMULATION USER GUIDE. s.l. : Danish Hydraulic Institute, 2014.
- DROUIN, Ariane et SAINT-LAURENT, Diane . 2010.** Comparaison des méthodes d'interpolation pour l'élaboration de modèles numériques d'élévation de haute précision dans la représentation micro-topographique des plaines inondables. *Hydrological Sciences Journal.* 26 05 2010, pp. 526-539.
- DUT. 2006.** *SWAN user manual.* s.l. : Delft University of Technology, 2006.
- FAIRBANK, Helen et JAKEWAYS, Jenny. 2006.** *Cartographie de l'évolution et des risques du littoral.* s.l. : Centre for the Coastal Environment, 2006. pp. 10-29. Dossier de formation.
- FAYE, Ibrahima. 2010.** *Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest).* Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest : s.n., 2010. pp. 14-28.
- FICHAUT, Bernard et SUANEZ, Serge. 2008.** *Etude de faisabilité de l'ensablement de la Plage de La cantine (Le Relecq-Kerhuon).* 2008. p. 24.
- FOLK, R.I et WARD, W.C. 1957.** *Brazos river bar: a study of significance of grain size parameters.* 1957. pp. pp. 3-26.
- FOURNIER, J et Bonnot-Courtois C., Paris R., Voldoire O. 2012.** *Analyses granulométriques principes et méthodes.* 2012. p. 9.

**FRANCOIS, SABATIER, STIVE MARCEL, J.F et FREDERIC , PONS. 2004.** LONGSHORE VARIATION OF DEPTH OF CLOSURE ON A MICRO-TIDAL WAVE-DOMINATED COAST. *ResearchGate*. 2004, p. 14.

**GHOMARI, F et BENDI-OUIS, A. 2008.** *Analyse granulométrique*. 2008. p. 8.

**GLANGEAUD, Louis. 1936.** *Carte géologique de Nord-Ouest de la province d'Alger*. s.l. : Service Géologique de l'Algérie, 1936.

**GONZALEZ, M, MEDINA, R et LOSADA, M.A. 1999.** Equilibrium beach profile model for perched beaches. *Coastal Engineering*. 1999, pp. 343–357.

**GRASSO, Florent. 2009.** *Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire des plages*. Grenoble : s.n., 2009. tel-00432041.

**HAMON, Klervi. 2014.** Etude de la morphodynamique et du profil d'équilibre d'une plage de poche macrotidale. 2014. Océanographie.

**HANEY, Rebecca, et al. 2007.** *Beach Nourishment :MassDEP's Guide to Best Management Practices or Projects in Massachusetts*. Boston : s.n., 2007. p. 31.

**JAUD, Marion. 2011.** *Techniques d'observation et de mesure haute résolution des transferts sédimentaires dans la frange littorale*. Brest : HAL, 12 12 2011. PP148-184.

**KAPLAN, E . D. et HEGARTY, C.G. 2006.** *Understanding GPS: Principles and applications*. 2nd. s.l. : Artech house, 2006. pp. 379-390. ISBN 1-558053-894-0..

**KHAFANI, Dalila. 2014.** *Etude hydro-sédimentaire à l'avant côte de Cap Djinet*. Alger : s.n., 2014. p. 9.

**KHALFANI, Dalila. 2014.** *ETUDE HYDRO-SEDIMENTAIRE A L'AVANT COTE DE CAP DJINET*. Alger : s.n., 2014. p. 9.

**LATTEUX, Bernard. 2008.** *Exploitation de matériaux marins et stabilité du littoral*. Quae, France : s.n., 24 06 2008. P 162.

**LE BERRE, Iwan et NOGUES, Loïc . 2010.** *Fiche technique n° 3b : Lignes de référence sur le littoral, quel trait de côte choisir ?* 2010.

**LE BERRE, Iwan, et al. 2008.** *SPOT5 : un outil pertinent pour le suivi du trait de côte ?* s.l. : Norois, 15 Decembre 2008.

**LECLAIRE, L. 1972.** *La sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin algérobalaéares (Précontinent algérien)*. 1972. p. 391.

**LEM et SOGREAH. 2010.** *Etude de protection de la plage Palm beach*. 2010.

**LEY DE LA VEGAL, CarLos, et al. 2012.** *Conservation des dunes côtières: Restauration et gestion durables en méditerranée occidentale*. Espagne : UISN, 2012. pp. 8-21. 978-2-8317-1565-0.

**LOUATI, Mourad et ZARGOUNI , Fouad. 2009.** Modélisation topo-bathymétrique et transit sédimentaire. Exemple des plages sableuses de la baie de Tunis, Nord-Est de la Tunisie. 2009, Vol. 15, pp. 211-222.

**MEDDTL. 2010.** *La gestion du trait de côte*. [éd.] Minister du transport et du logement et ministere de l'écologie du développement durable. Quæ. 78026 Versailles Cedex, France : s.n., 2010. p. 288. ISBN: 978-2-7592-0360-4.

**MELLET, C et MICHOT, A. 2012.** *Synthese de référence des technique du suivi du trait de cote : Rapport d'activité*. France : Bureau des recherches géologiques et minières (BRGM) : s.n., 2012. Document non publié..

**MESSAOUD, K. 2009.** . *Réseau de capteurs sans fil : Etude en vue de la réalisation d'un récepteur GPS différentiel à faible coût*. Réseau et télécommunications. France : s.n., 2009.

**MESSAOUD, Nacer. 1987.** Hydrogéologie et pollution des eaux : exemple du bassin versant du Mazafran, Mitidja (Algérie). 1987, pp. 66-95.

**MEZHOUD, Abdelkarim. 2011.** *Contribution à l'analyse de durabilité du domaine littoral (loi 02-02) inclus dans le Projet de la Zone d'Expansion Touristique de Ain Chorb - willaya d'Alger*. 2011. pp. 52-69. Mémoire d'ingénieur .

**MIOSSEC, Alain. 2009.** *Les littoraux: Entre nature et aménagement*. 3. Paris : ARMAND COLIN, 2009. p. 191. ISBN 978-2-200-26769-8.

**MOUREAU, Magdeleine et BRACE, Gerald. 1993.** *Comprehensive Dictionary of Petroleum Science and Technology*. 1993. P 500.

**NADIR, Mohammed. 2016.** Modélisation numérique de la morphodynamique d'une côte sableuse soumise à l'effet des vagues et des houles cas : Plage Est de Sidi Fredj. 2016, p. 128. Mémoire d'ingénieur.

- OTMANI, Housseyn. 2014.** *Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet.* s.l. : ENSSMAL, 2014. p. 107. Thèse Magister.
- OUKADR, Mimoun, MOUHID, Mustapha et CHAGDALI, Mohamed. 2017.** *Modélisation hydrodynamique dans un port.* Maroc : s.n., 2017. p. 3. 13ème Congrès de Mécanique.
- PAC. 2005.** *Programme d'aménagement COTIER (PAC) de la « zone côtière algéroise» rapport final intègre.* 2005. p. 237.
- PASKOFF, R et Clus-Auby, C. 2007.** *l'érosion des plages : les cause, les remèdes.* Paris : s.n., 2007. p. 184.
- PASKOFF, Roland. 2010.** *Les littoraux:impact des aménagements sur leur évolution.* 3d. paris : Armand Colin, 2010. p. 259. ISBN: 978-2-200-24926-7.
- PAT. 2012.** *plan d'aménagement touristique Alger.* Alger : s.n., 2012.
- PILKEY, Orrin H et Pilkey-Jarvis, Linda. 2014.** *Retreat from a Rising Sea: Hard Choices in an Age of Climate Change.* New York : Columbia University Press, 2014. p. 232. ISBN 97-80231541-800.
- SABATIER, François. 2001.** *Fonctionnement et dynamiques morphosédimentaires du littoral de delta du Rhône.* 2001. p. 273.
- SALOMON, Jean-Noël. 2008.** *Géomorphologie sous-marine et littoral.* [éd.] Presses Universitaires de Bordeaux. 2008. pp. 109-146. ISBN : 978-2-86781-522-5 .
- SEKKAL, Rached. 1986.** *Hydrologie de la nappe de la Mitidja (Algérie) : étude hydrodynamique des champs captants de la ville d'Alger.* 1986. Géologie appliquée.
- SHEIK, M., et CHANDRASEKAR. 2011.** *A shoreline change analysis along the coast between Kanyakumari and Tuticorin, India, using digital shoreline analysis system.* Geospatial Information Science. 2011, Vol. 14, 4, p. 282.
- SOGREAH, LEM et. 2010.** *Etude de protection de la plage Palm beach.* 2010. p. 198.
- THIELER, E Robert et HIMMELSTOSS, Emily A. 2009.** *DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide:updated for version 4.3.* 2009. p. 76.

**THINH, NGUYEN AN et HENS, LUC. 2017.** A Digital Shoreline Analysis System (DSAS) applied on mangrove shoreline changes along the Giao Thuy Coastal area (Nam Dinh, Vietnam) during 2005-2014. *Vietnam Journal of Earth Sciences*. Vietnam Academy of Science and Technology, 2017, Vol. 39, 1, pp. 87-96.

**TRESCA, Antoine. 2015.** *Etude de faisabilité d'un aménagement de stabilisation à court terme de la dune d'Aval*. 2015. p. 75. Document non publié .



## Annexe I

### Les Vents

**Station :** Alger Port (01-01-2011 et 31-12 2016)

Latitude : 36,77°N

longitude : 3,10°E

altitude : 8

m

**Tableau 01 :** Fréquence mensuelle des vitesses du vent en pourcentage (%) station Alger

Champ de vitesse des vents (m/s)	1,6 - 3,3	3,4 - 5,4	5,5 - 7,9	8 - 10,7	10,8 - 13,8	13,9 - 17,1	> 17,1
<i>Janvier</i>	22,89	33,81	23,26	10,91	6,47	2,06	0,60
<i>Février</i>	16,07	31,62	26,39	15,88	6,81	3,25	0,00
<i>Mars</i>	16,72	30,21	30,50	15,25	5,57	0,88	0,88
<i>Avril</i>	11,21	40,61	33,94	11,52	2,42	0,30	0,00
<i>Mai</i>	10,26	41,35	36,07	10,85	1,47	0,00	0,00
<i>Juin</i>	5,15	49,39	33,64	10,61	1,21	0,00	0,00
<i>Juillet</i>	5,28	49,85	35,78	8,21	0,59	0,29	0,00
<i>Août</i>	5,28	51,03	35,19	7,92	0,59	0,00	0,00
<i>Septembre</i>	10,30	48,18	33,94	7,27	0,30	0,00	0,00
<i>Octobre</i>	20,53	48,97	25,81	3,52	0,59	0,59	0,00
<i>Novembre</i>	22,73	33,94	22,12	13,03	7,27	0,91	0,00
<i>Décembre</i>	27,12	31,76	23,25	11,57	5,15	0,85	0,29

Port (entre 01-01-2011 et 31-12 2016)

**Tableau 02 :** Fréquence mensuelle des secteurs d'apparition des vents en pourcentage (%)

station port d'Alger (entre 01-01-2011 et 31-12 2016)

Direction	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSO	SO	OSO	O	ONO	NO	NNO	Calme
<i>Janvier</i>	2,5	2,8	4,9	1,9	1	0,6	1,1	2,9	7,4	8,1	7,5	6,4	7,3	3,6	1,6	2,9	37,2
<i>Février</i>	4,2	4,6	6,6	1,1	1,3	0,2	1	2,8	8,1	9,3	5,5	5,4	9,8	5,8	1,6	3,1	29,7
<i>Mars</i>	7,9	5	9	1,7	1	0,7	1,3	2,7	5,1	7,2	3,1	4,4	8,7	4,7	1,8	4	31,7
<i>Avril</i>	7,4	8,4	11,3	2,2	0,8	0,7	0,8	2	4,5	3	2,8	3	6,6	4,2	1,1	4,6	36,5
<i>Mai</i>	8,4	9	13,8	3,5	0,3	0,7	0,8	1,1	2,9	3,5	2,6	2,9	5,1	3,4	0,8	3,7	37,4
<i>Juin</i>	10,8	10,4	17	3,2	1,8	0,4	0,5	1	1,1	1,7	1,2	2,1	4	2,4	1,3	6,4	34,6
<i>Juillet</i>	14	12	16,1	2,3	0,8	0,3	0,3	1	0,6	1,2	0,8	1,2	1,7	1,4	1,3	6	39
<i>Août</i>	11,7	15	18,4	2,4	1,3	0,3	0,4	0,8	1,9	1,3	0,6	1,3	1,9	1,6	1,5	6,7	32,7
<i>Septembre</i>	6,2	10,1	21,5	3,1	1,6	0,8	0,9	1,4	2,3	3,4	0,8	1,4	3,9	2,2	1	4,4	35,1
<i>Octobre</i>	4	6,5	9	2,6	4,2	1,2	0,7	2	5	4,9	2,2	2,1	6	2,9	0,7	3,6	42,3

*Annexe I*

Novembre	3,3	3,4	6,4	1,6	0,8	0,9	1,2	3,6	8,2	8,5	5,6	5,2	6,3	2,1	1,4	2,4	39
Décembre	3,7	3,8	5	0,7	1,1	0,6	0,6	2,1	5,0	7,7	5,0	2,8	6,8	4,2	1,3	3,3	43,8

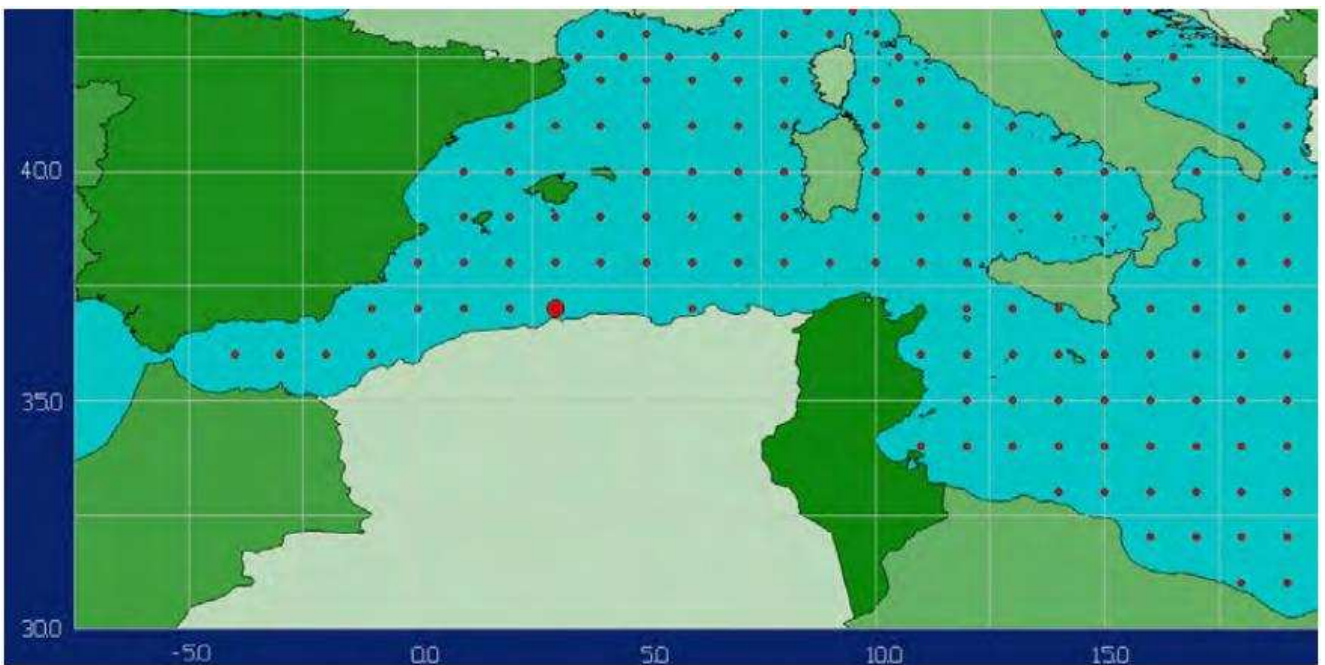
**Tableau :** des fréquences des hauteurs de la houle pour tous les directions (station Port d'Alger, Wiziku)

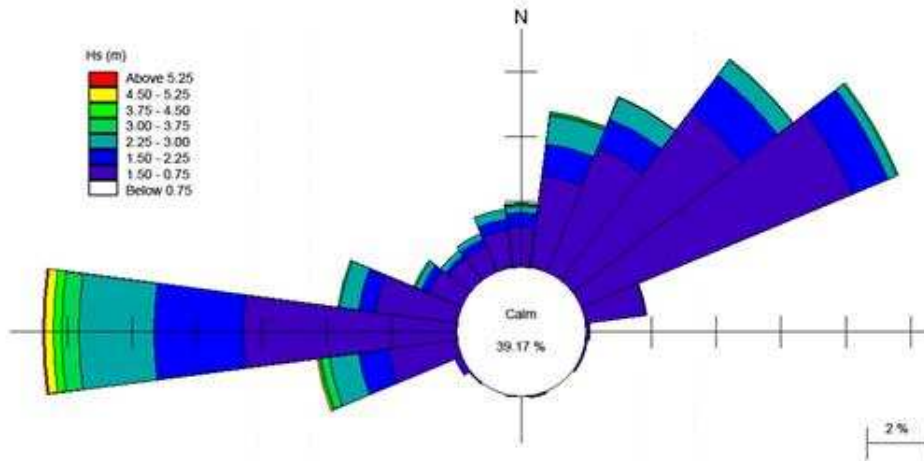
Mois	0-1 m	1-2 m	2-3 m	3+ m
Janvier	19,8	8	1,6	1,6
Février	14,2	9	3	2,2
Mars	21	7,2	2,8	0
Avril	25,2	4,2	0,6	0
Mai	26,8	3,6	0,6	0
Juin	28,8	1	0,2	0
Juillet	29,6	1,4	0	0
Août	29	2	0	0
Septembre	29	1	0	0
Octobre	27,8	2,5	0,8	0
Novembre	20	7	1,5	0,5
Décembre	23,3	6,5	0,8	0,5

**Tableau :** des fréquences des hauteurs de la houle pour le secteur Nord-Est (station Port d'Alger, Wiziku)

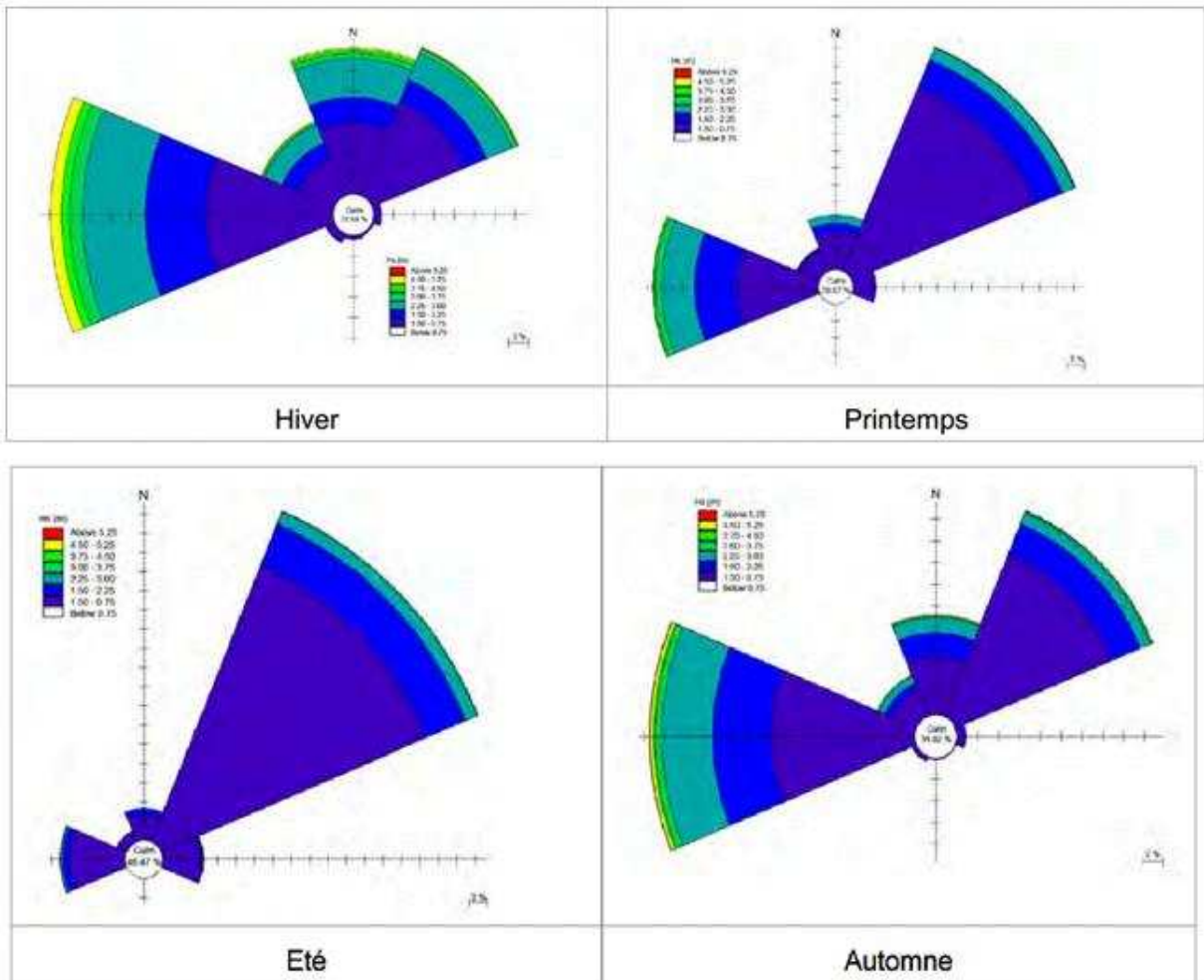
Mois	0-1 m	1-2 m	2-3 m	3+ m
Janvier	1,8	0,2	0	0
Février	3,2	0,6	0	0
Mars	8	0,4	0	0
Avril	8,8	0,2	0,4	0
Mai	16,2	0	0	0
Juin	16,4	0,2	0	0
Juillet	23,2	0,6	0	0
Août	21	0,4	0	0
Septembre	15,2	0	0	0
Octobre	8,8	0	0	0
Novembre	5,8	0	0	0
Décembre	4,8	0	0	0

**Localisation des points de données en méditerranée centrale et occidentale issue de l'atlas (La point au large d'Alger dans les fonds de -2500m aux coordonnées 37°N et 3°E)**





rose des houles annuelles au large d'Alger



Hiver

Printemps

Eté

Automne

*Annexe I*

Rose des houles annuelle et saisonnière au large de la cote algéroise (EGIS EAU, IAU-IDF,  
BRGM, 2013)

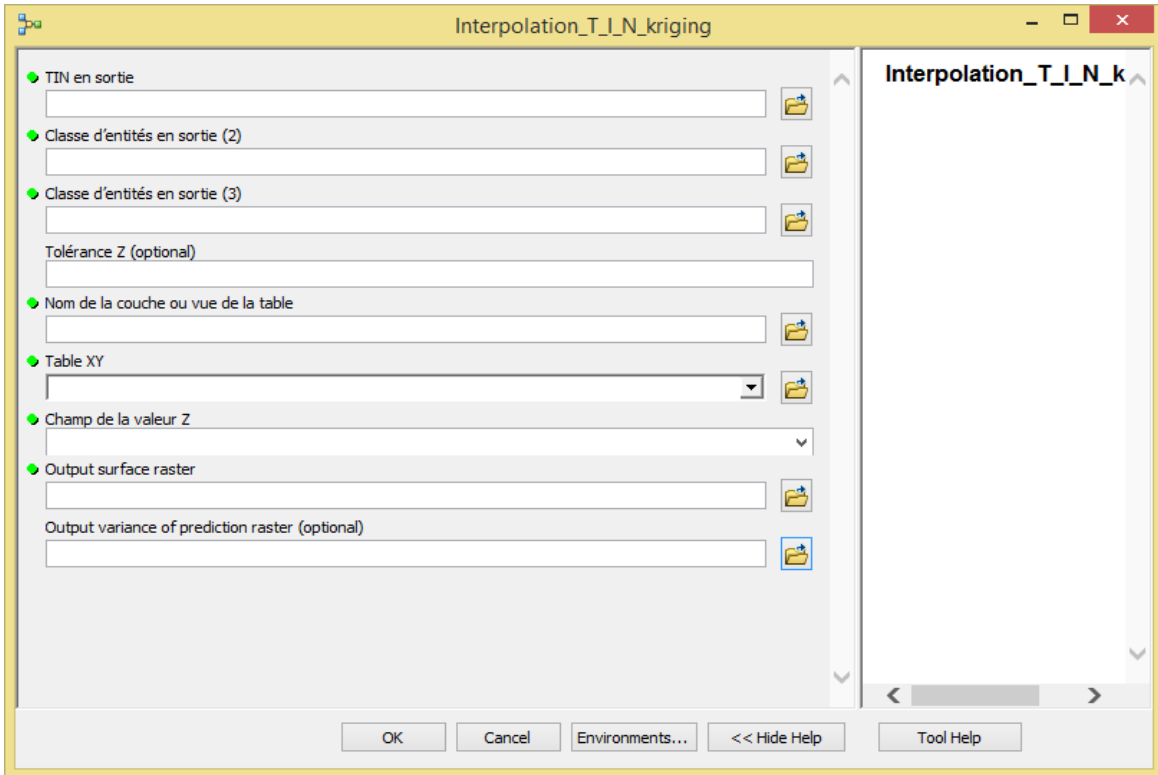
**Fréquences des classes de hauteurs significatives en fonction des directions  
dominantes au large. (MEDATLAS, 1999-2004)**

	Annuelle		Hiver		Printemps		Eté		Automne	
	NE	W	NE	W	NE	W	NE	W	NE	W
<b>0,00 - 0,25</b>	0,8	0,1	1,1	0,4	0,7	0,3	0,2	0	1	0,1
<b>0,25 - 0,5</b>	7,21	2,64	4,3	2,8	6,16	3,54	10,33	1,5	7,64	2,48
<b>0,5 - 0,75</b>	11,47	4,17	6	4	11,02	5,15	18,76	3,91	10,23	3,78
<b>0,75 - 1</b>	9,14	4,27	3,9	4,5	11,12	3,44	14,44	2,81	7,94	4,86
<b>1 - 1,25</b>	6,3	3,55	3,3	4	7,79	3,53	10,03	1,7	4,77	4,27
<b>1,25 - 1,5</b>	3,45	2,95	2,2	3,3	3,74	2,42	5,42	1,6	2,67	3,96
<b>1,5 - 1,75</b>	2,03	2,13	1,3	2,8	1,72	2,83	2,9	0,5	1,9	2,89
<b>1,75 - 2</b>	1,33	2,03	1,1	2,9	1,63	2,02	1,8	0,4	1,1	2,59
<b>2 - 2,5</b>	1,32	2,44	1,8	3,7	1,21	2,52	1,3	0,2	1	3,08
<b>2,5 - 3</b>	0,4	1,31	1	2,2	0,4	1,41	0,3	0,2	0,2	1,69
<b>3 - 3,5</b>	0,3	0,91	0,6	1,3	0,2	0,8	0,2	0,1	0,3	0,7
<b>3,5 - 4</b>	0	0,4	0,1	0,9	0	0,3	0	0	0	0,3
<b>4 - 5</b>	0	0,4	0,1	0,9	0,1	0,1	0	0	0,1	0,4
<b>5 - 6</b>	0	0,1	0,11	0,3	0	0,1	0	0	0,1	0,1
<b>6 - 7,5</b>	0	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0

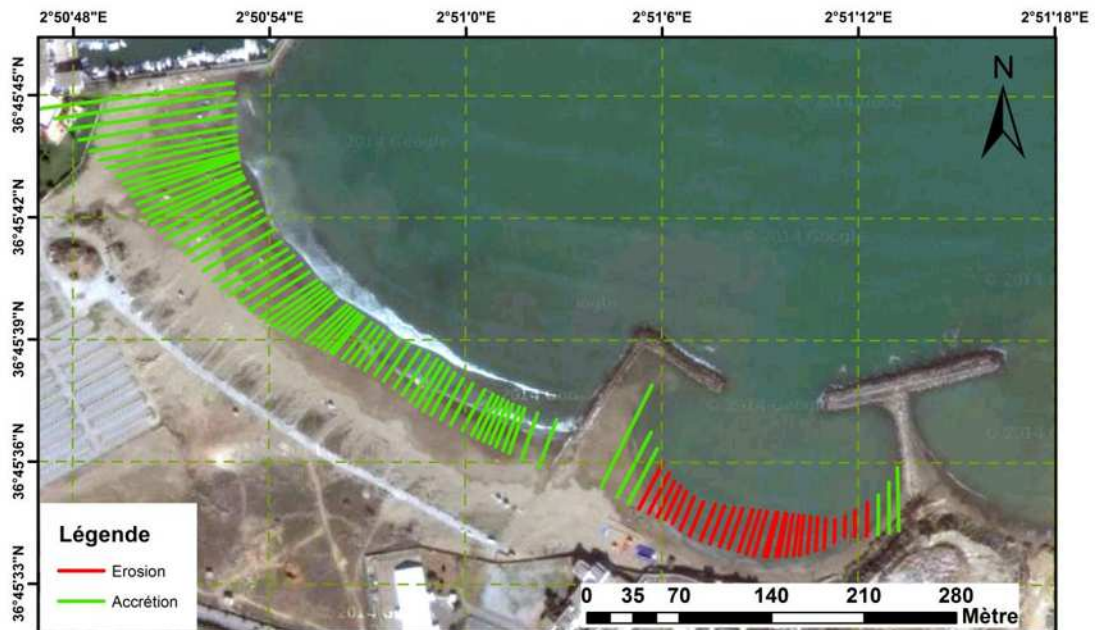


Annexe 02

Interface graphique des paramètres d'entrées de l'extension Interpolation\_TIN

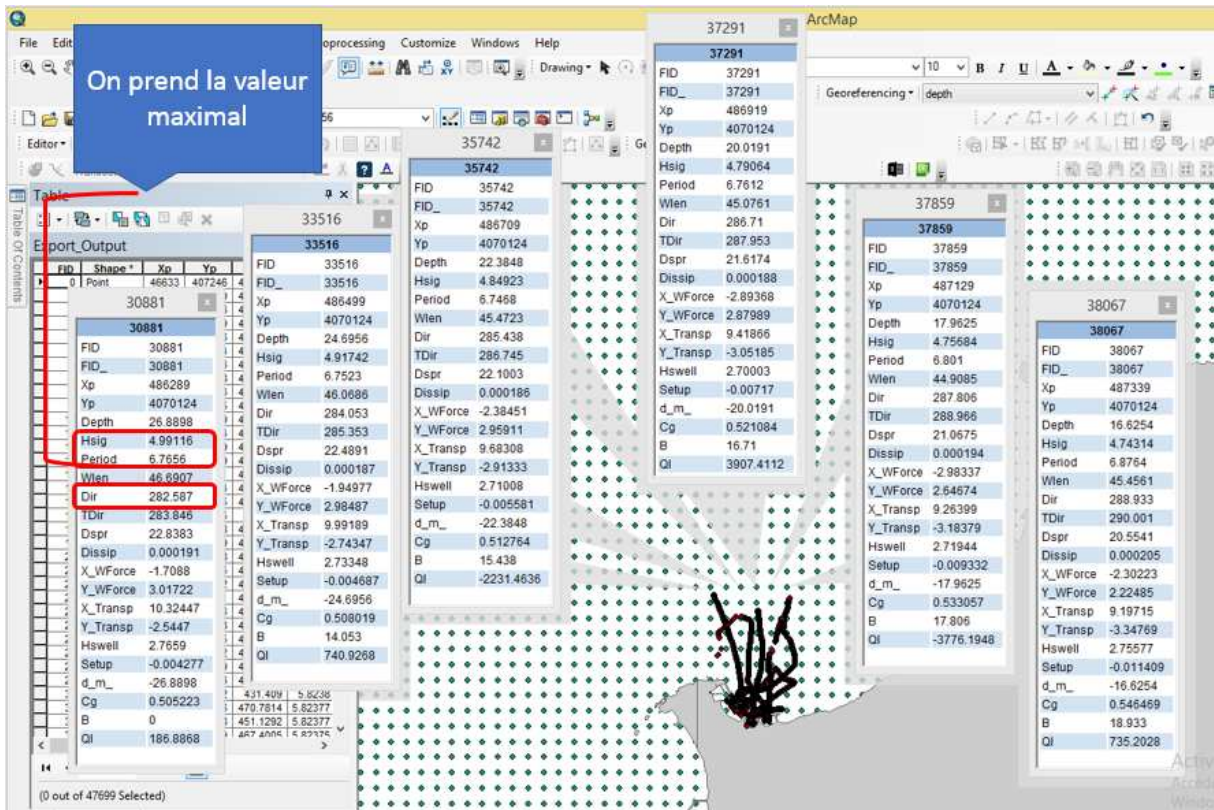


Evolution du tait de côte du secteur de la plage El Riadh entre 1959 et 2017

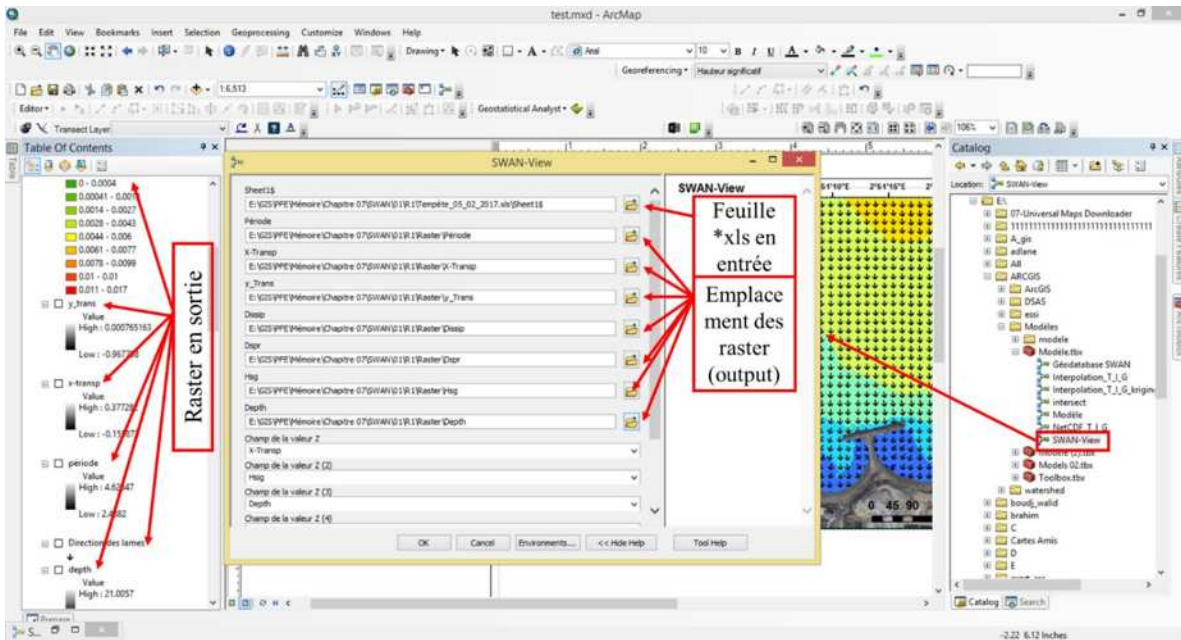


Annexe 03

Méthodologie d'extraction des conditions aux limites à partir du modèle régional pour les modèles locaux

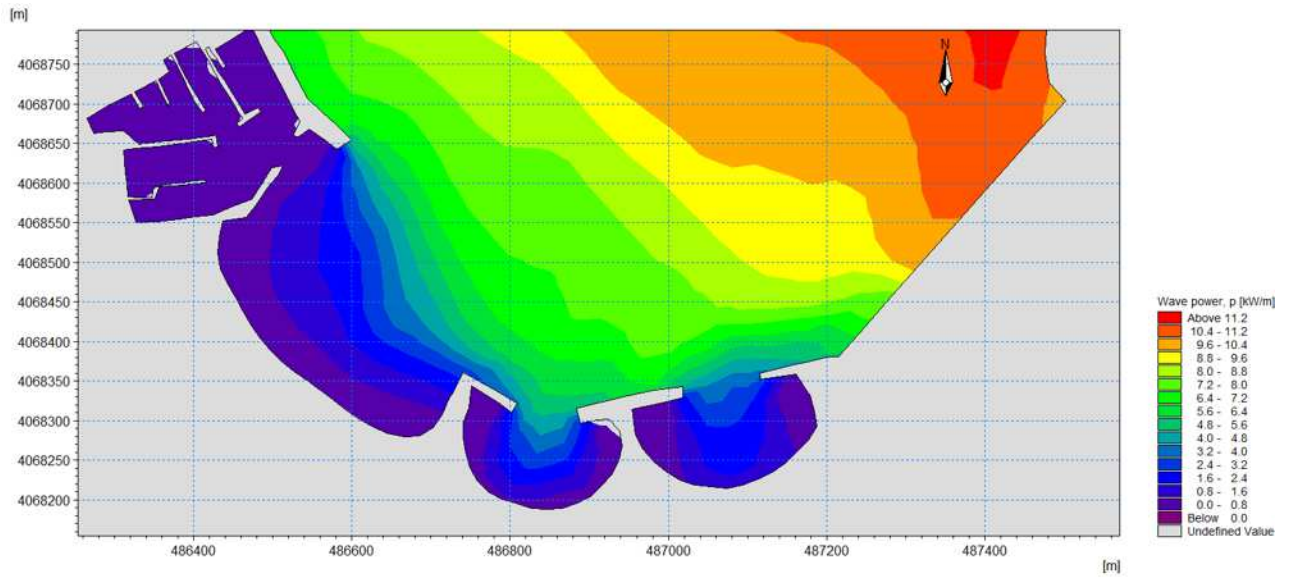


L'interface graphique de l'extension SWAN View du visualisation des résultats de SWAN

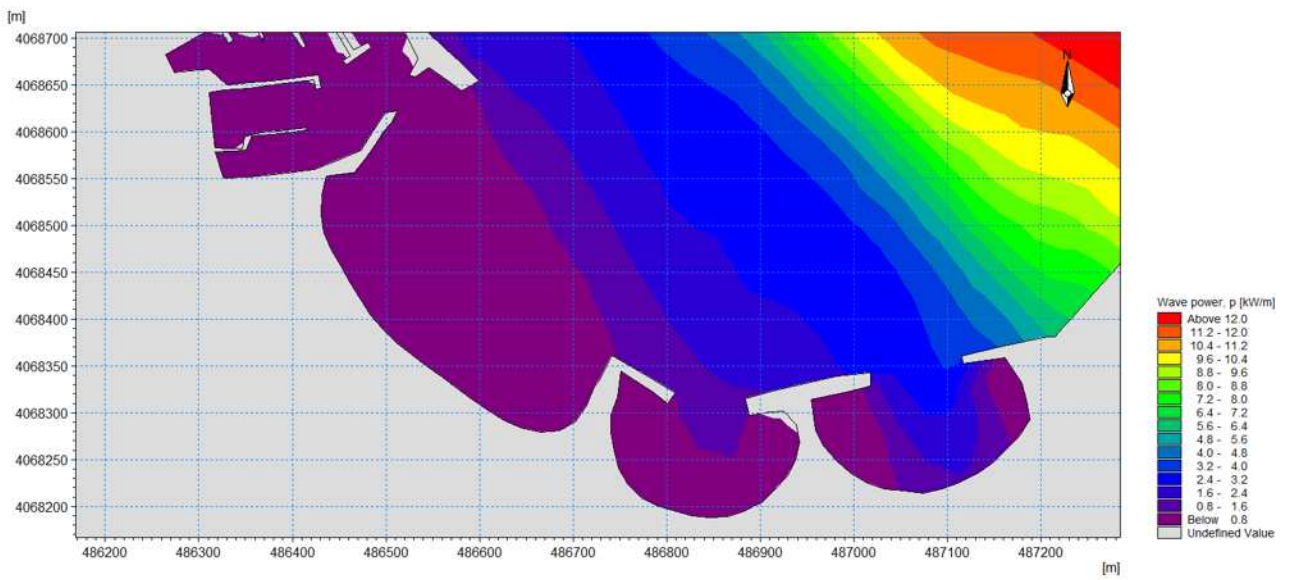


### Annexe III

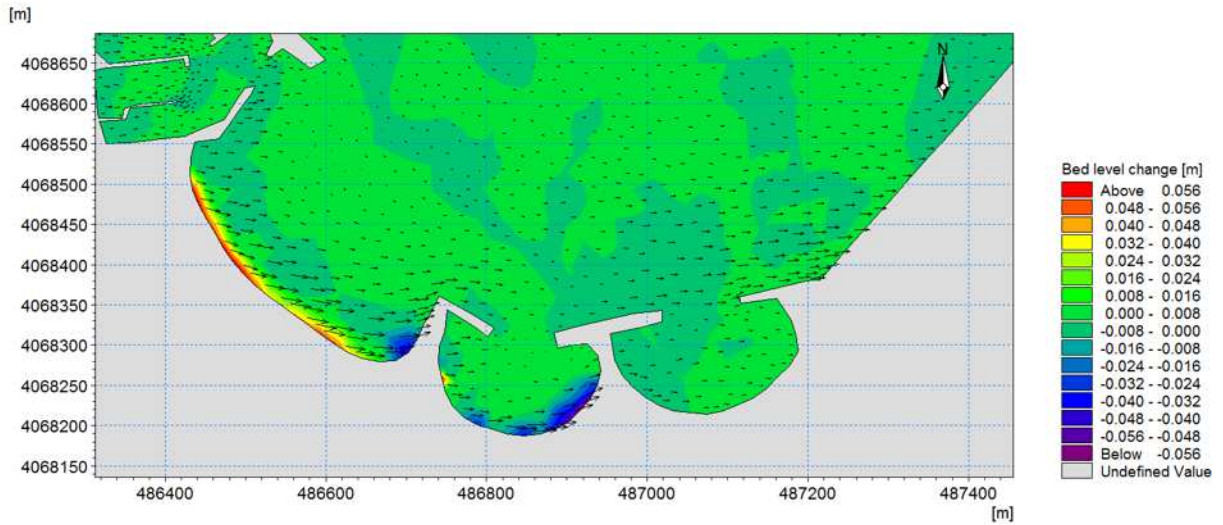
Energie de la houle pour une direction N 345° et une période de 5.23s



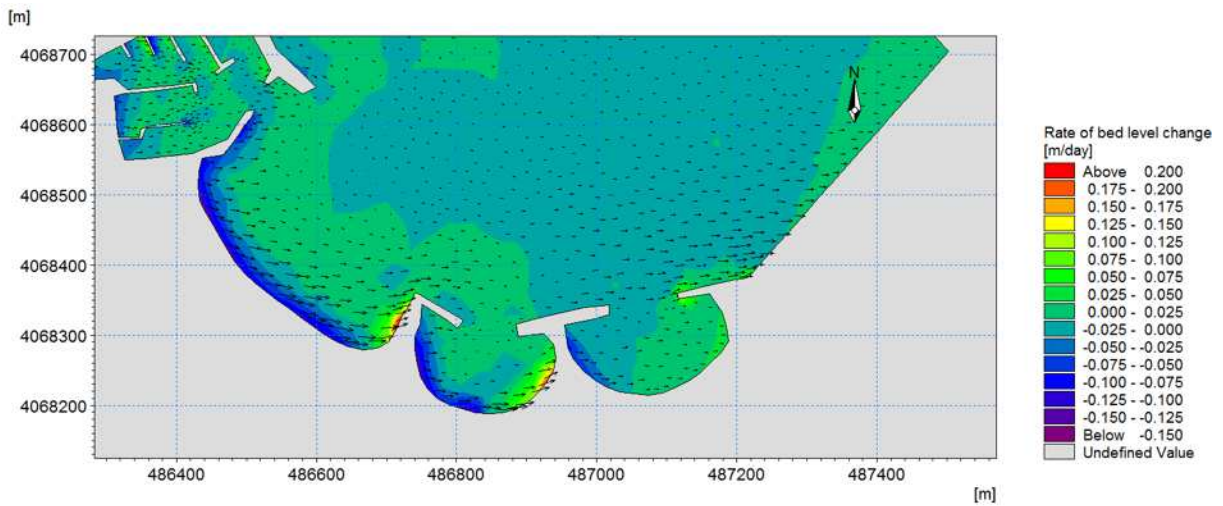
Energie de la houle lors de la tempête 05/02/2017



Transport sédimentaire pour la direction N.283° (bed level change)



Transport sédimentaire pour la direction N.283° (rate of bed level change)



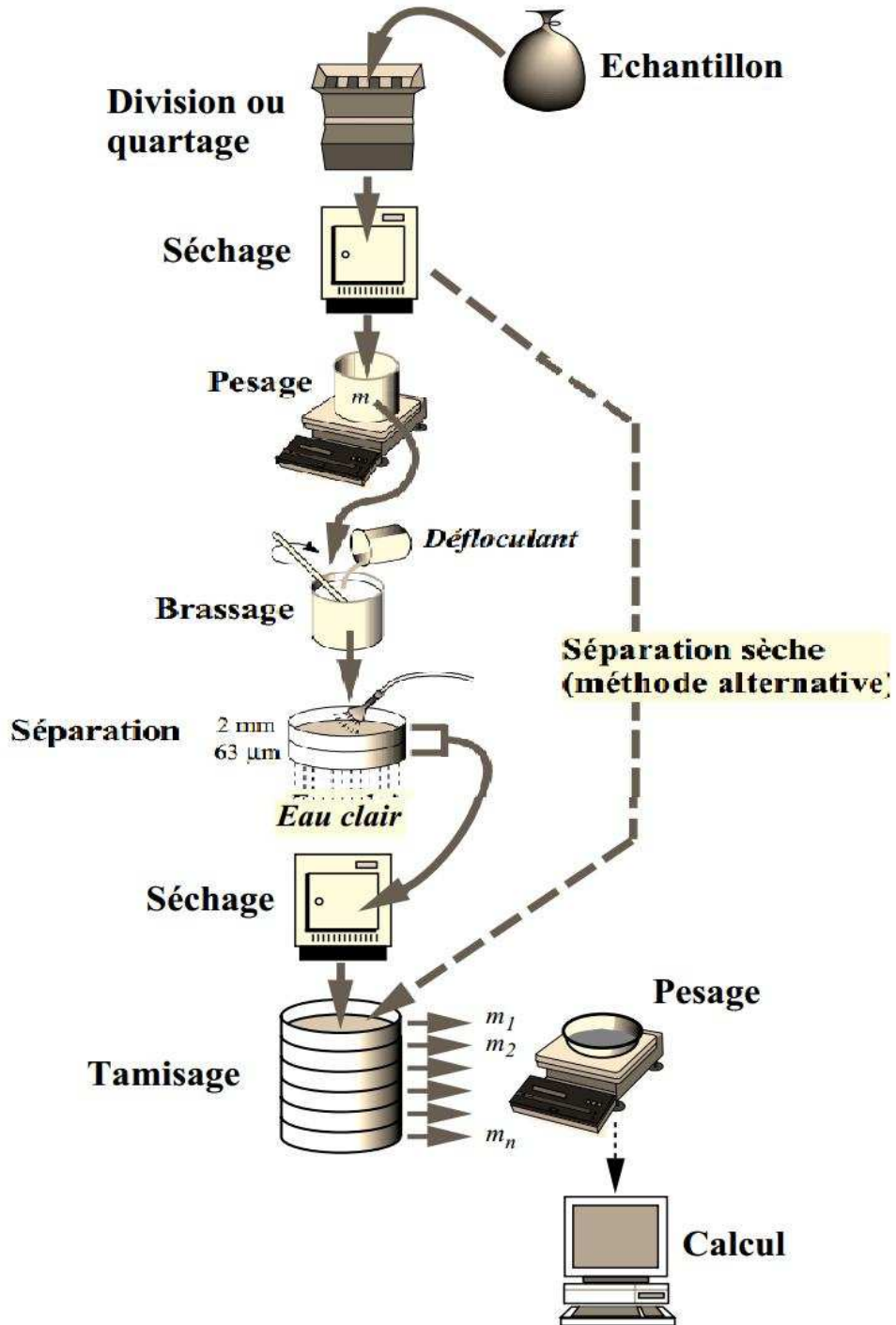
ANNEXE IV

**Annexe04**

**Tableau : Résultats de calcul des paramètres granulométriques**

Station	Mz	So	Ski	D. moyen	Tri	Asymétrie
M1	2.62	0.43	-0.12	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M2	2.70	0.39	-0.05	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
M3	2.90	0.46	0.05	Sable fin	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M4	2.42	0.64	-0.23	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
M5	2.63	0.48	-0.05	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M6	2.68	0.42	-0.01	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M7	2.63	0.44	-0.13	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M8	2.61	0.50	-0.12	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M9	2.97	0.38	-0.09	Sable fin	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
M10	2.72	0.42	0.06	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M11	2.37	0.69	-0.38	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
M12	2.67	0.58	-0.24	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
M13	2.61	0.35	0.05	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
M14	2.19	0.76	-0.26	Sable moyen	Modérement trié	Asymetrie vers les fins
M15	2.82	0.27	0.81	Sable fin	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
M16	2.69	0.38	-0.04	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
M17	1.97	0.95	-0.48	Sable moyen	Modérement trié	Asymetrie vers les fins
M18	2.51	0.52	-0.17	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
M19	2.73	0.43	0.06	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M20	2.45	0.52	-0.18	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
M21	2.71	0.33	0.00	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
M22	2.66	0.40	-0.13	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
M23	2.44	0.56	-0.17	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
P1	2.44	0.42	-0.35	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
P2	2.07	0.86	-0.55	Sable moyen	Modérement trié	Asymetrie vers les fins
P3	2.20	0.81	-0.58	Sable moyen	Modérement trié	Asymetrie vers les fins
P4	2.18	1.15	-0.64	Sable moyen	Mal trié	Asymetrie vers les fins
P5	2.45	0.43	-0.24	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
P6	2.45	0.36	-0.24	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
P7	2.22	0.74	-0.46	Sable moyen	Modérement trié	Asymetrie vers les fins
P8	2.28	0.74	-0.56	Sable moyen	Modérement trié	Asymetrie vers les fins
P9	2.35	0.45	-0.37	Sable moyen	Bien trié	Asymetrie vers les fins
P10	2.42	0.57	-0.40	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
P11	2.35	0.50	-0.39	Sable moyen	Modérement bien trié	Asymetrie vers les fins
P12	1.47	1.50	-0.68	Sable moyen	Mal trié	Asymetrie vers les fins
P13	2.44	0.39	-0.20	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
P14	1.63	0.95	-0.15	Sable grossier	Modérement trié	Asymetrie vers les fins
P15	2.55	0.37	-0.15	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins
P16	1.23	1.82	-0.67	Sable moyen	Mal trié	Asymetrie vers les fins
P17	2.65	0.38	0.02	Sable moyen	Très bien trié	Asymetrie vers les fins





ANNEXE IV



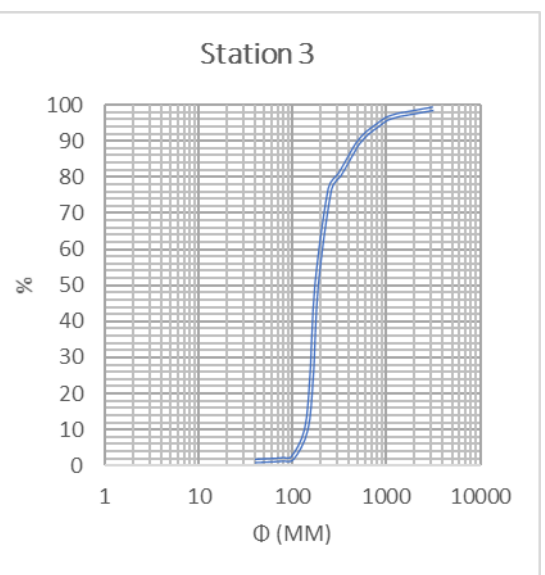
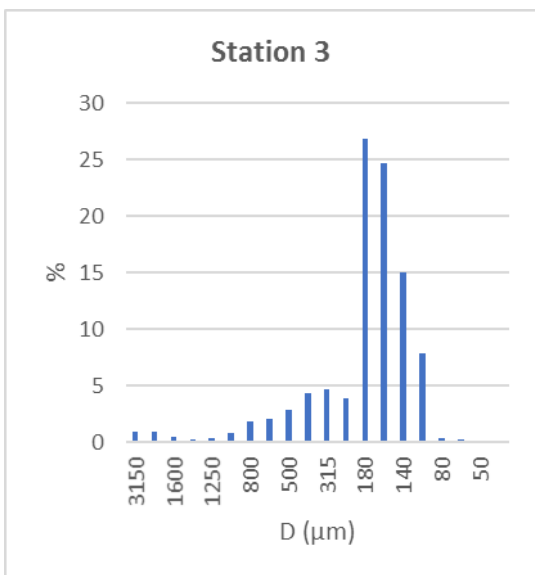
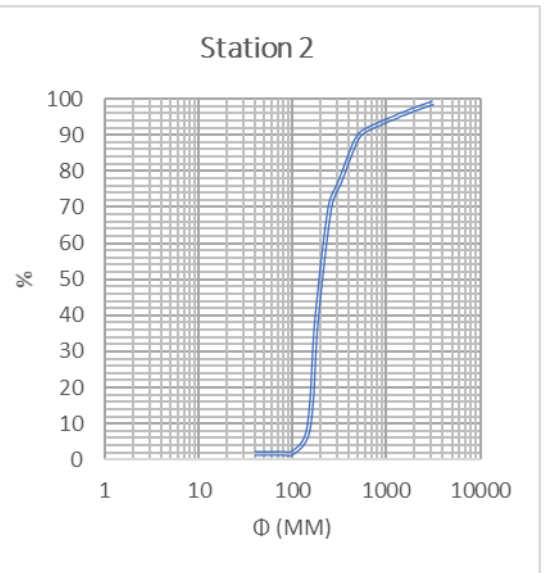
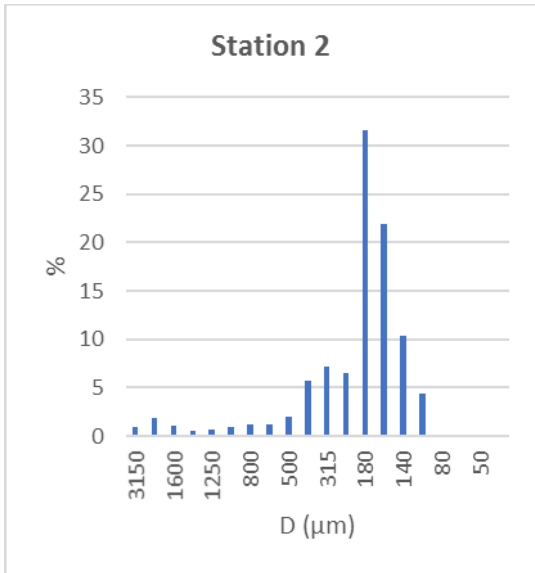
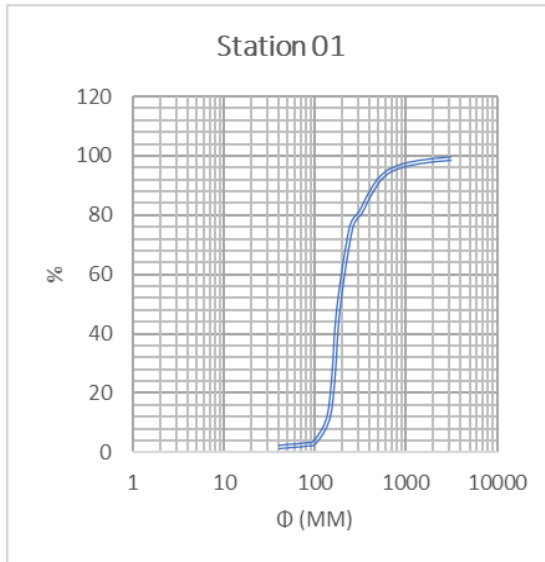
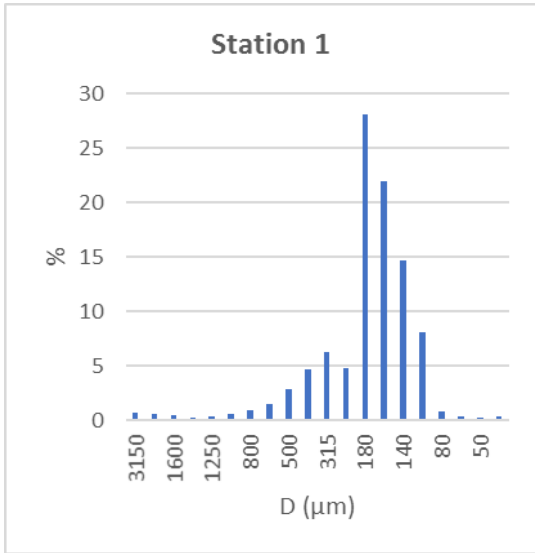
Techniques classiques et alternative de tamisage

## ANNEXE IV

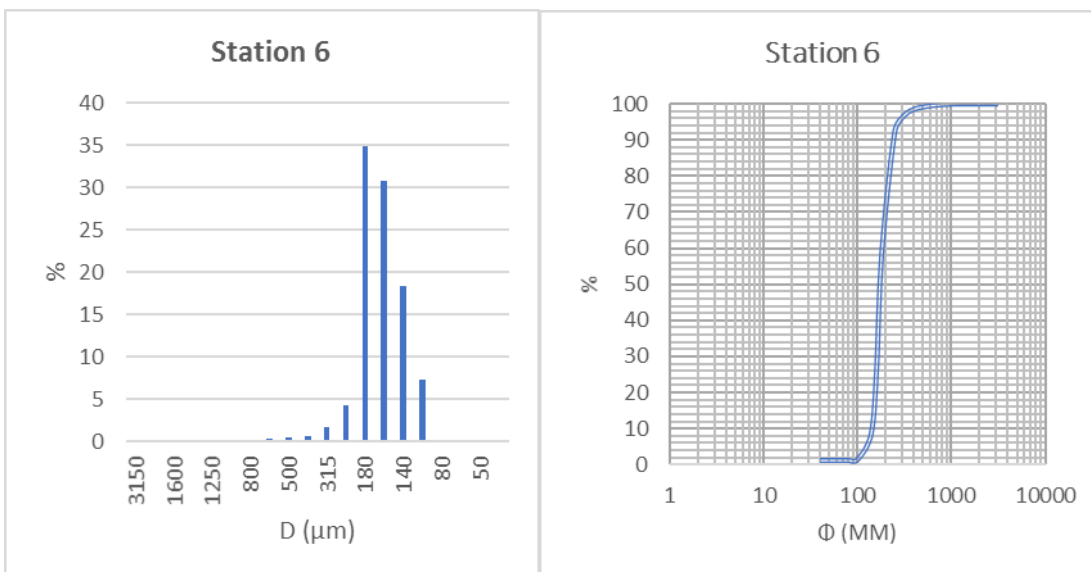
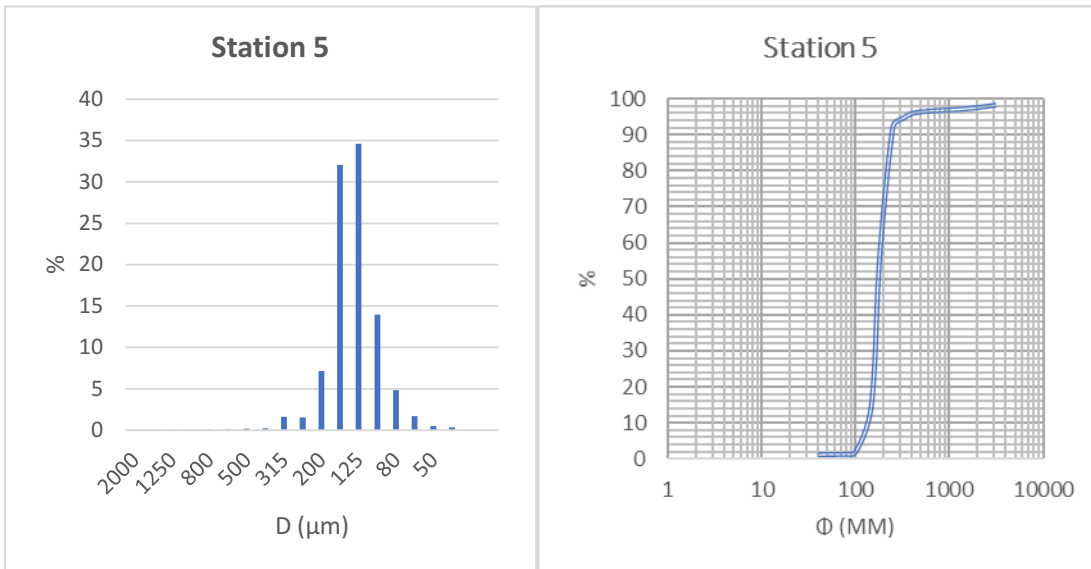
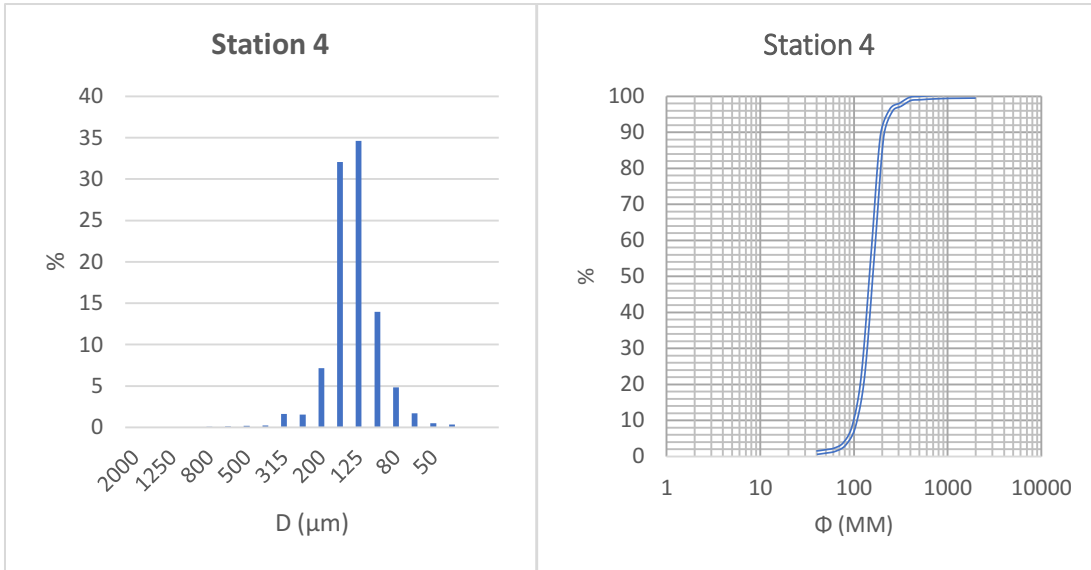
### Matériels nécessaires pour l'analyse granulométrique

Matériel	Utilité
 <p><i>Série des tamis AFNOR</i></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Une série de tamis, à des dimensions croissante 40 à 1000<math>\mu</math>m (Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue).</li></ul>
 <p><i>Tamiseuse</i></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Une tamiseuse (c'est une petite table vibrante qui vibre pour aider les grains de passer à travers les mailles).</li></ul>
 <p><i>Balance électronique</i></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Une balance électronique d'une précision de 1/100 g pour peser les échantillons et les retenues de chaque tamis.</li></ul>
 <p><i>L'étuve</i></p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pour sécher les échantillons (à 105°C pendant 24h).</li></ul>

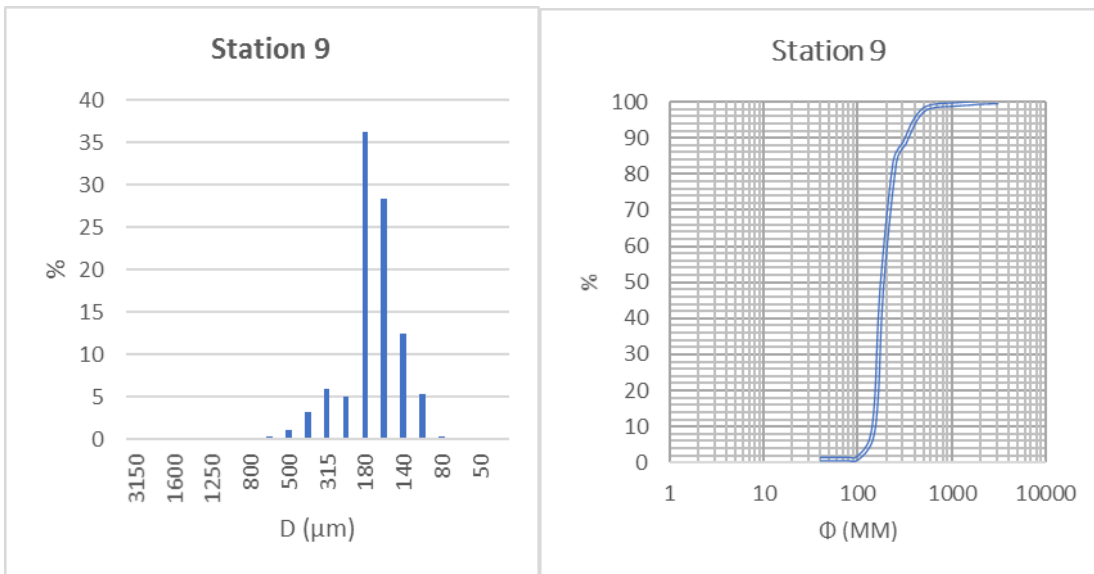
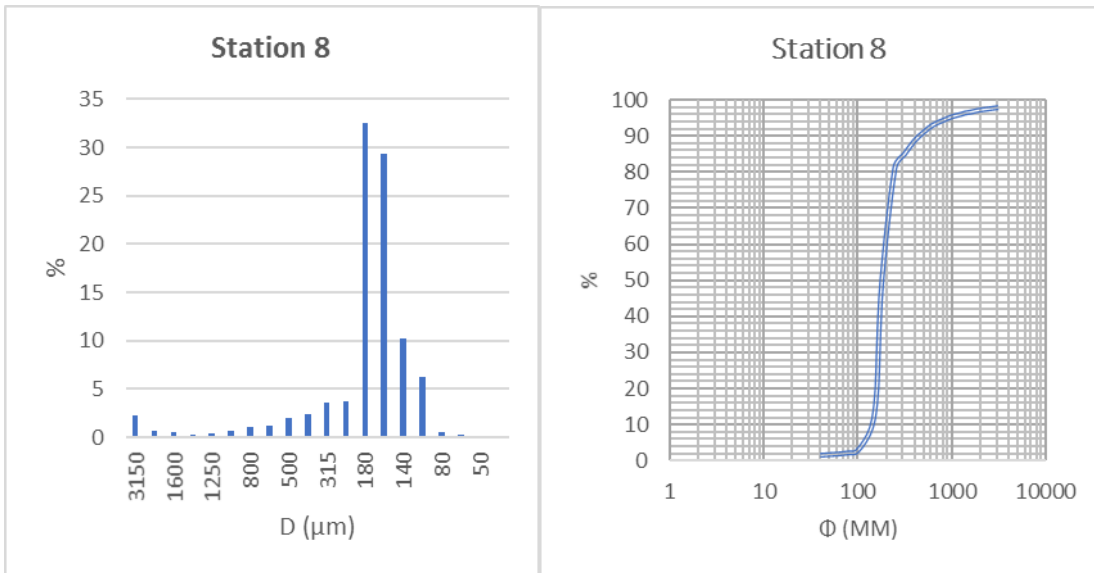
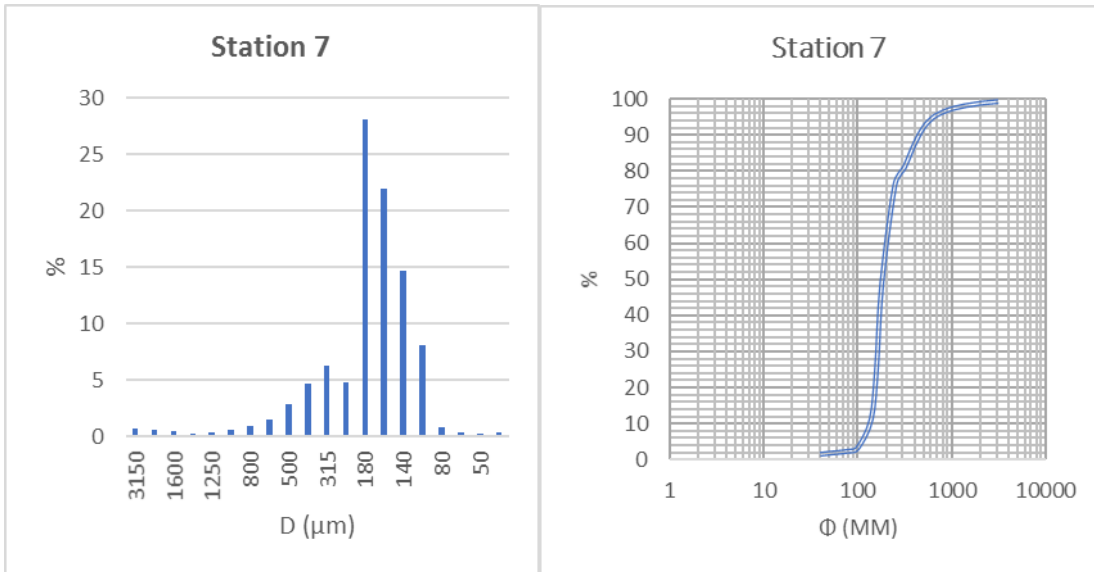
ANNEXE IV



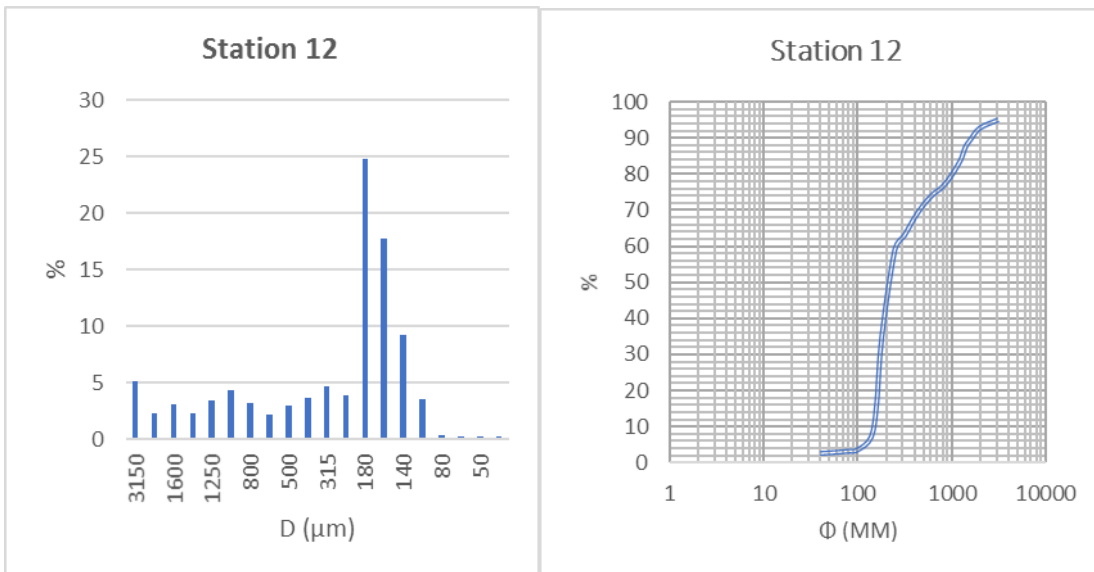
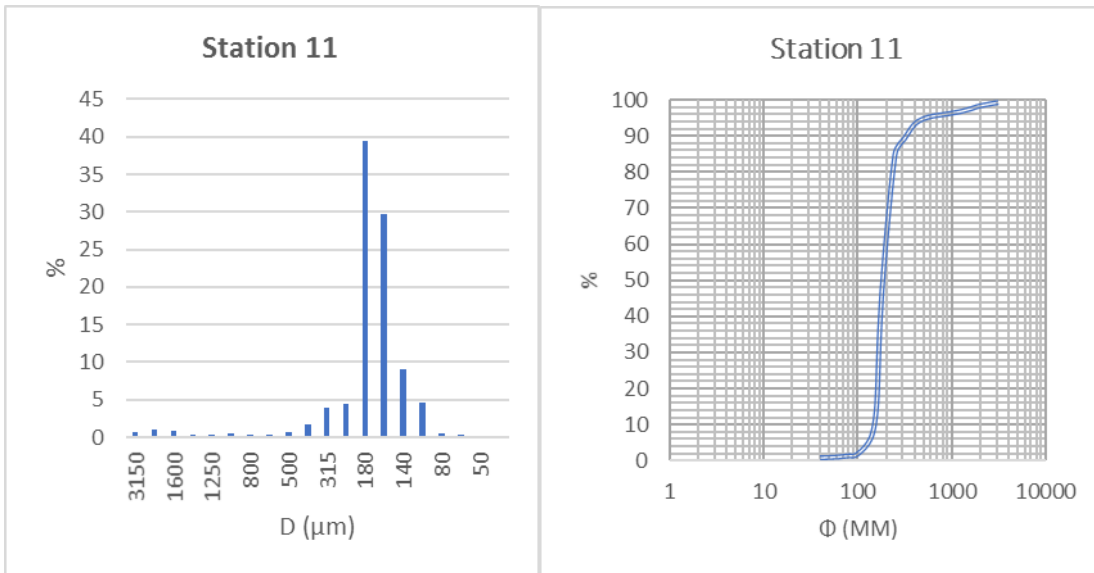
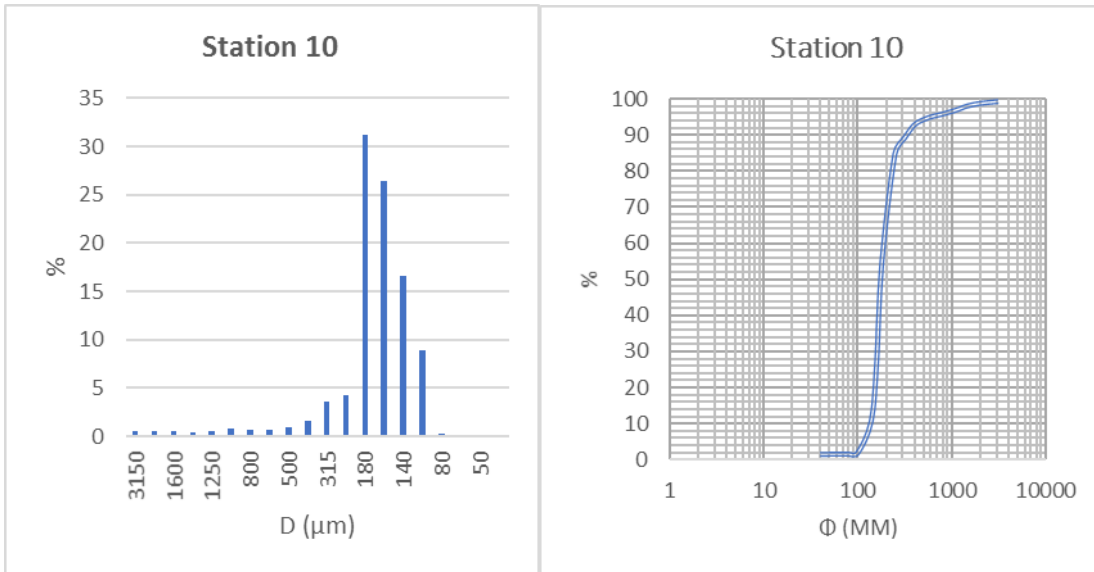
ANNEXE IV



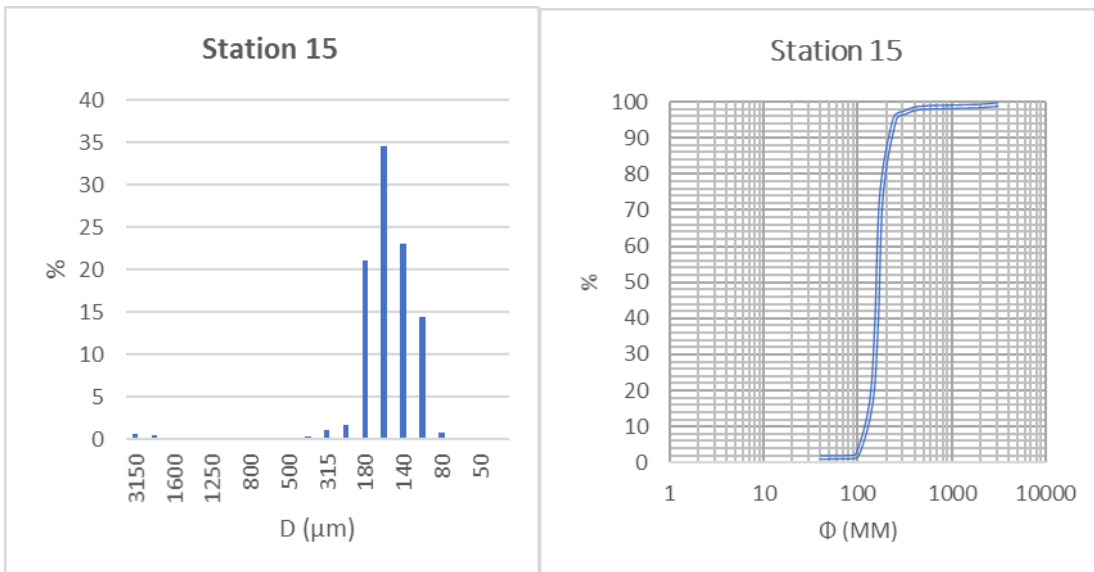
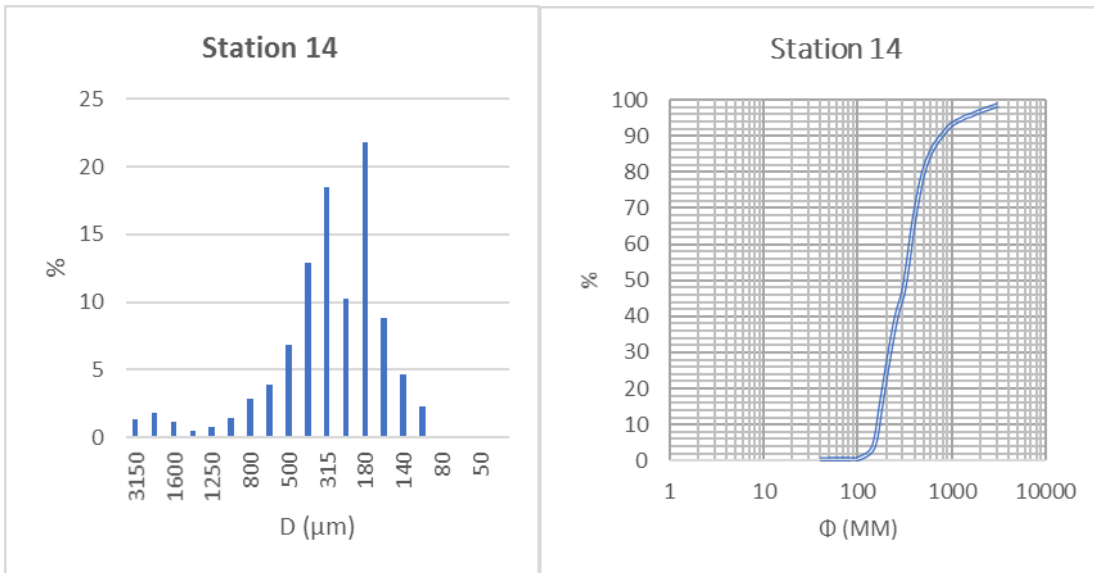
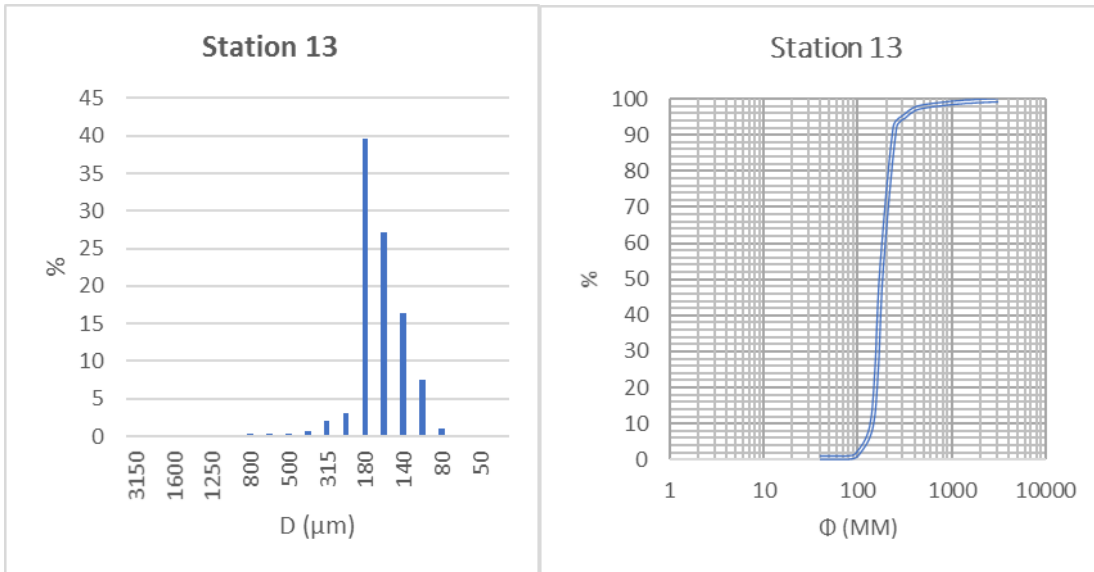
ANNEXE IV



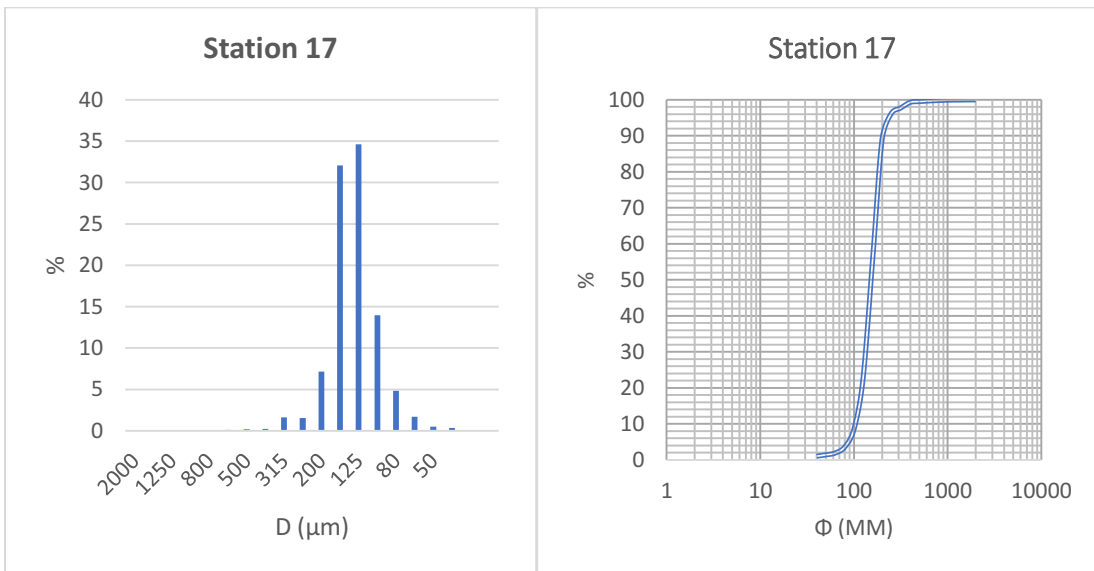
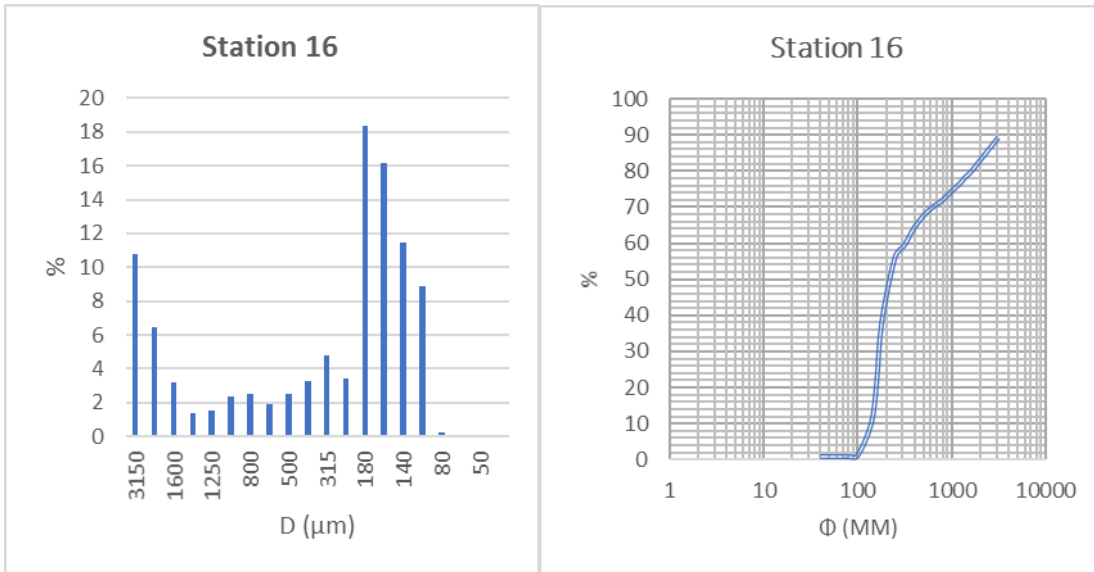
ANNEXE IV



ANNEXE IV

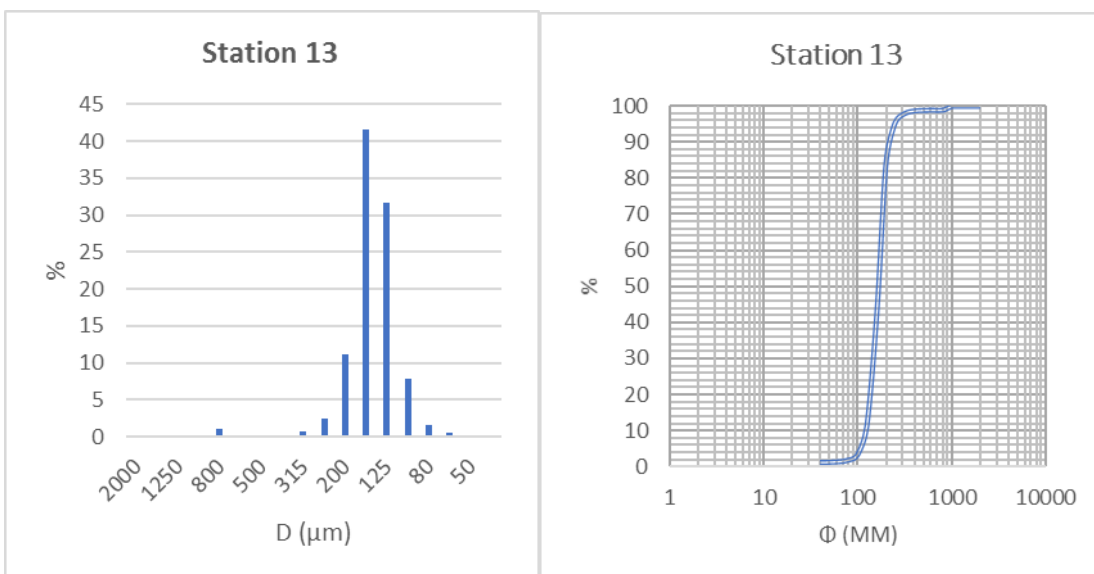
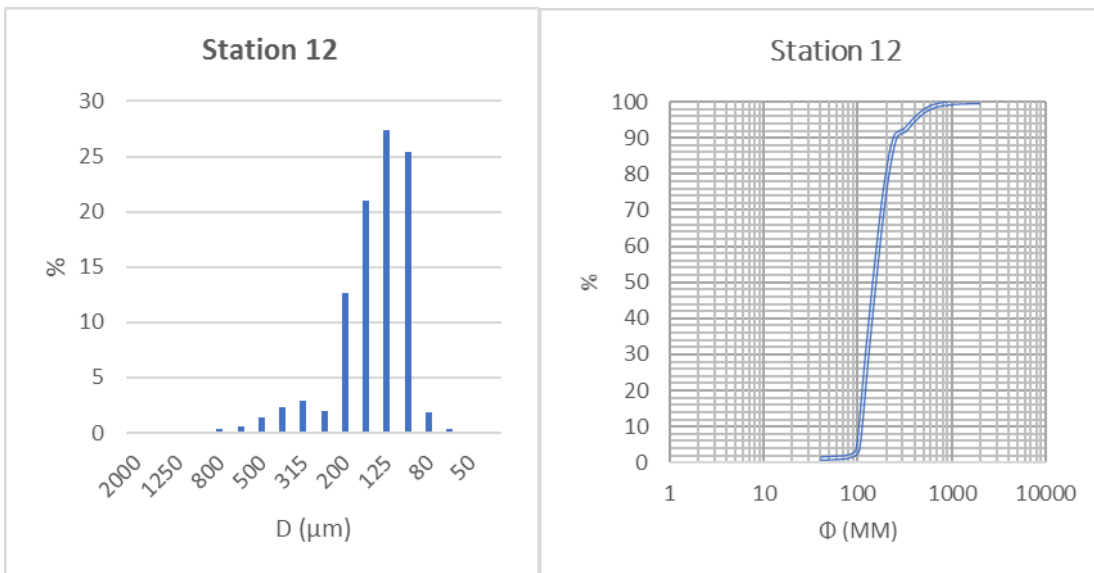
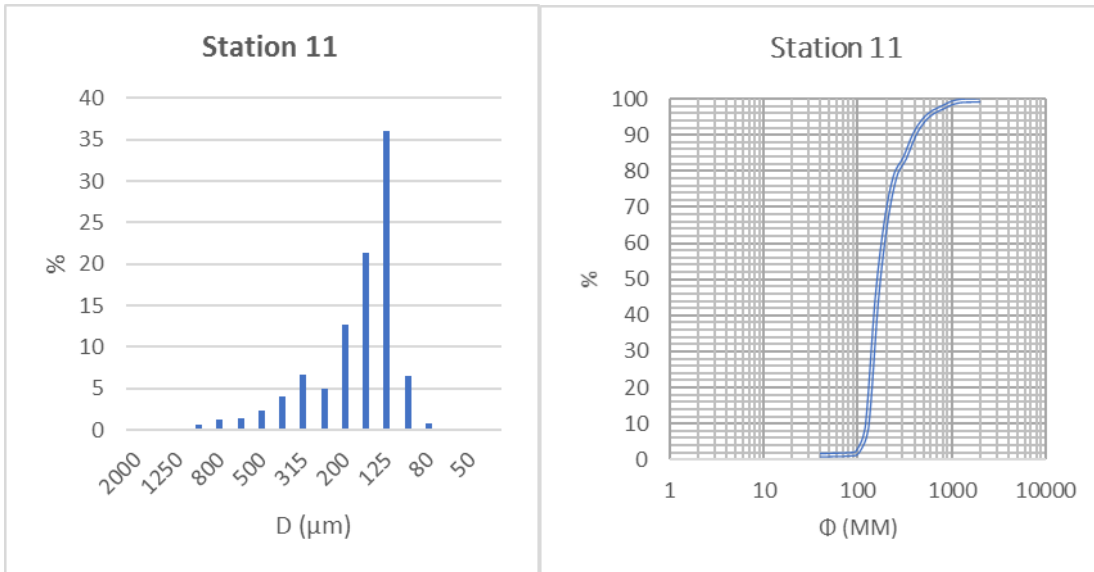


ANNEXE IV

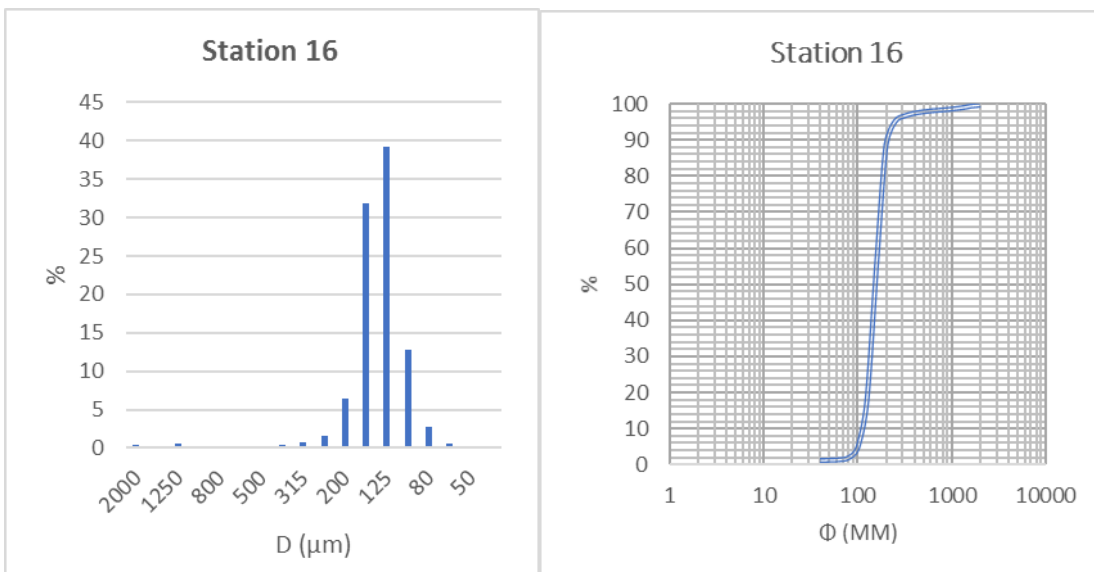
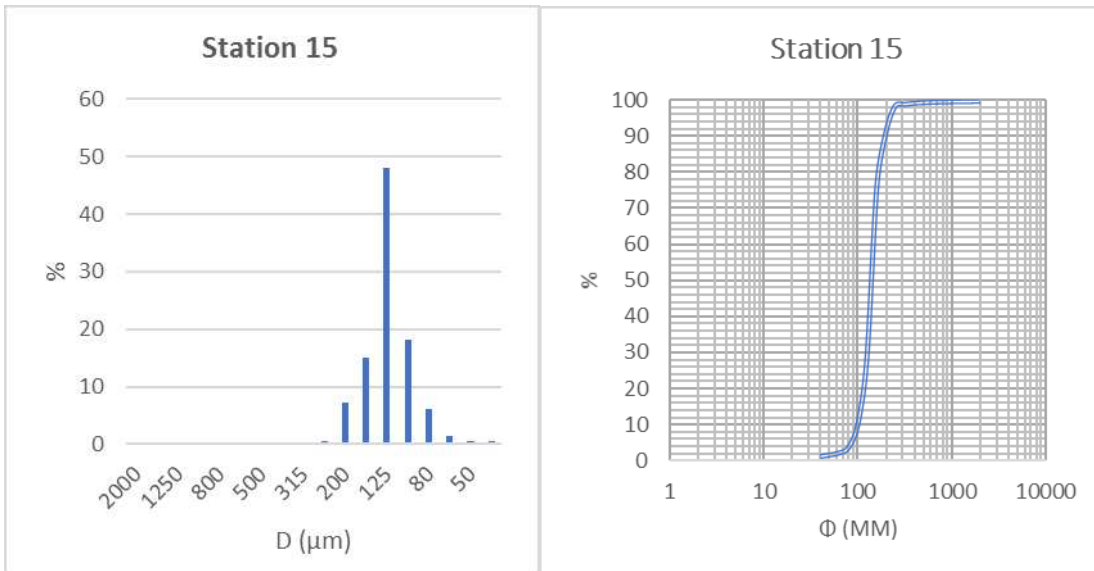
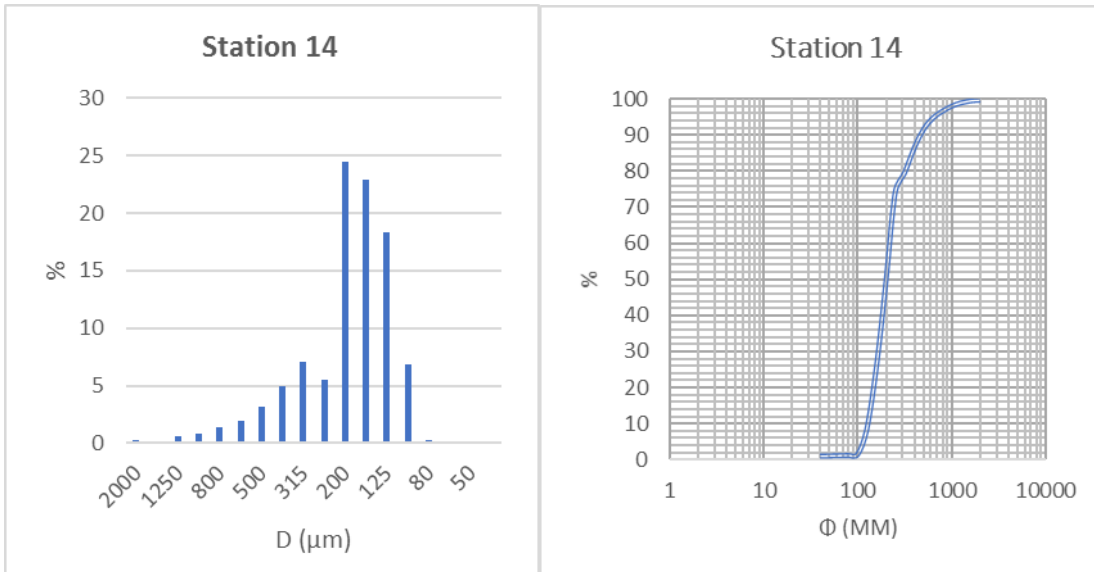


Histogrammes et courbes granulométrique de l'étude sédimentologique

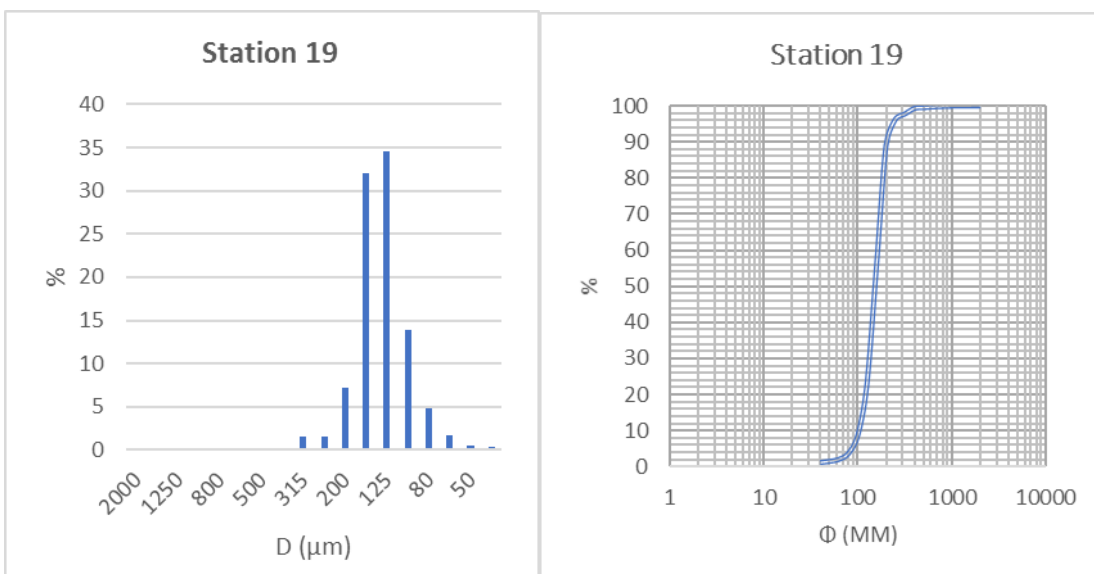
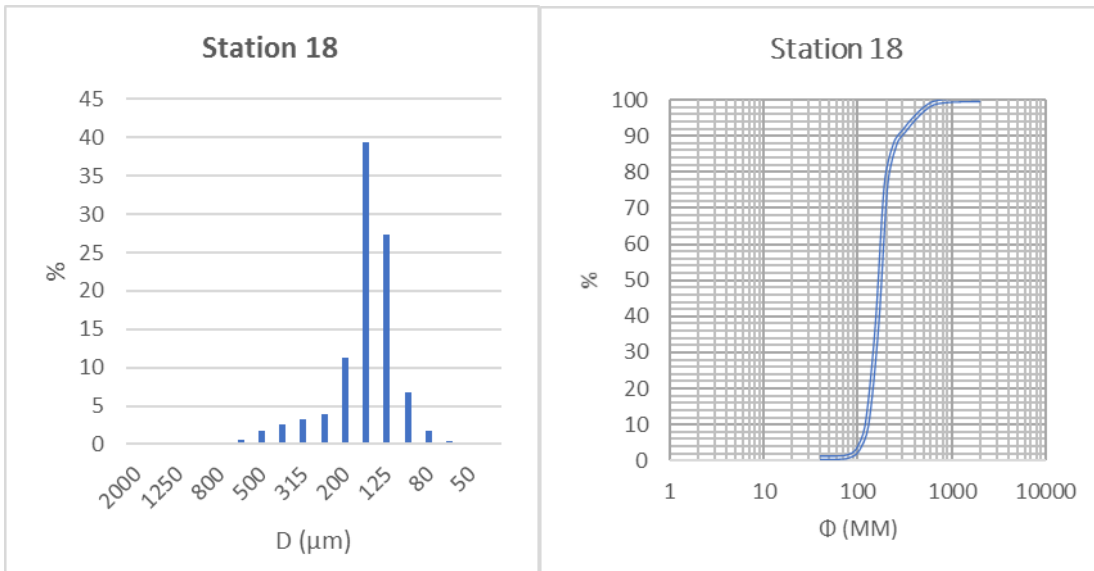
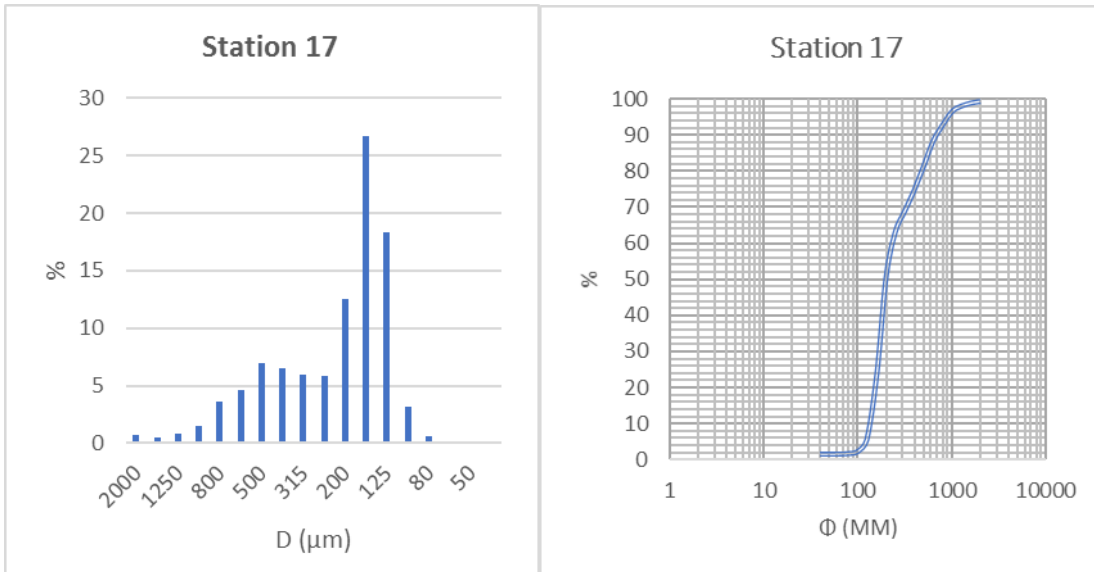
ANNEXE IV



ANNEXE IV

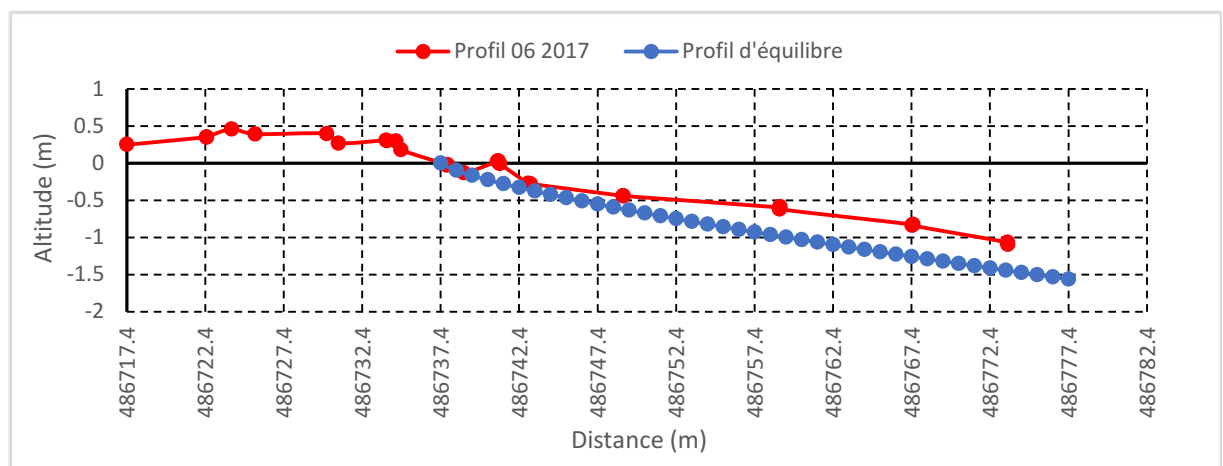
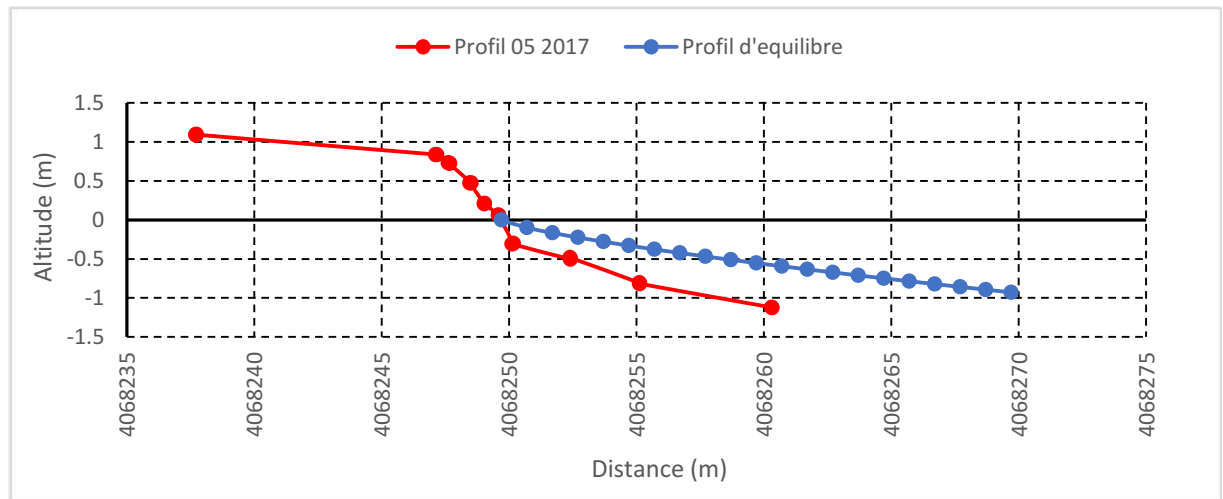
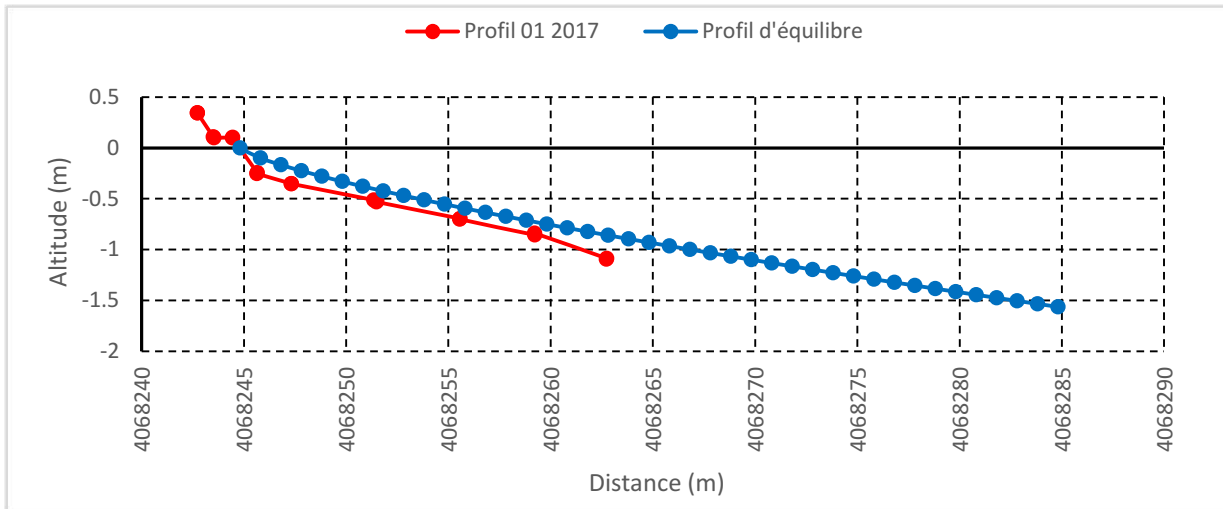


ANNEXE IV



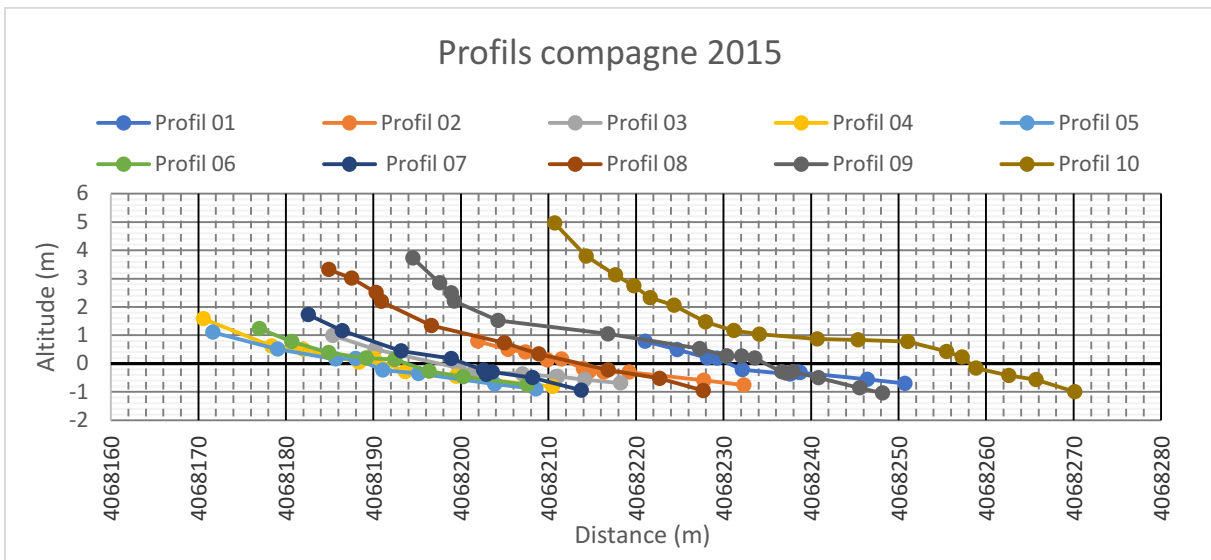
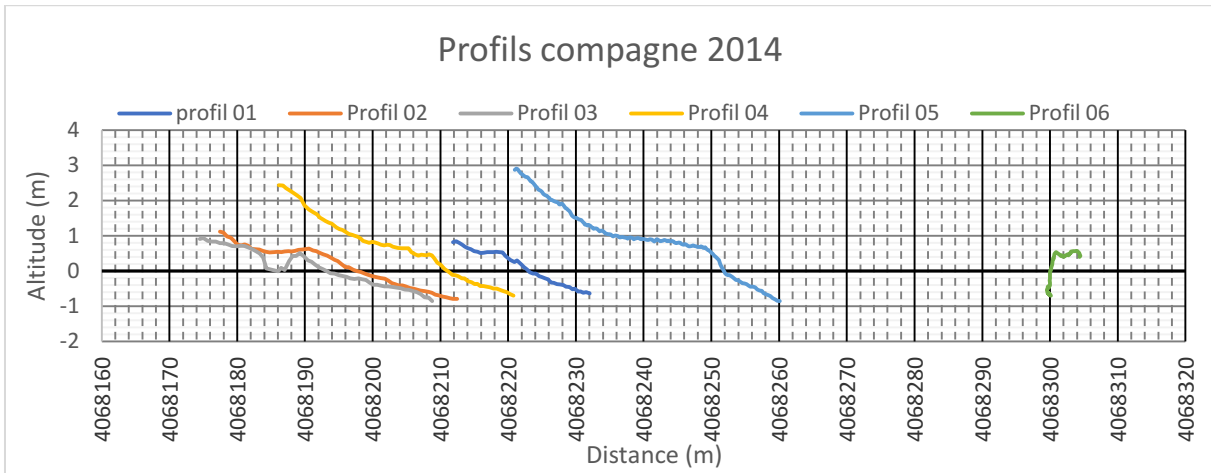
ANNEXE IV

Superposition de profil d'équilibre et les profil topo-bathymétrique (1, 5 et 6) de la compagne 25/05/2017



ANNEXE IV

Projection graphique des Profils topo-bathymétriques des campagnes 2014, 2015



## L'outil « Surface difference » de Arc Toolbox de l'environnement ArcGIS

