

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
École 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 D'ÉTAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

**Variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux ;  
Plage des Hammadites Béjaïa**

Présenté par :

- IFFOUR Yasmine
- MADANI Aldja

Soutenu le 22/05 /16 devant le jury suivant :

M <sup>me</sup> . HAMDI S.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Présidente
M. BELKESSA R.	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
M. AOUDJ C.	Cadre	(M.A.T.T.A)	Co-promoteur
M <sup>me</sup> . AL SID CHIKH S.	Maître assistante B	(ENSSMAL)	Examinatrice
M <sup>me</sup> . MEHDID S.	Maître assistante A	(ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2016



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
École 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 D'ÉTAT EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

**Variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux ;  
Plage des Hammadites Béjaïa**

Présenté par :

- IFFOUR Yasmine
- MADANI Aldja

Soutenu le 22/05 /16 devant le jury suivant :

M <sup>me</sup> . HAMDI S.	Maître de conférences A	(ENSSMAL)	Présidente
M. BELKESSA R.	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
M. AOUDJ C.	Cadre	(M.A.T.T.A)	Co-promoteur
M <sup>me</sup> . AL SID CHIKH S.	Maître assistante B	(ENSSMAL)	Examinatrice
M <sup>me</sup> . MEHDID S.	Maître assistante A	(ENSSMAL)	Examinatrice

Promotion : 2016

## **Variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux ; Plage des Hammadites Béjaïa**

### **Résumé :**

La plage des Hammadites est une plage sableuse appartenant au littoral Est de Béjaïa qui est connue par une concentration démographique importante, plus exactement à Tichy, un lieu qui attire les estivants par sa localisation entre montagne et mer, et grâce aussi à la présence des complexes hôteliers.

Cette portion côtière, a connu et connaît actuellement une dégradation et ce, suite au phénomène d'érosion, se traduisant par le recul du trait de côte.

Dans le but de connaître et comprendre le comportement de la plage des Hammadites, vis-à-vis ce désastreux phénomène, une étude d'évolution historique du trait de côte était menée avec l'utilisation des SIG comme moyen de suivi, accompagnée d'étude granulométrique, bathymétrique, hydrodynamique et sédimentaire de la partie marine de la zone d'étude, afin de confirmer les résultats obtenus précédemment.

Pour pouvoir faire face au recul du trait de côte remarqué, des méthodes de protection sont proposées et une démarche de gestion intégrée des zones côtière est conseillée dans notre travail.

### **Mots- clés :**

ArcGis – Béjaïa - Bathymétrie - Calcimétrie - Dynamique sédimentaire - Érosion - Granulométrie - Littoral sableux - Sédimentologie - Système d'Information Géographique(SIG) - Trait de côte - SWAN - GSTA - Fudaa Refonde - Surfer.

### **Abstract:**

Hammadites's beach is a sandy beach belonging to the east's littoral of Béjaïa which is known by an important demographic concentration, more exactly is belonging to Tychy's littoral, a place attracting the summer tourists by its localization between mountain and sea, and grace also to the presence of hotel complexes.

This coastal portion knew and currently knows a degradation, and this following the phenomenon of erosion, resulting in the retreat of the feature of coast.

Within the framework to know and understand the behavior of the beach of Hammadites, opposite this disastrous phenomenon, a study of the historical evolution of the feature of coast was conducted with the use of the SIG like means of follow-up, accompanied by study granulometric, bathymetric, hydrodynamic and sedimentary of the marine part of the zone of study, for confirm the results obtained previously.

To be able to cope with the retreat of the feature of coast noticed, methods of protection are proposed and an approach of management integrated of the zones coastal is advised in our work.

### **Keyword :**

Arc GIS - Bejaia - Bathymetry - Calcimetry - coastline- Erosion - Fudaa Refonde - granulometry - Geographic Information System (GIS) - GSTA - Sandy coast - Sediment's dynamic - Sedimentology - Surfer - SWAN.

## الملخص:

شاطئ الحماد يون، شاطئ رملي من شواطئ ساحل بجاية شرق، المعروف بكثافته السكانية وينتمي بالضبط إلى ساحل تيشي، منطقة جلب المصطفيين، نضرا لموقعها بين جبل وبحر، وبفضل منتجعاتها السياحية.

المنطقة عرفت وتعرف حاليا تدهور والسبب ظاهرة التآكل المترجمة بتراجع خط الساحل.

في إطار معرفة وفهم تجاوب شاطئ الحماديون حيال هذه الظاهرة المدمرة، قمنا بدراسة التطور الزمني لخط الساحل مع استعمال نظام المعلومات الجغرافية كوسيلة لمتابعة التطور، مع دراسات قياس العمق، الهيدرودينامكية ودراسة تنقل الترسبات البحرية للمنطقة المدروسة، لتأكيد النتائج المتحصل عليها سابقا.

للقدرة على مواجهة تراجع خط الساحل الملحوظ، تم اقتراح طرق للحماية مع التوصية بمنهج التسيير المدمج للمناطق الساحلية.

## المصطلحات:

بجاية - الكلسمتريية -خريطة الأعماق - دينامكية الترسبات - التآكل - غرنيلومتري - ساحل رملي - ترسب - نظام المعلومات الجغرافية -خط الساحل - سوان - جي أس تي أ - فودا ريفاند - سورفر .

*Je* dédie ce modeste travail à mon cher père **N**, à ma chère mère **F**, à mon frère **Malik** et ma petite sœur **Lamia**.

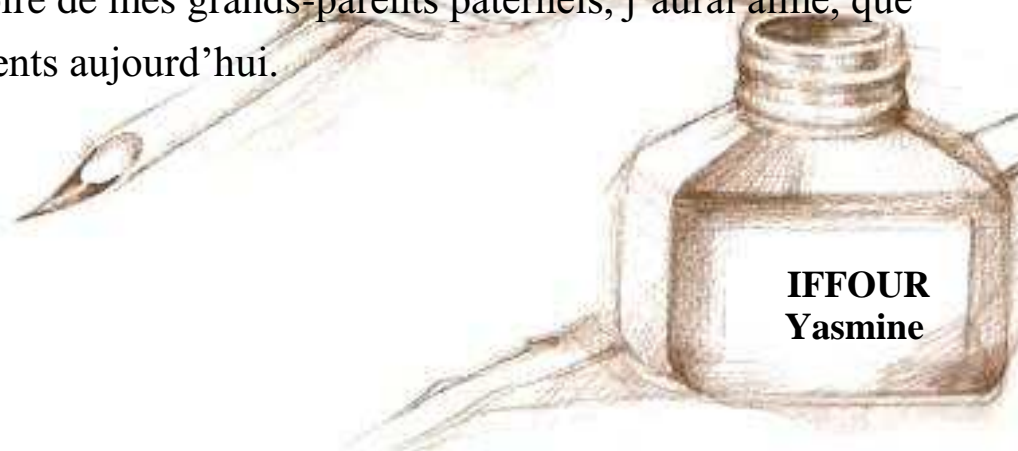
*Je* le dédie à mes grands-parents maternels et tout membre cher de la famille **IFFOUR** et **OUAGLAL**.

*Je* le dédie également à mon fiancé **Cherif**, mes beaux-parents et tous les membres de ma petite belle-famille, merci pour votre présence.

*Dédicaces* à toute personne chère à mon cœur à laquelle j'éprouve de profonds sentiments, de respect et amour.

*Je* dédie ce mémoire, aussi, à M. **HAMDI** que je respecte beaucoup et Mme. **HAMDI** qui m'a soutenue et beaucoup aidée depuis ma première année à l'ENSSMAL.

*A* la mémoire de mes grands-parents paternels, j'aurai aimé, que vous soyez présents aujourd'hui.



*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chères parents, à mes deux frères **Said** et **Lyes** à ma  
sœur **Imane** et à mes trois tantes qui m'ont soutenue durant  
tout mon cursus universitaire.*



**MADANI**  
**Aldja**

12 mois,

D'impatience et d'incertitudes, de contradictions, d'obstacles, de la complicité, de satisfactions, de dur travail, d'apprentissage et même de malentendus ont suivi la réalisation de ce modeste travail étape par étape.

Pendant cette période, nous avons pu nous instruire davantage dans le domaine de la recherche scientifique, mais aussi, nous avons été soutenues et aidées par des personnes que nous tenons à remercier énormément, pour leurs efforts.

L'origine de la réussite de ce document, est **ALLAH** que nous remercions infiniment de nous avoir procuré santé, volonté et patience. Ensuite, viennent nos parents et tous les membres de nos familles, qui nous ont soutenues durant cette période. Un grand merci à nos mères qui ont veillé à notre confort pendant que nous travaillions.

À cet effet, nous exprimons nos sincères remerciements à **Mme. HAMDI S.** d'avoir présidé le jury de notre soutenance, ainsi que **Mme. MEHDID S.**, et **Mme. AL SID CHIKH S.**, d'avoir accepté d'examiner ce travail et dont les critiques nous serviront sûrement.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre Promoteur **BELKESSA R.**, Professeur à l'ENSSMAL, de nous avoir, en premier lieu, transmis son savoir et ses cours de 4<sup>ème</sup> année qui ont été pour nous une référence pour notre travail, ensuite d'avoir accepté de nous encadrer et d'avoir suivi la progression de ce travail par ses suggestions et ses critiques constructives.

Nous sommes très reconnaissantes envers notre Co-promoteur **AOUDJ C.**, cadre au Ministère d'Aménagement du Territoire, Tourisme et Artisanat (MATTA) et chercheur à l'ENSSMAL d'avoir proposé ce thème ci intéressant, en plus de son orientation et de sa patience pendant ces 12 mois, pour la réalisation de ce travail. Nous tenons à le remercier aussi, de nous avoir assuré un stage au niveau du MATTA, où il nous a appris à manipuler des logiciels SIG sans oublier les efforts qu'il a fait pour nous accompagner et nous faciliter le travail lors de nos sorties sur terrain, et de nous avoir procuré une embarcation. Nous lui adressons aussi, nos remerciements d'être patient et généreux, durant la rédaction de ce mémoire, et les conseils qu'il nous a donnés pour arriver à finir ce document dans les normes et aussi, pour le temps qu'il nous a consacré et sa présence à tout moment.

Nous adressons nos sincères remerciements, également, à Monsieur **IFFOUR N.** d'avoir assuré les déplacements (Alger-Béjaia, Béjaia-Alger) avec son véhicule personnel durant ces cinq sorties d'étude dans une atmosphère très détendue et pour le temps qu'il nous a accordé ci patiemment.

Nous tenons à remercier **OUAGLAL F.** pour sa disponibilité et le personnel de l'EPB (Entreprise Portuaire de Béjaia). Nos remerciements, aussi aux responsables du LGA (Laboratoire de Géologie et d'Aménagement), à **MATOUK Y.** à **GUERAINI C.** et à Mme **DJEHA S.** cadre supérieure au MATTA.

Enfin, nos vifs remerciements, à toutes les personnes qui nous ont encouragées de près ou de loin, même par leurs critiques. Merci à vous qui êtes en train de nous lire.

**Table des matières**

Table des matières .....	i
Liste des acronymes .....	ii
Liste des figures .....	iii
Liste des tableaux .....	iii
Introduction générale : .....	19

**Chapitre I :PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

Introduction : .....	21
1. Situation géographique : .....	21
2. Aspect topographique : .....	22
3. Aspect géologique : .....	22
4. Le contexte géomorphologique : .....	23
4.1. Les plages .....	23
5. Les contextes hydrologique et hydrogéologique : .....	30
6. Environnement bioclimatique : .....	24
6.1. Les facteurs climatiques : .....	24
6.1.1. Les précipitations : .....	24
6.1.2. Les températures : .....	26
6.1.2.1. Les températures moyennes mensuelles: .....	26
6.1.3. Le vent : .....	26
6.2. Les facteurs hydrodynamiques : .....	28
6.2.1. La houle : .....	28
6.2.1.1. La houle au large : .....	28
6.2.1.2. La houle à la côte : .....	29
6.2.2. Les courants : .....	30
6.2.3. La marée : .....	31
7. Occupation des sols, activités et anthropisation de la côte : .....	31
7.1. Occupation du sol : .....	31
7.1.1. Occupation urbaine : .....	31
7.2. Les activités dans la zone : .....	32
7.2.2. L'activité commerciale et artisanale : .....	32
7.2.3. L'activité industrielle et touristique : .....	32
7.3. Anthropisation de la côte : .....	32
Conclusion du chapitre : .....	32

## **Chapitre II : SUIVI ET ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES DE LA PARTIE AÉRIENNE DE LA PLAGE DES HAMMADITES**

Introduction :	34
1. Sorties sur terrain :	34
1.1. Prélèvement des sédiments :	34
1.1.1. Répartition des échantillons :	34
1.1.2. Conditions climatiques des jours de sorties :	35
2. Etudes au laboratoire :	35
2.1. Analyse granulométrique :	35
2.1.1. Principe de la méthode :	35
2.2. Analyse calcimétrique :	35
2.2.1. Principe de la méthode :	35
3. Les paramètres et indices granulométriques :	37
3.1. Paramètres de position :	37
3.1.1. Le mode granulométrique ( $M_0$ ) :	37
3.1.2. Les quantiles :	37
3.2. Les indices granulométriques :	37
3.2.1. L'indice de dispersion ou de classement ( $S_0$ , sorting de trasck) :	37
3.2.2. Le coefficient d'asymétrie ( $Sk$ , Skewness de Trasck) :	38
4. Résultats et discussion :	38
4.1. Analyse de la fraction fine :	38
4.2. Analyse de la fraction grossière :	39
4.3. Analyse calcimétrique :	49
Conclusion du chapitre:	50

## **Chapitre III : VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE DU TRAIT DE CÔTE DE LA PLAGE DES HAMMADITES**

Introduction :	52
1. Le tracé du trait de côte actuel :	52
1.1. Présentation du théodolite :	52
1.1.2. Mode opératoire:	53
2. Évolution historique du trait de côte :	54
2.1. Évolution morphologique des systèmes côtiers :	54
2.2. Moyens et procédure :	55
2.2.1. Aperçu du logiciel ArcGis 10.2 :	55
2.2.2. Procédure et discussion :	55
2.3. Résultats et discussion :	57
Conclusion du chapitre :	59

## Chapitre IV : ÉTUDES OFFSHORE DE LA PLAGE DES HAMMADITES

Introduction :	61
1. Étude bathymétrique :	61
1.1. Levé bathymétrique :	61
1.2. La carte bathymétrique :	62
1.3. Réalisation des profils topographiques :	63
2. Étude sédimentologique :	64
2.1. Répartition spatiale des dépôts sédimentaires :	65
2.2. Résultats de l'analyse sédimentologique :	66
2.2.1. Les quantiles :	66
2.2.2. Les indices granulométriques :	68
3. Étude de la dynamique sédimentaire de la plage des Hammadites à l'aide du modèle Mc Laren / Gao et Collins :	70
3.1. Principe du modèle :	70
3.2. Procédure analytique :	70
3.2.1. Préparation des données d'entrée :	70
3.2.2. Application du GSTA :	70
3.2.3. Exploitation des données de sortie :	71
3.2. Le Résultat obtenu :	71
4. Étude de la réfraction de la houle à l'aide du model SWAN :	71
4.1. Application du modèle SWAN :	71
4.1.1. Description du modèle SWAN :	71
4.2. Les étapes à suivre :	72
4.3. Compilation des GRID et cartographie :	73
4.3.1. Houles de période de 6 secondes :	73
4.3.2. Houles de période de 8 secondes :	74
Conclusion du chapitre:	76

## Chapitre V : MÉTHODES DE PROTECTION POUR LA PLAE DES HAMMADITES

Introduction :	78
1. Nécessité d'une étude d'aménagement :	78
2. Les défenses envisageables au niveau de la plage des Hammadites :	78
2.1. La défense souple :	78
2.1.1. Les ouvrages perméables en rondins :	78
2.1.2. Le système Ecoplage ou le drainage des plages :	79

2.2. Défense lourde :	81
2.2.1. Simulation de l'implantation des ouvrages au large de la plage des Hammadites :	81
a. Présentation du logiciel Fudaa Refonde :	81
b. La procédure :	81
3. La gestion intégrée des zones côtière (la GIZC) :	86
3.2. Définitions :	86
3.3. Principe de la démarche :	86
3.4. La GIZC et la plage des Hammadites :	86
Conclusion du chapitre :	87
Conclusion générale :	89
Références bibliographiques :	91

<b>Fig. 01</b>	Situation géographique de la zone d'étude	21
<b>Fig. 02</b>	Communes limitrophes administratives de Tichy	22
<b>Fig. 03</b>	Carte géologique de la wilaya de Béjaïa	23
<b>Fig. 04</b>	Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Béjaïa, (KECIR, 2013 in Aoudj)	24
<b>Fig. 05</b>	Moyennes annuelles des précipitations au niveau des stations (Tifra, Béjaïa aéroport et Sidi-Aich) pour la période (1970-2007)	25
<b>Fig. 06</b>	Variation des températures maximales, moyennes, et minimales de la station de Bejaïa Aéroport période (1978-2007), source ONM	26
<b>Fig. 07</b>	Roses trimestrielles et annuelles des vents au large des côtes de Béjaïa (LEM, 1998)	27
<b>Fig. 08</b>	Roses trimestrielle et annuelle de la houle au large dans la région Est de l'Algérie.	29
<b>Fig. 09</b>	Diagramme de la répartition territoriale de la population de la wilaya de Béjaïa (2007)	32
<b>Fig. 10</b>	Répartition des échantillons	34
<b>Fig. 11</b>	Matériels de prélèvement	35
<b>Fig. 12</b>	Matériels du LGA	36
<b>Fig. 13</b>	Répartition des Pélites dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1)	38
<b>Fig. 14</b>	Répartition des Pélites dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 2)	39
<b>Fig. 15</b>	Répartition des Pélites dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3)	39
<b>Fig. 16</b>	Courbe unimodale (Echantillonnage 1, station 07)	40
<b>Fig. 17</b>	Histogramme unimodal (Echantillonnage 1, station 07)	40
<b>Fig. 18</b>	Courbe bimodale (Echantillonnage 2, station 13)	40
<b>Fig. 19</b>	Histogramme bimodal (Echantillonnage 2, station 13)	40
<b>Fig. 20</b>	Courbe plurimodale (Echantillonnage 3, station 11)	40
<b>Fig. 21</b>	Histogramme plurimodal (Echantillonnage 3, station 11)	40
<b>Fig. 22</b>	Répartition du Q 50 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1)	41
<b>Fig. 23</b>	Répartition du Q 50 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 2)	41
<b>Fig. 24</b>	Répartition du Q 50 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3)	42
<b>Fig. 25</b>	Répartition du Q 25 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1)	42
<b>Fig. 26</b>	Répartition du Q 25 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 2)	43
<b>Fig. 27</b>	Répartition du Q 25 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3)	43
<b>Fig. 28</b>	Répartition du Q 75 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1)	44
<b>Fig. 29</b>	Répartition du Q 75 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 2)	44
<b>Fig. 30</b>	Répartition du Q 75 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3)	44
<b>Fig. 31</b>	Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen (Echantillonnage 1)	45
<b>Fig. 32</b>	Relation entre le coefficient de classement et le diamètre moyen (Echantillonnage)	45
<b>Fig. 33</b>	Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen (Echantillonnage 2)	46
<b>Fig. 34</b>	Relation entre le coefficient de classement et le diamètre moyen (Echantillonnage 2)	46
<b>Fig. 35</b>	Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen (Echantillonnage 3)	47
<b>Fig. 36</b>	Relation entre le coefficient de classement et le diamètre moyen (Echantillonnage 3)	47

<b>Fig. 37</b>	Répartition du mode (315 $\mu$ m) (échantillonnage 1) sur la plage des Hammadites	48
<b>Fig. 38</b>	Répartition du mode (315 $\mu$ m) sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 2)	48
<b>Fig. 39</b>	Répartition du mode (315 $\mu$ m) sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 3)	49
<b>Fig. 40</b>	Distribution spatiale des taux de CaCO <sub>3</sub> dans les sédiments sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 1)	49
<b>Fig. 41</b>	Distribution spatiale des taux de CaCO <sub>3</sub> dans les sédiments sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 2)	50
<b>Fig. 42</b>	Distribution spatiale des taux de CaCO <sub>3</sub> dans les sédiments sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 3)	50
<b>Fig. 43</b>	Images du théodolite et ses accessoires	52
<b>Fig. 44</b>	Schéma explicatif de la méthode de travail par le théodolite sur la plage des Hammadites	53
<b>Fig. 45</b>	Dessin scanné du trait de côte de la plage des Hammadites obtenu par le théodolite	53
<b>Fig. 46</b>	Représentation des différentes échelles spatio-temporelles associées à l'analyse en géomorphologie Littorale	54
<b>Fig. 47</b>	Exemple de digitalisation du trait de côte de la plage des Hammadites	56
<b>Fig. 48</b>	Mesure de surface par la règle numérique sous ArcMap 10.2	56
<b>Fig. 49</b>	Histogramme des surfaces d'érosion annuelle (m <sup>2</sup> /an)	57
<b>Fig. 50</b>	Carte de l'évolution historique du trait de côte de la plage des Hammadites entre 1972 et 2016	58
<b>Fig. 51</b>	Radar et Echosondeur de type FURONO de la pilotine BUGIA	61
<b>Fig. 52</b>	Carte bathymétrique de la plage des Hammadites	62
<b>Fig. 53</b>	Carte bathymétrique de la plage des Hammadites en 3D	62
<b>Fig. 54</b>	Profil bathymétrique AA'	63
<b>Fig. 55</b>	Profil bathymétrique BB'	63
<b>Fig. 56</b>	Profil bathymétrique CC'	64
<b>Fig. 57</b>	La benne Van Veen	65
<b>Fig. 58</b>	Carte de la répartition des stations de prélèvements offshore	65
<b>Fig. 59</b>	Répartition du Q25 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites	66
<b>Fig. 60</b>	Répartition de la médiane Q50 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites	66
<b>Fig. 61</b>	Répartition du Q75 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites	66
<b>Fig. 62</b>	Répartition du D10 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites	67
<b>Fig. 63</b>	Répartition du D90 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites	67
<b>Fig. 64</b>	Relation entre l'indice de classement et le grain moyen de la partie sous-marine	68

<b>Fig. 65</b>	Relation entre le coefficient d'asymétrie et le grain moyen de la partie sous-marine	68
<b>Fig. 66</b>	La grille d'entrée dans le model GSTA	70
<b>Fig. 67</b>	Modélisation du transport sédimentaire dans la partie marine de la plage des Hammadites, avec le Model GSTA	71
<b>Fig. 68</b>	Les itérations effectuées par le modèle SWAN	72
<b>Fig. 69</b>	Houles significatives du Nord –Est (45°) avec une période de 6s	73
<b>Fig. 70</b>	Propagation des houles de direction Nord –Est (45°)	73
<b>Fig. 71</b>	Houles significatives du Nord –Ouest (315°) avec une période de 6s	73
<b>Fig. 72</b>	Propagation des houles de direction Nord –Ouest (315°)	73
<b>Fig. 73</b>	Houles significatives du Nord (360°) avec une période de 6s	74
<b>Fig. 74</b>	Houles significatives du Nord –Est (45°) avec une période de 8s	75
<b>Fig. 75</b>	Propagation des houles de direction Nord –Est (45°)	75
<b>Fig. 76</b>	Houles significatives du Nord –Ouest (315°) avec une période de 8s	75
<b>Fig. 77</b>	Houles significatives du Nord –Ouest (315°) avec une période de 8s	75
<b>Fig. 78</b>	Houles significative du Nord (360°), avec une période de 8s	76
<b>Fig. 79</b>	Epi perméable fait de rondins de pin, Cap-Ferret, Côte d'Aquitaine	78
<b>Fig. 80</b>	Principe de fonctionnement du système Ecoplage	79
<b>Fig. 81</b>	Schématisation de la mise en œuvre du système Ecoplage	80
<b>Fig. 82</b>	Le logiciel Fudaa Refonde	81
<b>Fig. 83</b>	Visualisation de la bathymétrie initiale	81
<b>Fig. 84</b>	Représentation de l'implantation d'ouvrage et modification de la bathymétrie à sa proximité	82
<b>Fig. 85</b>	Représentation de la Modification de la bathymétrie à proximité de l'ouvrage	82
<b>Fig. 86</b>	Représentation l'agitation avant et après l'implantation de l'ouvrage	83
<b>Fig. 87</b>	Représentation de l'agitation avant et après l'implantation de l'ouvrage	83
<b>Fig. 88</b>	Représentation de la Modification de la bathymétrie à proximité de l'ouvrage, houle de direction Nord	84
<b>Fig. 89</b>	Représentation de modification de la bathymétrie à proximité de l'ouvrage, houle de direction Nord-Est à 45°	84
<b>Fig. 90</b>	Représentation de la seconde configuration avec une houle de direction Nord	85
<b>Fig. 91</b>	Représentation de la seconde configuration avec une houle de direction Nord-Est	85
<b>Fig. 92</b>	Délimitation de la zone d'étude proposée pour une GIZC	87

<b>Tab. N°01 :</b>	Précipitations moyennes mensuelles pour la période (1977-2003).	25
<b>Tab. N°02 :</b>	Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions.	28
<b>Tab. N°03 :</b>	Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle.	30
<b>Tab. N°04 :</b>	Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes.	30
<b>Tab. N°05 :</b>	Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes.	35
<b>Tab. N°06 :</b>	Les trois composantes d'ArcGis.	35
<b>Tab. N°07 :</b>	Bilan des taux de surface d'érosion et d'accumulation du trait de côte de la plage des Hammadites entre 1972 et 2016.	57

<b>A.N.R.H :</b>	Agence Nationale des <b>R</b> essources <b>H</b> ydriques.
<b>A.S.R :</b>	Artificial Surf <b>R</b> eef.
<b>Dir :</b>	<b>D</b> irection :
<b>G.I.Z.C :</b>	<b>G</b> estion <b>I</b> ntégrée des <b>Z</b> ones <b>C</b> ôtières.
<b>E :</b>	<b>E</b> st.
<b>Fig :</b>	<b>F</b> igure.
<b>H.A.P.E :</b>	<b>H</b> iver <b>A</b> utomne <b>P</b> rintemps <b>É</b> té.
<b>H sig :</b>	<b>H</b> oule <b>S</b> ignificative.
<b>L.E.M :</b>	Laboratoire des <b>É</b> tudes <b>M</b> aritimes.
<b>L.G.A :</b>	Laboratoire de <b>G</b> éologie et d' <b>A</b> ménagement.
<b>m :</b>	<b>M</b> ètre.
<b>m<sup>2</sup>/an :</b>	<b>M</b> ètre carré par an.
<b>µm :</b>	<b>M</b> icro <b>M</b> ètre.
<b>M.A.T.E :</b>	<b>M</b> inistère de l' <b>A</b> ménagement du <b>T</b> erritoire et de l' <b>E</b> nvironnement.
<b>M.A.T.T.A :</b>	<b>M</b> inistère de l' <b>A</b> ménagement du <b>T</b> erritoire, du <b>T</b> ourisme et de l' <b>A</b> rtisanat.
<b>N :</b>	<b>N</b> ord.
<b>NW :</b>	<b>N</b> ord- <b>O</b> uest.
<b>O.N.M :</b>	<b>O</b> ffice National de <b>M</b> étéorologie.
<b>S.S.M.O :</b>	<b>S</b> ommary of <b>S</b> ynoptic <b>M</b> eteorological <b>O</b> bservation.
<b>SWAN:</b>	<b>S</b> imulating <b>W</b> Aves <b>N</b> earshore.
<b>Tab:</b>	<b>T</b> ableau.
<b>UTM:</b>	<b>U</b> niversal <b>T</b> ransverse <b>M</b> ercator.
<b>WGS:</b>	<b>W</b> orld <b>G</b> éoïde <b>S</b> ystem.

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## Introduction générale :

« Longtemps resté le territoire du vide, le littoral est devenu, depuis la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, un espace privilégié pour l'implantation urbaine, industrielle et pour le tourisme balnéaire qui n'a cessé de se développer ». (**Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer, 2010**).

« Les littoraux constituent des environnements fragiles dans lesquels se manifestent de multiples facteurs d'évolution aux actions, interactions et rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces milieux sans en abuser ». (**Paskoff, 1993**).

L'occupation abusive du littoral, de la côte et leur fragilité les mènent à se trouver face au phénomène d'érosion qui conduit au recul de la ligne de côte. En effet, « si les fluctuations de la ligne de côte ont toujours existé, ce n'est que depuis l'installation massive des hommes sur les littoraux qu'importent l'érosion marine » (**CLUS-AUBY, 2003**), d'ailleurs 70% des côtes de la planète sont soumises à ce phénomène qu'on observe partout dans le monde.

Le littoral de Béjaïa s'étale sur une centaine de Kilomètres, il compte de nombreuses plages qui font de la région une destination pour des milliers d'estivants des quatre coins du pays, voire de l'étranger.

Ce littoral n'a pas pu échapper à cette érosion, tout simplement à cause de son appartenance à V'gaith qui a été la capitale des Hammadites, actuellement la ville est construite sur des ruines de la cité antique accrochée à la falaise qui la domine, cette forme qui se brise brusquement dans la méditerranée offre l'opportunité de développer le tourisme qui accentue l'érosion et favorise le recul du trait de côte.

La plage des Hammadites est l'une des plages du littoral Béjaoui, elle est connue par ses complexes hôteliers, qui font augmenter le nombre des touristes, particulièrement dans la saison estivale, ce qui est un agent important dans l'érosion côtière, se traduisant par un recul important du trait de côte.

L'état d'érosion qui règne sur cette plage, fait appel à une étude d'évolution historique du trait de côte, où le comportement du rivage de la région durant une période de 44 ans fera l'objet principal de notre projet de fin d'étude d'ingénieur qui s'intitule « Variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux ; plage des Hammadites Béjaïa », en s'appuyant sur les SIG et l'utilisation d'imagerie satellitaire. La plage des Hammadites nécessite une protection contre sa régression, de ce fait nous allons proposer quelques méthodes de défense, et un moyen de gestion des zones côtières.

Pour bien mener notre travail nous l'avons divisé en cinq (05) chapitre :

- Présentation de la zone d'étude ;
- Suivi et analyses granulométriques de la partie aérienne de la plage des Hammadites ;
- Variabilité spatio-temporelle du trait de côte de la plage des Hammadites ;
- Études offshore de la plage des Hammadites ;
- Méthodes de protection pour la plage des Hammadites.

**Chapitre I :**  
**PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

## Introduction :

Ce chapitre va faire l'objet d'une description de notre zone d'étude, la frange côtière de Tichy, plus précisément la plage des Hammadites. En premier temps, nous allons présenter la situation géographique de cette zone avec ses délimitations, ensuite nous allons entamer les différents aspects qui concernent d'abord la topographie de la zone, la géologie, le contexte géomorphologique, contexte hydrologique et hydrogéologique, ensuite l'environnement bioclimatique en définissant l'ensemble des facteurs hydrodynamiques, les précipitations, les températures et le vent qui caractérisent la zone. Enfin, nous allons conclure par l'anthropisation de la côte.

## 1. Situation géographique :

La wilaya de Bejaïa « V'gayeth », est une région côtière du Nord-Est de l'Algérie. Elle est d'une frange littorale qui s'étend sur plus de 110km, soit 10% du littoral Algérien.

La baie de Béjaïa se localise à l'Est de la ville, elle est comprise entre deux massifs d'âge et de nature différents : Le cap Carbon à l'Ouest et le massif d'El Aouana à l'Est.

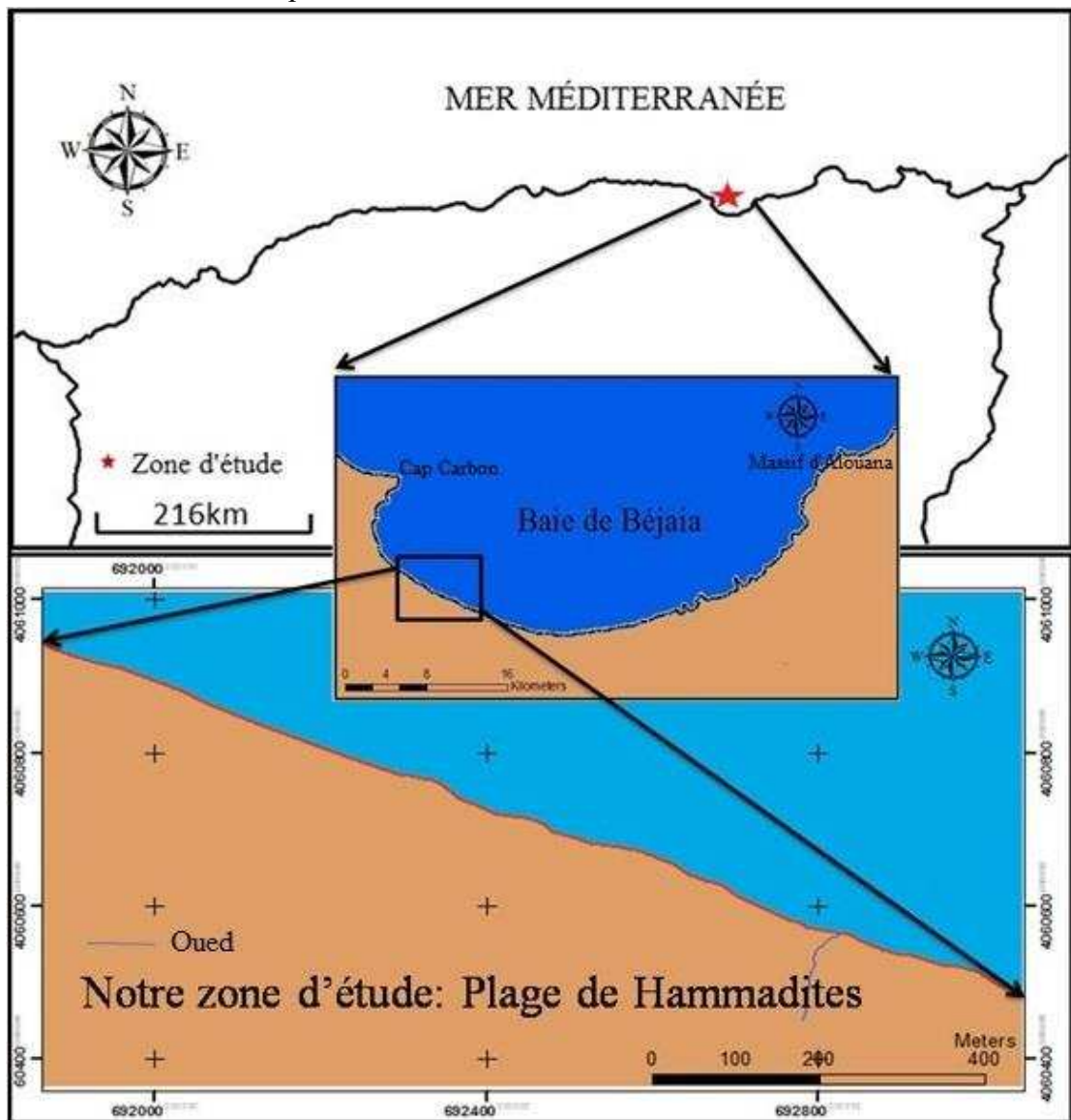
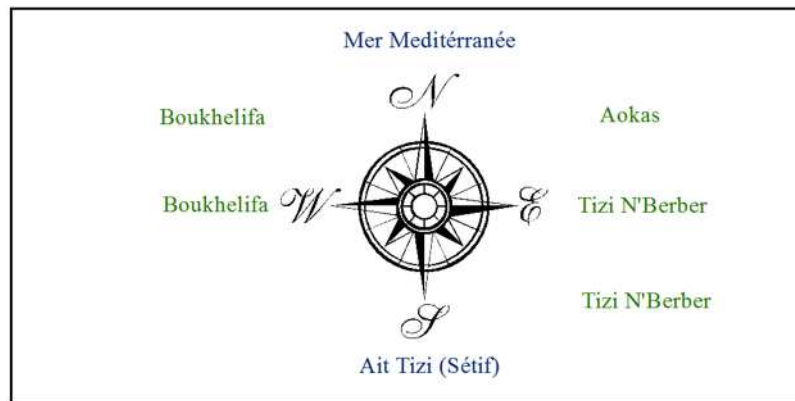


Fig.01 : Situation géographique de la zone d'étude.

La commune de Tichy est située sur la bande côtière de la wilaya de Bejaia à environ 18 Km à L'Est du chef-lieu de wilaya. La frange côtière de Tichy s'étend sur un linéaire estimé à environ sept (6.8km) kilomètres ayant pour coordonnées géographiques :

- Latitude **36°40' 3" Nord** et ;
- Longitude **5°9'36" Est**.

Géographiquement, Tichy se trouve entre la bordure Est du massif de l'Oued Amizour et les djebels Imoulentaour et Adrar Amelal à l'Est.



**Fig.02 :** Communes limitrophes administratives de Tichy.

La commune côtière de Tichy comprend cinq belles plages, notre choix est porté sur la plage des Hammadites qui présente une importante station balnéaire du littoral méditerranéen, connaissant une grande affluence touristique durant la saison estivale.

## 2. Aspect topographique :

Le relief de la commune de Tichy se compose de deux zones bien distinctes : la plaine côtière d'une longueur de 4 km s'étend du village des vacances Capritour à l'Ouest à l'embouchure de l'Oued Djamaa à l'Est.

La zone montagneuse occupe les trois quarts de la superficie de la commune, avec des pentes partout supérieures à 25 %.

Le plan topographique présente trois reliefs différents : La bande côtière, la zone de montagne et la vallée d'Oued Djamaa.

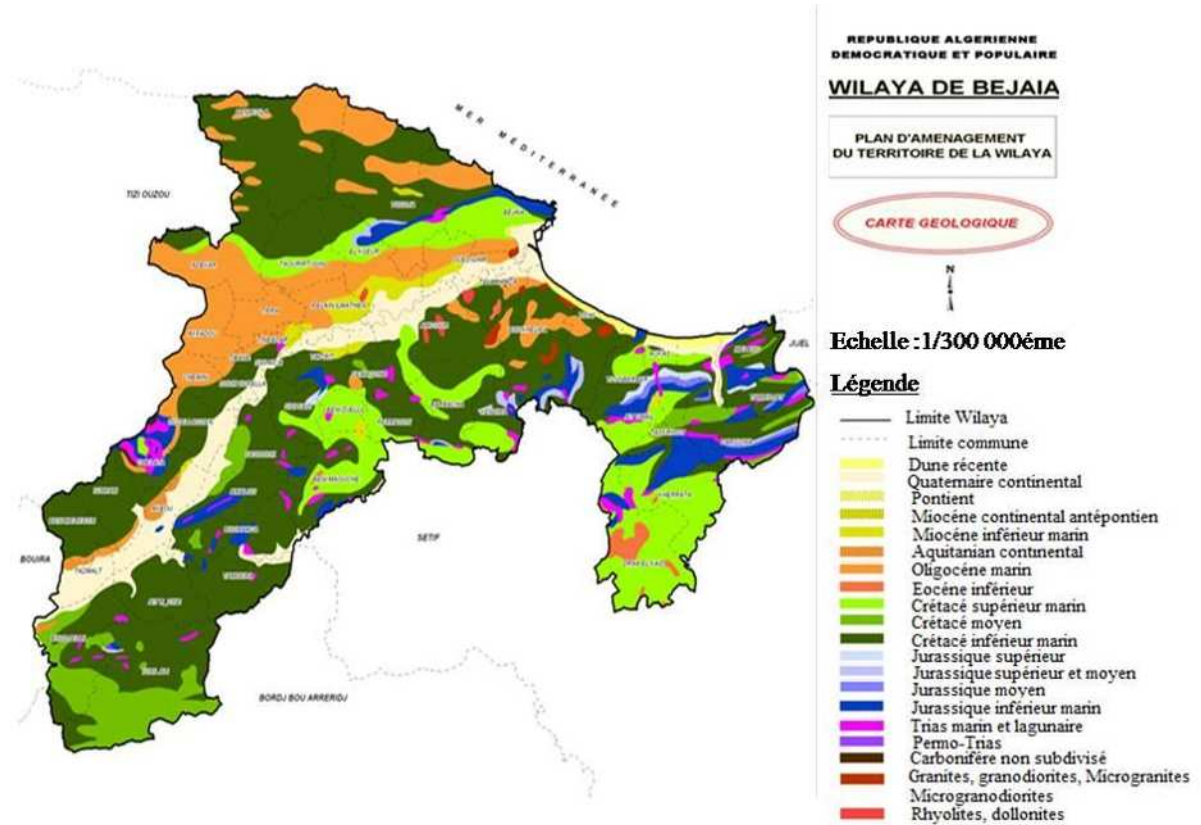
## 3. Aspect géologique :

La géologie de Tichy présente un contexte structurel complexe qui est dominée par des chainages de formations allochtones à faciès flysch, composées de grès et argiles à faciès Numidien et des argiles associées à des microconglomérats calcaires. Par ailleurs, on relève la présence de formations autochtones, composées de conglomérats hétérogéniques à faciès argilo-marneux.

En général, nous avons affaire à une lithologie à faciès différents, il s'agit :

- Des sommets culminants correspondant aux pointements de calcaires jurassique tels que ; Dj Adrar Boudiab et Dj Bou Amrane.
- Les formations de marno-calcaires et de flysch profondément entaillées par les cours d'eau ;

- Les faciès Flyscho-gréseux de l'Oligocène présentant un relief nettement moins accusé et très affecté par l'érosion ;
- La plaine est comblée par des alluvions anciennes et récentes comprenant des sables, graviers et galets avec un substratum constitué en général par les calcaires du crétacé.



**Fig.03 :** Carte géologique de la wilaya de Béjaïa (MATE, 2015).

D'après la carte, on soulève une dominance de dunes récentes sur la partie littorale et des formes du quaternaire continental et marin.

#### 4. Le contexte géomorphologique :

Les formes côtières s'expriment par l'existence de grandes et belles plages ouvertes, notamment autour de l'embouchure de l'Oued Soummam. Elles se traduisent aussi, par la présence de falaises plus ou moins élevées, soumises à l'érosion marine, participant ainsi à l'alimentation des plages limitrophes.

##### 4.1. Les plages :

La zone côtière de Tichy est constituée de cinq (5) belles plages de sable fin : Hammadites, Tichy stade, Tichy centre, Thassifith, Cité Bensaid et Taghzouth, ayant respectivement des longueurs de 1.0 km, 1.0 km, 1.5 km, 800 m et 1.0 km.

## 5. Les contextes hydrologique et hydrogéologique :

Le réseau hydrographique est essentiellement intermittent et il est constitué de deux types d'Oueds qui sont :

### 5.1. Les Oueds principaux :

(Oued Djemaa et Oued Zitouna) ils sont alimentés par de petits Oueds à écoulement intermittent, ils prennent leurs sources dans les parties hautes des montagnes et ils s'orientent vers la mer. Plusieurs petits Oueds et ravins y affluents.

### 5.2. Les cours d'eau secondaires :

Ils constituent la quasi-totalité du réseau hydrographique de Tichy, leur importance du point de vue nombre est à l'origine du façonnement du relief de la commune.



Fig.04 : Réseau hydrographique de la wilaya de Béjaïa (KECIR in Aoudj, 2014)

## 6. Environnement bioclimatique :

Appartenant géographiquement à la zone littorale de la wilaya de Béjaïa, la zone de Tichy, est caractérisée par un climat humide de type méditerranéen, c'est-à-dire contrasté par une période tempérée pluvieuse en hiver et une période chaude sèche en été.

### 6.1. Les facteurs climatiques :

Une analyse a été faite sur la base des mesures des précipitations et des fréquences des vents enregistrés au niveau de la station de Béjaïa Aéroport (36°43'N 05°04'E « O.N.M »).

#### 6.1.1. Les précipitations :

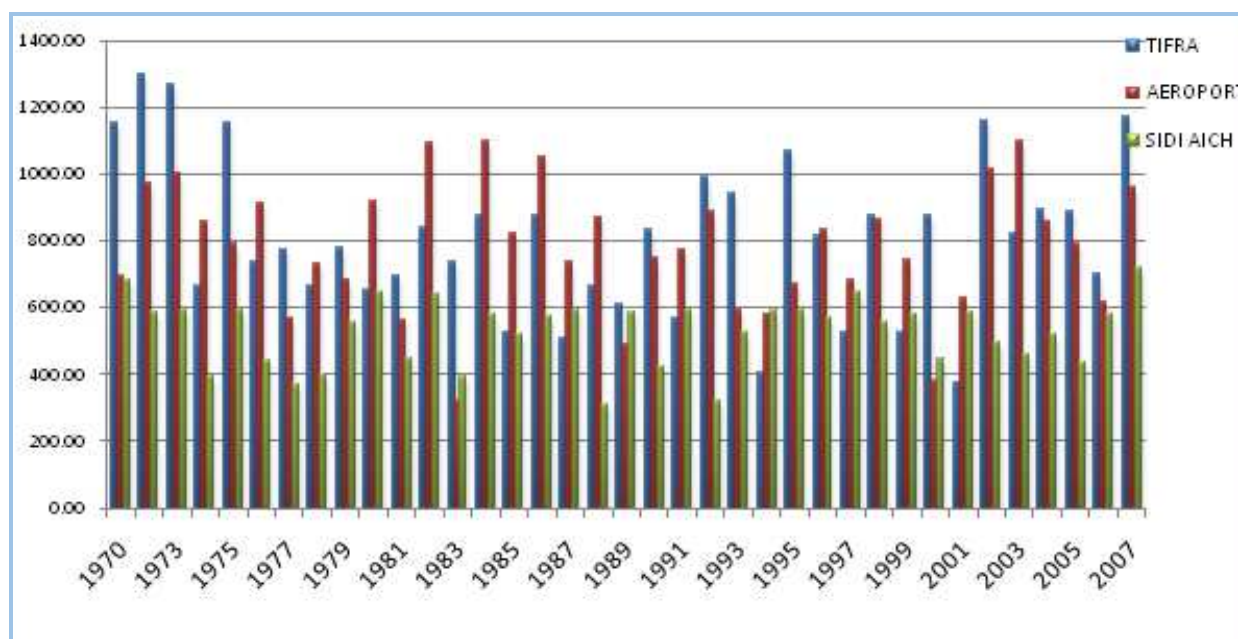
La répartition mensuelle des précipitations est irrégulière en terme de quantité et intensité, elle est signalée par l'existence de deux périodes ; une période plus arrosée qui s'étale de Septembre à Mai avec un maximum en mois de décembre avec (145 mm), et l'autre période qui s'étend de Juin à Août, marquée par un déficit pluviométrique observé au mois d'Août avec (7.9 mm).

La station côtière localisée au niveau de l'aéroport de Béjaïa enregistre 755.6 mm de pluie en moyenne annuelle, calculée sur la base de la période allant de 1977 à 2003.

**Tab. N°1 :** Précipitations moyennes mensuelles pour la période (ANRH 1977-2003)

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc	Régime saisonnier				Type	Précipitations Annuelles (mm)
													H	P	E	A		
Béjaïa	120,6	83,3	54,8	73,1	42,8	11,2	10,2	7,9	54,8	69,2	81,9	145,8	349,7	170,7	29,3	205,9	HAPE	755.6

D'après les résultats (Tab N°1), il y a une variation de répartition saisonnière des pluies ,à cette effet le régime saisonnier est de type HAPE ,un premier maximum de pluies en hiver, un premier minimum en été ,un second maximum en automne et un second minimum au printemps.



**Fig.05 :** Moyennes annuelles des précipitations au niveau des stations (Tifra, Béjaïa aéroport et Sidi–Aich) pour la période (ANRH, 1970-2007).

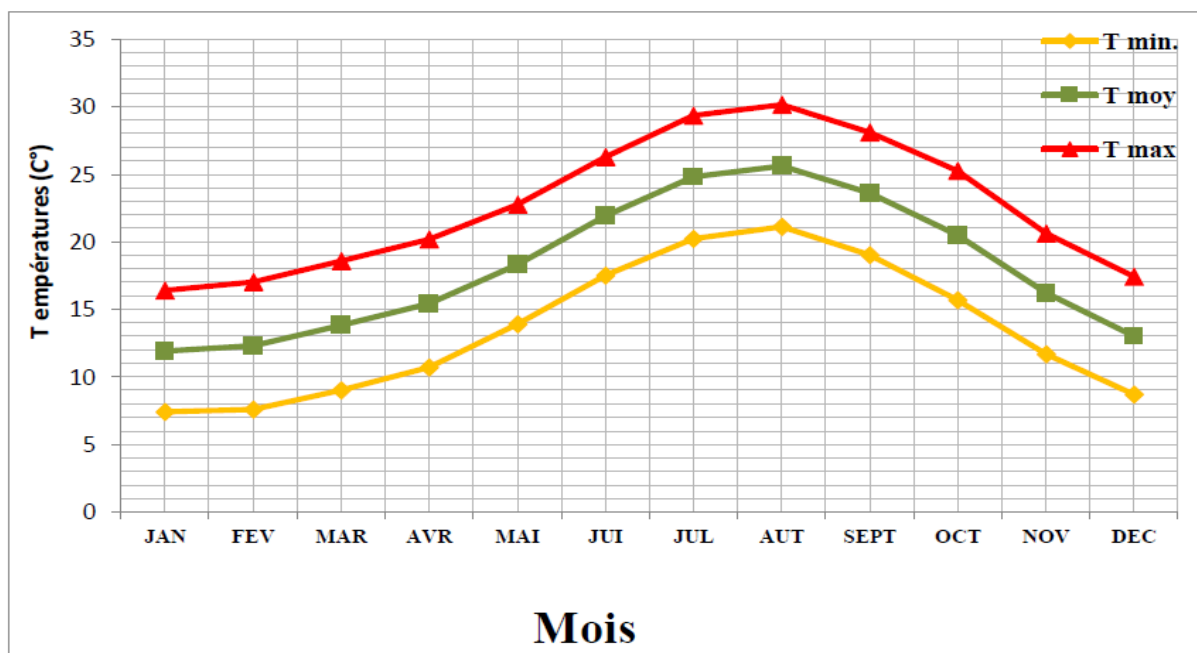
L'analyse de l'histogramme des moyennes annuelles des précipitations (**Fig.05**) montre que le régime pluviométrique se différencie d'une année à l'autre et d'une station à l'autre. Les valeurs élevées des précipitations sont enregistrées au niveau de la station de Tifra (1300mm) alors que les faibles valeurs sont enregistrées au niveau de la station de Sidi Aich, cela est due généralement à la situation géographique de la station et sa proximité de la mer.

## 6.1.2. Les températures :

### 6.1.2.1. Les températures moyennes mensuelles :

L'analyse des températures moyennes mensuelles du littoral (**Fig.06**) présente une période estivale caractérisée par des températures relativement élevées avec 22°C en Juin, 25°C pour Juillet et 26°C au mois d'Août. Quant au mois le plus froid est celui de janvier avec 11.9°C.

La valeur maximale de la température est enregistrée durant le mois d'Août avec une valeur qui dépasse 30°C, tandis que la température minimale est enregistrée durant le mois de Janvier et qui ne dépasse pas 7°C (**Fig.06**), sachant que l'adoucissement des températures est sans doute lié à l'influence maritime.



**Fig.06** : Variation des températures maximales, moyennes, et minimales de la station de Bejaïa Aéroport période (1978-2007), (ONM).

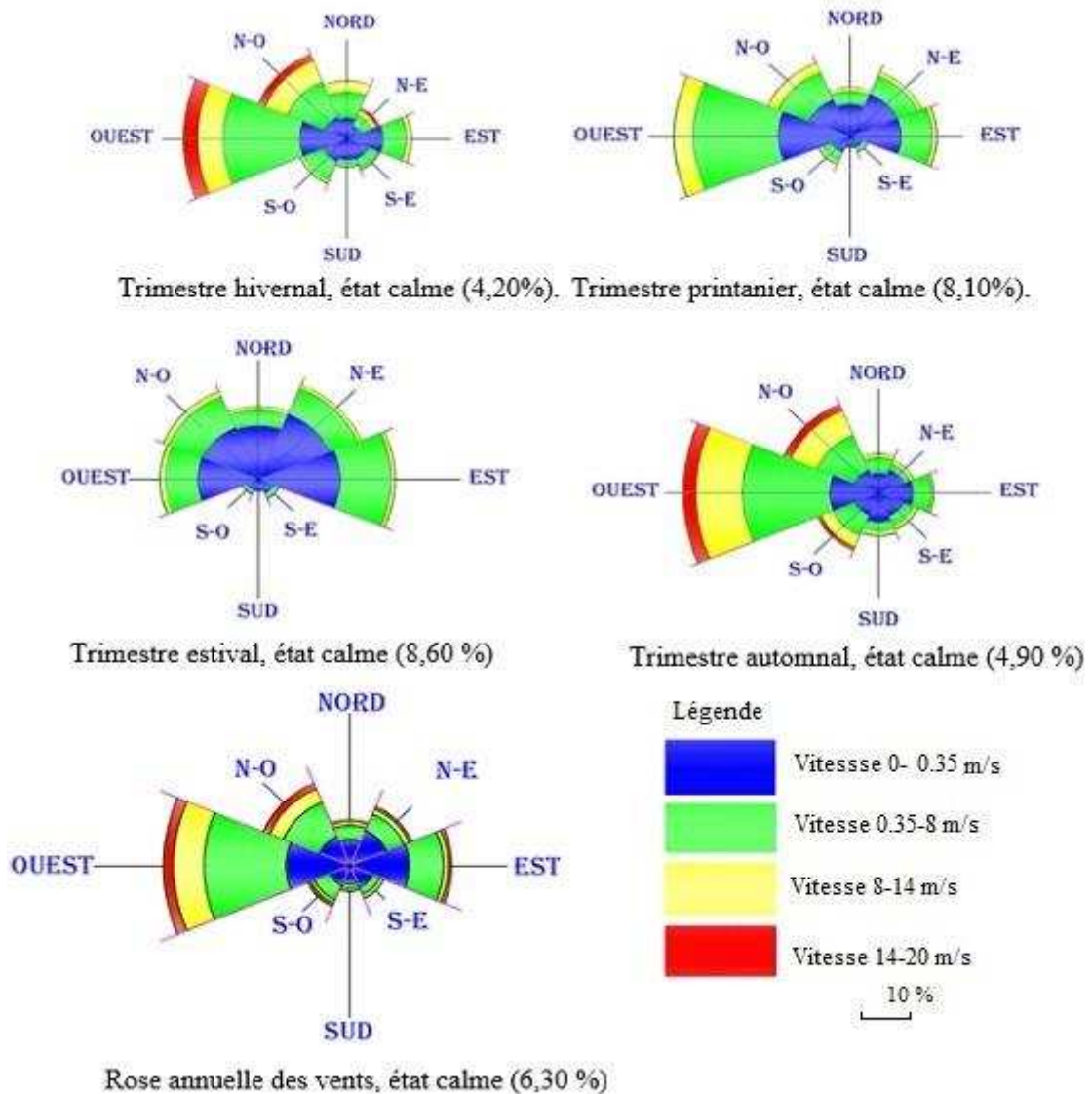
## 6.1.3. Le vent :

Le vent est un élément fondamental dans toute étude relative à la zone côtière car il provoque l'agitation de la mer qui est à l'origine de nombreux phénomènes tels que les houles et courants de surface, ainsi le déplacement d'importante quantité de sable le long de la côte.

Dans la région de Béjaïa les régimes des vents sont influencés par le relief environnant, citons Djbel Gouraya, les Babors et la vallée de la Soummam, comme le cas des vents du secteur Ouest qui sont canalisés par la vallée de la Soummam qui leur donne son orientation Sud-Ouest et Nord Est, (Les données caractéristiques des vents sont fournies par l'United States of Naval Weather Service Command (U.S.N.W.S.C).)

Une prédominance des vents issus des directions Ouest et Nord-Ouest est enregistrée avec des fréquences respectives 29% et 7% pour les trois trimestres (hiver, printemps et automne). Les directions N, E et N-E sont aussi fréquentes mais avec des fréquences relativement faibles.

Une grande partie des vents issus de ces directions ont des vitesses supérieures à 8 m/s. Pour le troisième trimestre (estival), les vents issus des directions E et N-E avec des fréquences respectives de 31% et 22 % sont les plus dominants, et tout cela est indiqué dans les roses trimestrielles et annuelles des vents (**Fig.07**).



**Fig.07** : Roses trimestrielle et annuelle des vents au large des côtes de Béjaia (L.E.M, 1998 in Aoudj).

## 6.2. Les facteurs hydrodynamiques :

### 6.2.1. La houle :

#### 6.2.1.1. La houle au large :

Les données de la houle au large sont celles de « Summary of Synoptic Meteorological Observation » (S.S.M.O, zone Annaba) .Ces Données s'étalent sur une période de 8 ans (1963-1970).

L'analyse de ces données ont permis d'identifier les secteurs prédominants de la houle et leur amplitudes respectives (**Tab.N°02**) et de dresser les roses trimestrielles et annuelles des houles au large des côtes Est-Algériennes (**Fig. 08**) :

**Tab. N°02** : Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions (**S.S.M.O**, Période : (**1963 – 1970**)).

Mois	Nord	Nord-Est	Est	Ouest	Nord-Ouest
Janvier	11,50	7,20	16,4	30,80	14,00
Février	8,40	6,00	12,40	39,60	14,50
Mars	8,50	5,80	12,90	35,50	20,40
Avril	6,40	8,80	15,20	39,40	18,60
Mai	8,60	15,90	17,30	31,70	13,10
Juin	10,10	15,30	19,50	30,10	14,60
Juillet	12,30	19,80	22,50	20,10	17,10
Août	12,40	19,90	24,90	18,50	16,90
Septembre	12,00	14,20	29,20	17,70	15,80
Octobre	8,20	11,00	19,00	30,40	11,10
Novembre	4,20	3,60	7,90	40,1	19,60
Décembre	6,70	4,50	6,00	38,60	19,20

- Les houles de l'Ouest, de l'Est et du Nord-Ouest sont les plus fréquemment observées avec des fréquences de 40,1% ; 29,20% et 20,40% respectivement ;
- Sur une phase annuelle, les houles d'Ouest sont prédominantes avec une fréquence de 40,1% ;
- Les houles des secteurs Nord et Nord-Est sont les moins observées avec des fréquences de 4,20% et 3,60% respectivement.

En hiver, les houles prédominantes sont de secteur Ouest / Nord-Ouest pour plus de 80 %. Les longueurs d'onde des houles d'Hiver les plus fréquentes sont de 150 m à 170 m avec une célérité de 14 m/s.

Les houles d'été de direction Nord / Nord-Est se caractérise par une amplitude de 0.5m à 1.5m,

L'amplitude moyenne est de 2 à 3m, des amplitudes maximales peuvent atteindre 4 à 6m. La longueur d'onde des houles d'Eté de 6 s est de 130 m et la célérité de 10 m/s.

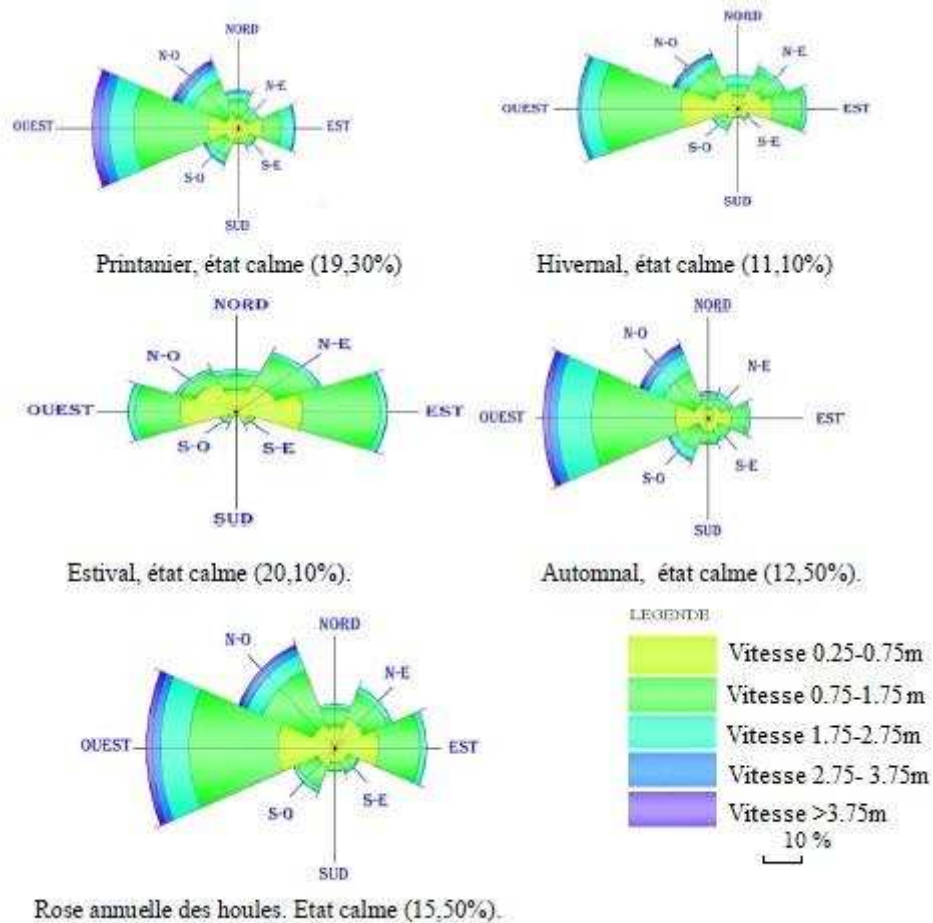


Fig.08 : Roses trimestrielle et annuelle de la houle au large dans la région Est de l'Algérie, (L.E.M, 1998 in Aoudj).

## 6.2.1.2. La houle à la côte :

### 6.2.1.2.1. Cap Carbon-Cap Aokas :

L'analyse de la réfraction des houles de périodes 6, 8 et 10 secondes issues des secteurs N360°, N45° et N330° révèle que le coefficient de réfraction  $K_r$  et la direction de la houle, mesurés à une profondeur de 15 m environ, varient comme dans (Tab N°03) ci-dessous qui montre que les houles des différents secteurs considérés arrivent à la côte avec une énergie légèrement atténuée, le coefficient de réfraction  $K_r$  varie entre 0,63 et 0,96. Les houles qui ont donc le plus d'impact sont celles du secteur Nord-Est.

**Tab. N°03** : Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle (**LEM, 1998 in Aoudj**) :

Direction en degrés	Période(s)	Coefficient de réfraction (Kr) à -15m	Direction de la houle ( $\alpha$ ) à -15m
N 360°	6	0,89	N 005°
N 360°	8	0,89	N 001°
N 360°	10	0,91	N 010°
N 045°	6	0,89	N 045°
N 045°	8	0,96	N 046°
N 045°	10	0,96	N 046°
N 330°	6	0,80	N 342°
N 330°	8	0,67	N 350°
N 330°	10	0,63	N 357°

### 6.2.1.2.2. Caractéristiques de la houle à la côte :

L'analyse des houles issues des secteurs N360°, N45° et N330°, en tenant compte de leurs fréquences d'apparition, indique que les hauteurs de ces premières, varient comme dans le **Tab. N°4**, qui montre que La hauteur des houles qui atteignent la côte est inversement proportionnelle à leurs fréquences d'apparition.

**Tab. N°4** : Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes : (**L.E.M 1998 in Aoudj**).

fréquence	Période de retour (ans)	360° Nord	45° Nord	330° Nord
Biennale	02	4,56 m	3,49 m	3,84 m
Quinquennale	05	5,43 m	4,09 m	4,41 m
Décennale	10	6,09 m	4,53 m	4,84 m
Vingtennale	20	6,75 m	4,98 m	5,27 m
Cinquantennale	50	7,63 m	4,57 m	5,84 m
Centennale	100	8,28 m	6,01 m	6,26 m

## 6.2.2. Les courants :

### 6.2.2.1. Les courants généraux :

La pénétration des eaux superficielles à l'intérieur du bassin méditerranéen par le détroit de Gibraltar, donnent naissance au courant algérien qui s'écoule d'Ouest en Est le long des côtes sans affecter la frange côtière de la baie de Béjaïa, où seuls les courants locaux sont à prendre en considération dans l'hydrodynamisme côtier.

### 6.2.2.2. Les courants côtiers :

Les phénomènes hydrodynamiques qui régissent les transferts sédimentaires sur la plage sous-marine et dans la zone de ressac sont nombreux et parfois très complexes.

La dynamique des sables, le long des rivages, est en fonction de l'action de la dérive littorale, elle-même liée aux paramètres physiques de la houle.

Au contact de la remontée du fond, les houles donnent lieu à des rouleaux qui, en provoquant la mise en suspension des particules, favorisent leur déplacement.

Le sens et l'intensité de ce courant sont en fonction de l'amplitude et de l'incidence de la houle par rapport à la côte, mais également de la topographie de la plage sous-marine et de la granulométrie des sédiments.

### **6.2.2.3. Le courant de retour :**

C'est un courant qui participe activement dans l'érosion côtière, il est compensateur sur le fond s'effectue vers le large et résulte du retour des masses d'eau déployées par la houle sur la côte. Leur effet est remarquable surtout par mauvais temps généralement en hiver.

### **6.2.2.4. Le courant de dérive littorale :**

Lorsque la houle arrive à la côte avec une incidence oblique, Elle donne naissance à un courant de dérive littoral, la vitesse de celui-ci est maximale pour un angle d'incidence de 50° à 60°. Ce courant parallèle au rivage, qui se manifeste dans la zone de déferlement des vagues, joue un rôle essentiel dans le déplacement des sédiments le long de la côte et dans l'alimentation des plages en sable et en galet.

### **6.2.3. La marée :**

D'une façon générale, la marée sur la côte algérienne est faible (de l'ordre de 20 cm environ).

Le rythme fondamental est imposé par la marée astronomique de faible amplitude comme sur toute la côte algérienne. Le niveau d'eau peut changer en fonction d'autres phénomènes tels que la pression atmosphérique et le vent ; mais le niveau ne dépasse guère les 50 cm.

## **7. Occupation des sols, activités et anthropisation de la côte :**

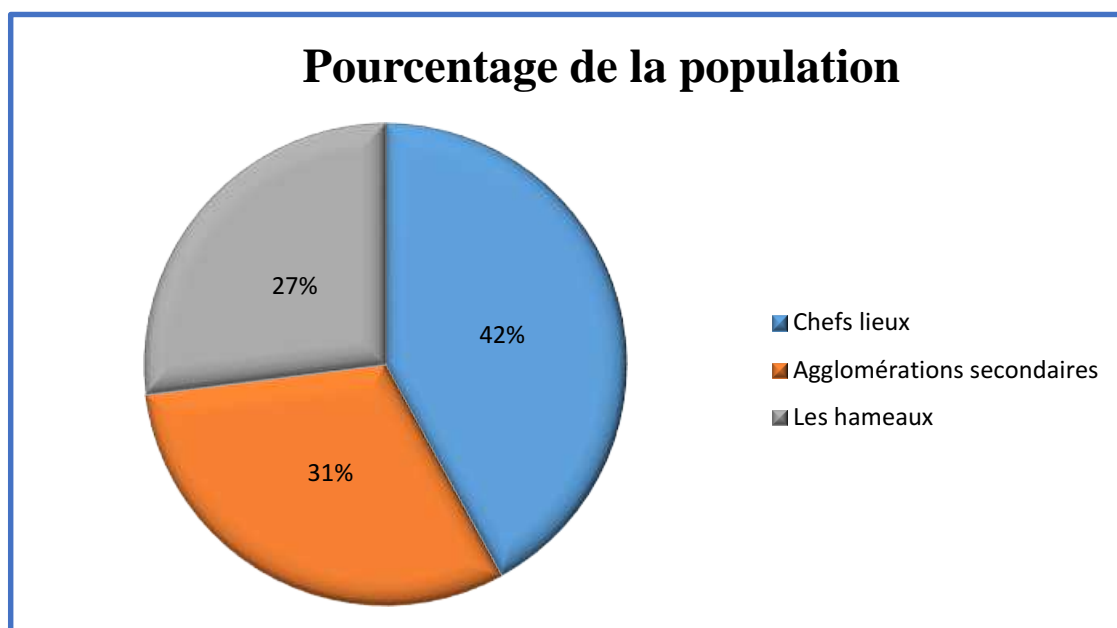
### **7.1. Occupation du sol :**

Le littoral Est de la région de Béjaïa est caractérisé par une forte densité en termes d'occupation du sol. Cela se traduit par la présence de plusieurs domaines d'activité, qui sont les aires urbaines, industrielles et agricoles.

#### **7.1.1. Occupation urbaine :**

Avec trois grandes agglomérations ; Celle de Béjaïa ville qui a une densité supérieure à 1320 hab/km<sup>2</sup>, et celle de Tichy et d'Aokas avec une densité de 439,17 hab/km<sup>2</sup>.

Le tissu des agglomérations urbaines du domaine littoral est en général organisé autour des anciennes villes coloniales, qui constituent le noyau central à partir duquel une extension anarchique et désordonnée s'est développée.



**Fig. 09** : Diagramme de la répartition territoriale de la population de la wilaya de Béjaïa (2007) (MATE, 2015)

## **7.2. Les activités dans la zone :**

### **7.2.1. L'activité commerciale et artisanale :**

L'activité commerciale au niveau de Tichy est plus importante durant la période estivale.

### **7.2.2. L'activité industrielle et touristique :**

La commune de Tichy est connue par ses unités industrielles. Concernant le tourisme, cette commune renferme des potentialités touristiques très importantes.

## **7.3. Anthropisation de la côte :**

26% de la population totale de la wilaya se concentre sur la bande côtière.

## **Conclusion du chapitre :**

L'appartenance géographique de la plage des Hammadites à la zone littorale de la commune de Tichy et donc de la wilaya de Béjaïa lui permet d'avoir les mêmes caractéristiques que celles-ci, en terme de présence de corps sédimentaires d'âge mio-plio-quadernaire avec une lithologie à faciès différents, c'est une zone basse d'accumulation qui reçoit essentiellement ses sédiments par les cours d'eaux secondaires ou des produits de l'érosion côtière, son régime pluviométrique diffère d'une année à une autre avec des vents influencés par les reliefs environnants (les vents de la Soummam). A la côte les houles arrivent d'une certaine énergie plus au moins atténuée, d'une direction du Nord-Est qui impact le plus.

Le seul courant qui a une influence sur la zone est le courant de retour qui joue un rôle important dans l'érosion côtière.

La zone est ainsi connue par son anthropisation et les activités qui s'y exercent jouant un rôle important dans la dégradation de la plage.

**Chapitre II :**  
**SUIVI ET ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES**  
**DE LA PARTIE AÉRIENNE**  
**DE LA PLAGE DES HAMMADITES**

## Introduction :

Le présent chapitre porte sur la connaissance de la nature des sédiments superficiels qui constituent notre zone d'étude et sa variation à une petite échelle spatio-temporelle balayant toute la partie aérienne à partir d'une analyse granulométrique de 16 échantillons qui nous informe sur la répartition des différents grains et le grain dominant accompagnée d'une analyse calcimétrique pour but d'identifier l'origine des sédiments. Tout en complétant par déduire les indices granulométriques qui appuient nos résultats obtenus.

## 1. Sorties sur terrain :

### 1.1. Prélèvement des sédiments :

Nous avons réalisé trois sorties sur terrain pendant trois (03) mois successifs ; Juin, Juillet et Août dans le but d'effectuer les prélèvements des sédiments de la partie aérienne de notre zone d'étude ; plage des Hammadites. Cette dernière a été divisée en cinq transects espacés de 175 m, chacun porte en général trois stations.

Le prélèvement a été fait par la méthode directe, à la main, en utilisant des sacs de congélation, du papier glace et un crayon pour énumérer les étiquettes. L'espacement entre les stations et les transects a été mesuré à l'aide d'un décimètre.

Enfin, un ensemble de 16 échantillons ont été récoltés et destinés pour des analyses de granulométrie et calcimétrie au laboratoire (LGA de l'ENSSMAL).

#### 1.1.1. Répartition des échantillons :

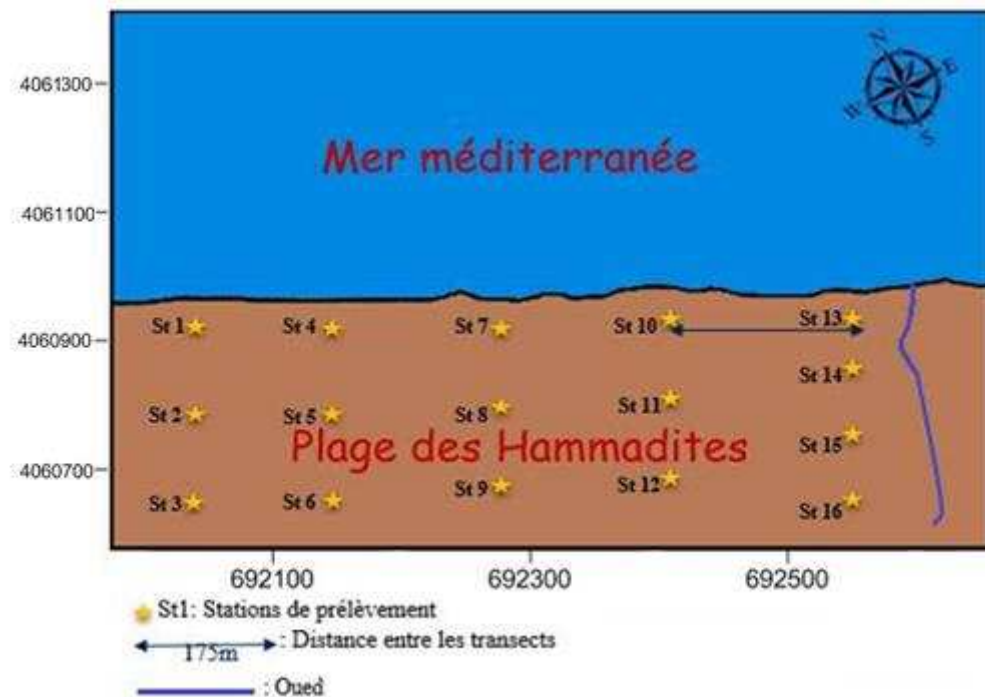


Fig.10 : Répartition des échantillons.

### 1.1.2. Conditions climatiques des jours de sorties :

Tab. N° 05 : Etat climatique des sorties.

Dates des sorties	12 Juin 2015	14 Juillet 2015	16 Août 2015
Température maximale (°C)	26	32	28
Température minimale (°C)	23	26	24
Vitesse du vent Km/h	14	14	12

### 1.1.3. Matériels de prélèvement :



Fig. 11 : Matériels de prélèvement.

## 2. Etudes au laboratoire :

### 2.1. Analyse granulométrique :

L'objectif de l'analyse granulométrique consiste à déterminer la distribution dimensionnelle des grains constituant un échantillon de sédiment dont les dimensions sont comprises entre 0.063 et 125 mm.

#### 2.1.1 Principe de la méthode :

La méthode consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis de tailles décroissantes un échantillon de sédiment en plusieurs classes granulaires. Les masses des différents refus sont rapportées à la masse initiale de l'échantillon. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous forme graphique.

### 2.2. Analyse calcimétrique :

La calcimétrie est la mesure de la teneur d'un sédiment en carbonates de calcium. Elle permet de déterminer le pourcentage des carbonates de  $\text{CaCO}_3$  présents dans le sédiment. Elle donne des indications sur les apports de carbonates détritiques et la part des sédiments biogènes ou débris de coquilles.

#### 2.2.1. Principe de la méthode :

Elle se fait par l'attaque à l'acide chlorhydrique à chaud sur le sédiment, et dont le poids était déjà connu.

### 2.2.2. Matériels et méthodes :

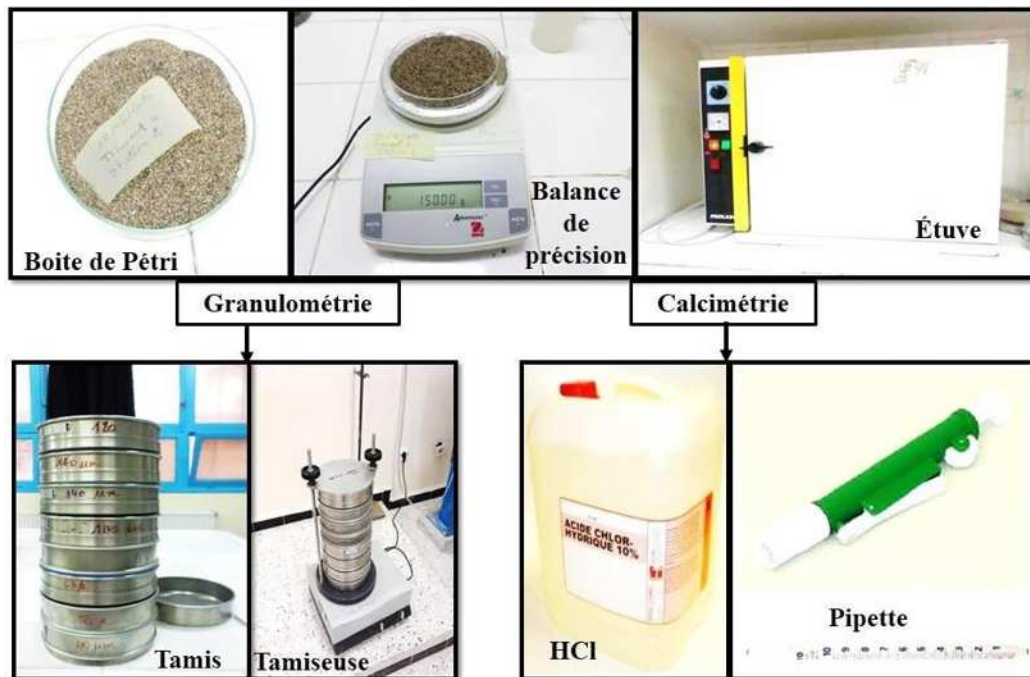
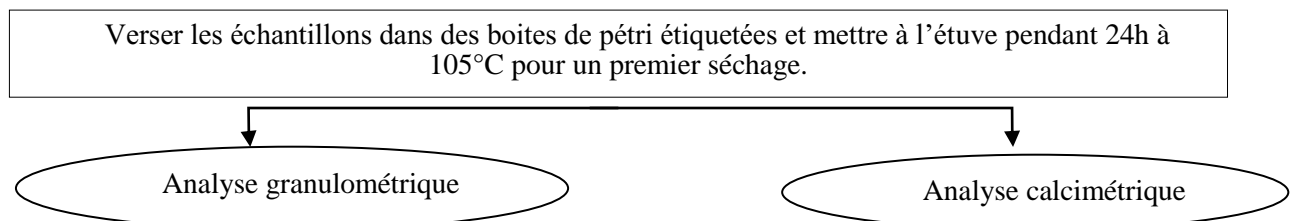


Fig.12 : Matériels du LGA.

### 2.2.3. Mode opératoire :



- Peser 150g de chaque échantillon et rincer à l'eau de robinet par un tamis de 40 $\mu$ m de diamètre, ensuite remettre dans l'étuve à 105°C pendant 24h pour un deuxième séchage.
  - Repeser les échantillons une fois retirés de l'étuve après 24h ; La différence de masses fera l'objet de calcul du taux des Pélites.
  - Passer à l'étape de tamisage de chaque échantillon sec sur un vibreur composé d'une série de tamis de norme AFNOR superposés par ordre décroissant pendant 10 minutes.
  - Peser chaque refus de tamis de chaque échantillon à l'aide d'une balance de précision et en étant prudent lorsqu'on verse le refus pour la pesée.
- Peser 20g de chaque échantillon sec, en respectant les étiquettes utilisées lors des prélèvements et l'analyse granulométrique.
  - Verser quelques gouttes de HCl (10%), sur les 20g de sédiments et laisser réagir jusqu'à la fin de l'effervescence.
  - Mettre dans l'étuve à 105°C pendant 24h, ensuite repeser l'échantillon sec après élimination de CaCO<sub>3</sub>.
  - La différence de masses fera l'objet de calcul du taux de CaCO<sub>3</sub> dans le sédiment.

### 3. Les paramètres et indices granulométriques :

Une fois les travaux au laboratoire sont achevés et les masses des refus des différents échantillons enregistrées et organisées dans un fichier Excel (annexe n°01), l'étape suivante est celle du traitement des données obtenues par :

- Le calcul des pourcentages cumulés de chaque échantillon à partir des masses des refus pour chaque échantillon ;
- La représentation graphique en histogrammes de fréquences et courbes cumulatives représentant le pourcentage de refus cumulé en fonction du logarithme des mailles des tamis utilisés.

Cette dernière nous permettra de comparer les échantillons et déterminer les différents paramètres grâce auxquels nous calculerons les indices granulométriques.

#### 3.1. Paramètres de position :

Ils 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. C'est à partir de ces paramètres que les différents indices granulométriques sont calculés.

##### 3.1.1. Le mode granulométrique ( $M_0$ ) :

Il correspond au diamètre du tamis qui représente la fraction sédimentaire dominante dans un même échantillon.

Il est déduit à partir de l'histogramme de fréquences. **Rivière (1977)** distingue trois types :

- Courbe (ou histogramme) unimodale : dominance d'un seul stock sédimentaire ;
- Courbe (ou histogramme) bimodale : dominance de deux stocks sédimentaires ;
- Courbe (ou histogramme) plurimodale : dominance de plusieurs stocks sédimentaires.

##### 3.1.2. Les quantiles : Ils regroupent :

- Les quartiles : Quartile inférieur Q25 : diamètre du grain à l'ordonnée 25% ;  
Quartile supérieur Q75 : diamètre du grain à l'ordonnée 75% ;
- La médiane Q50 : C'est l'indice absolu (**Rivière, 1977**) correspond au diamètre du grain moyen dont l'ordonnée est à 50% du poids total du sédiment, elle est déduite à partir de la courbe cumulative
- Les déciles : Premier décile D10 : Diamètre du grain à l'ordonnée 10% ;  
Deuxième décile D90 : Diamètre du grain à l'ordonnée 90%.

#### 3.2. Les indices granulométriques :

##### 3.2.1. L'indice de dispersion ou de classement ( $S_0$ , Sorting de Trask) :

Il donne une idée sur l'étalement de la courbe autour de son grain moyen, et nous renseigne sur le degré de classement du sédiment.

$S_0 = (Q75 / Q25)^{1/2}$	$S_0 < 1$	Très bien classé
	$1 < S_0 < 2.5$	Bien classé
	$2.5 < S_0 < 3$	Normalement classé
	$3 < S_0 < 4$	Mal classé

### 3.2.2. Le coefficient d'asymétrie ( $S_k$ , Skewness de Trask) :

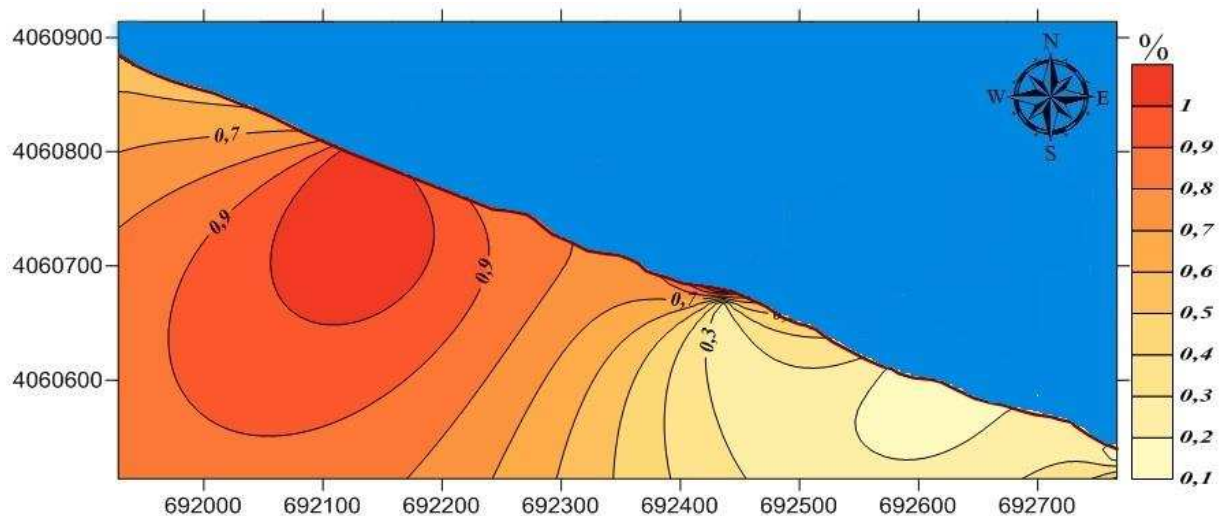
Il caractérise le degré de symétrie de la courbe par rapport à la médiane et indique la prédominance des sédiments fins ou des sédiments grossiers.

$S_k = (Q25 * Q75) / (Q50)^2$	$S_k < 1$	Classement maximum vers les fins
	$S_k = 1$	Symétrie parfaite
	$S_k > 1$	Classement maximum vers les grossiers

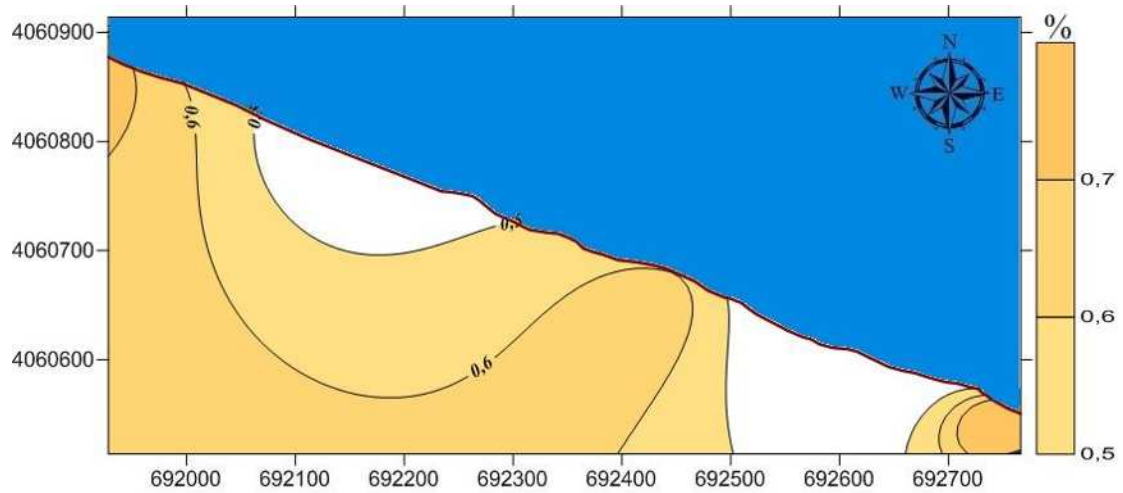
## 4. Résultats et discussion:

### 4.1. Analyse de la fraction fine :

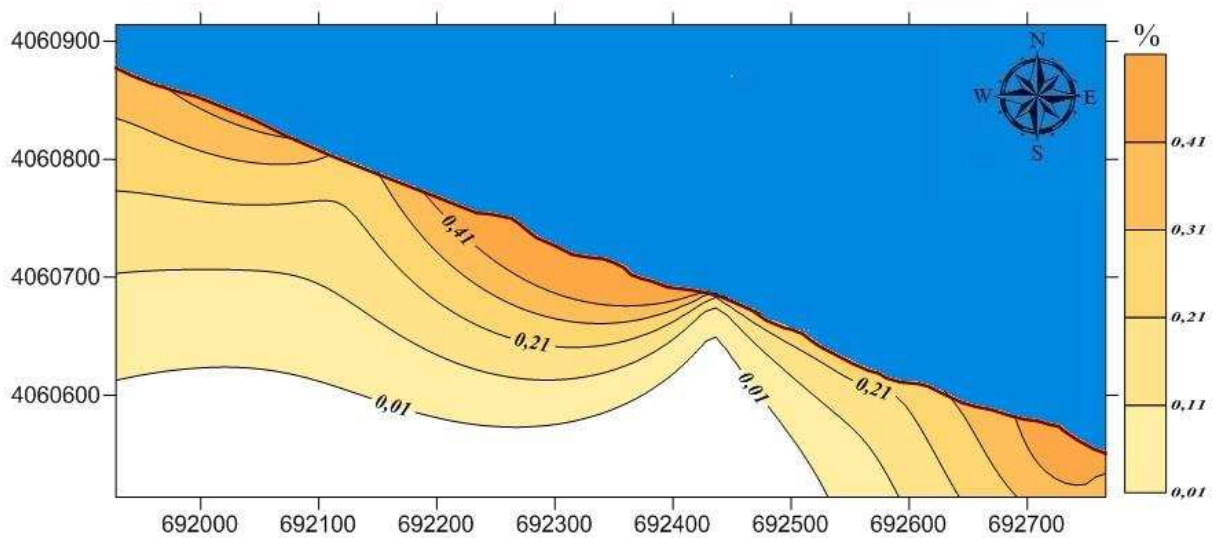
Les cartes des isopélites correspondants aux trois sorties réalisées en mois de Juin, Juillet et Août présentent un taux de Pélites faible qui n'atteint pas 1% pour les trois cas. Ces résultats peuvent s'expliquer par la saison d'été où l'hydrodynamisme est faible, donc une faible mise en suspension des sédiments qui seront ramenés sur la plage. Cependant, en comparant avec le mois d'Août, ce pourcentage est élevé en Juin et Juillet atteignant 0.9% par rapport au mois d'Août où la valeur extrême était de 0.4% qui est liée aussi à l'intensité de l'hydrodynamisme entre les trois mois.



**Fig.13 :** Répartition des Pélites dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1).



**Fig.14** : Répartition des Pélites dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 2).



**Fig.15** : Répartition des Pélites dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3).

## 4.2. Analyse de la fraction grossière :

### 4.2.1. Les courbes granulométriques :

#### ▪ Aspect général des courbes cumulatives :

Dans l'ensemble, les courbes sont généralement redressées ce qui témoigne d'une homogénéité des sédiments analysés.

#### -Les courbes unimodales :

Elles indiquent la présence d'un seul stock sédimentaire exposé par un seul mode granulométrique représentatif du sédiment.

• **Echantillonnage 1 : Exemple de la station N°07**

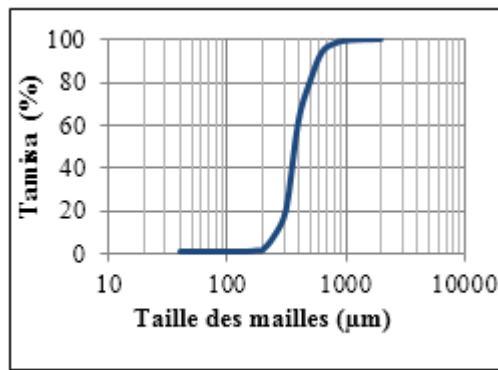


Fig.16 : Courbe unimodale

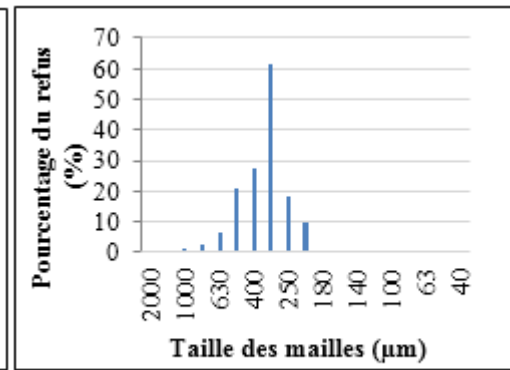


Fig.17 : Histogramme unimodal

**-Les courbes bimodales :**

Elles indiquent la présence de deux stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique, deux modes représentatifs caractérisent ce type de sédiment.

• **Echantillonnage 2 : Exemple de la station N° 13**

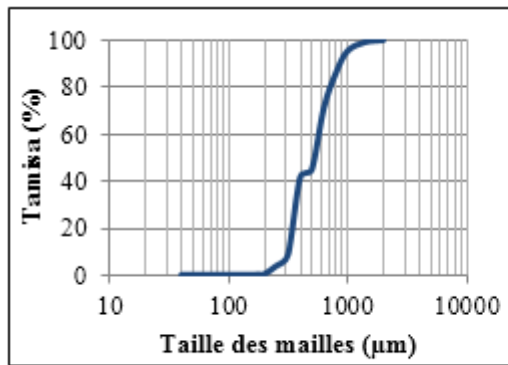


Fig. 18 : Courbe bimodale

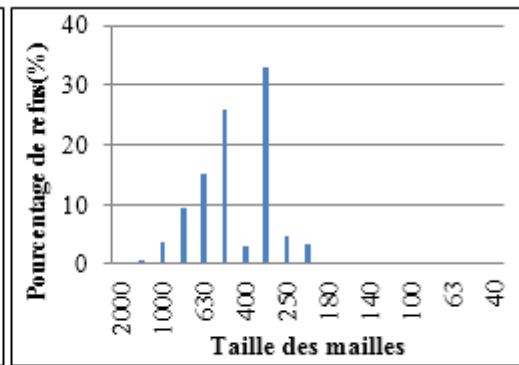


Fig. 19 : Histogramme bimodal

**-Les courbes plurimodales :**

Elles rendent compte de la présence de plusieurs stocks sédimentaires au sein d'une même population dynamique. Elles sont surtout représentatives du sédiment grossier. Ces courbes sont marquées par la présence de plusieurs modes granulométriques.

• **Echantillonnage 3 : Exemple de la station N°11**

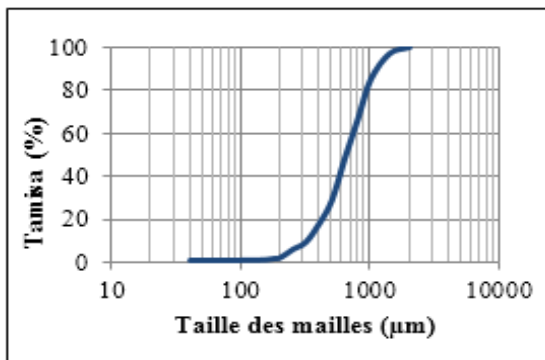


Fig. 20 : Courbe plurimodale

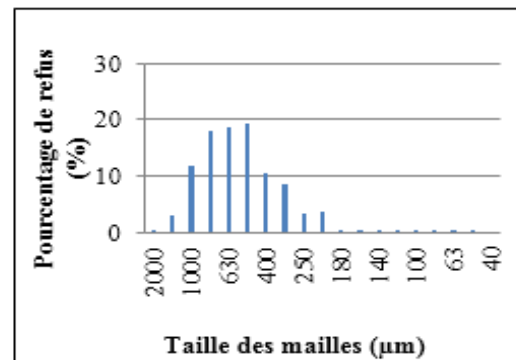


Fig. 21 : Histogramme plurimodal

#### 4.2.2. Cartes des quantiles et interprétation :

##### ▪ Médiane, Q50 :

La distribution du grain moyen du sédiment de notre zone d'étude est plus au moins hétérogène en mois de Juillet et Août et qui est de 400  $\mu\text{m}$  et 380  $\mu\text{m}$  respectivement. Concernant le mois de Juin, la médiane est de 450  $\mu\text{m}$  dont les iso-valeurs sont répartis sur la zone d'une manière homogène. On remarque qu'il y a un changement dans le grain moyen entre Juin et Août qui est passé de 450  $\mu\text{m}$  à 380  $\mu\text{m}$  qui peut être lié à l'hydrodynamisme qui est plus faible en mois d'Août par rapport à Juin.

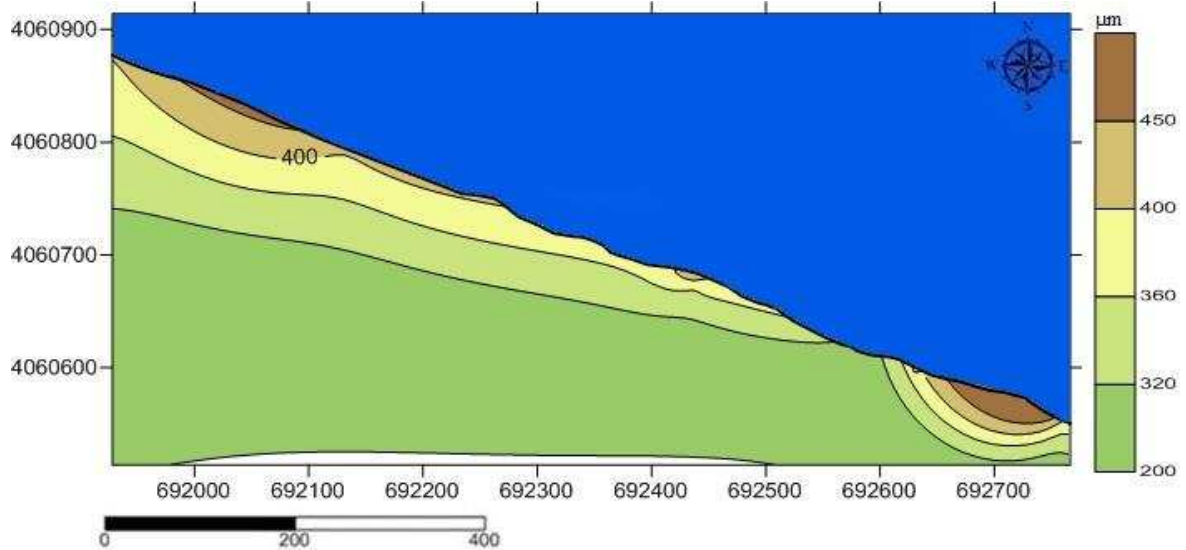


Fig.22 : Répartition du Q50 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1).

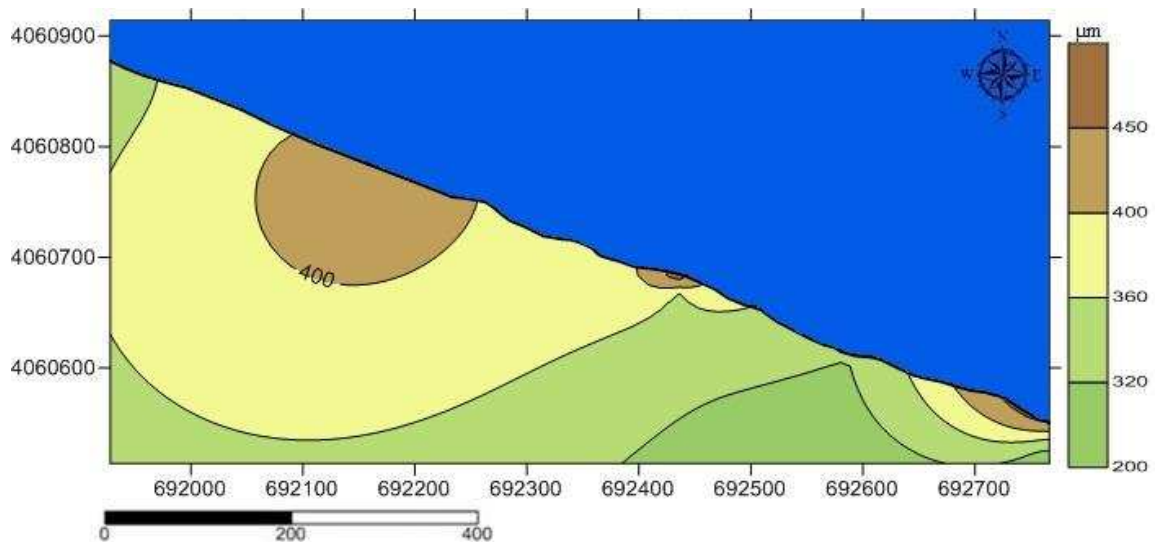


Fig. 23 : Répartition du Q50 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 2).

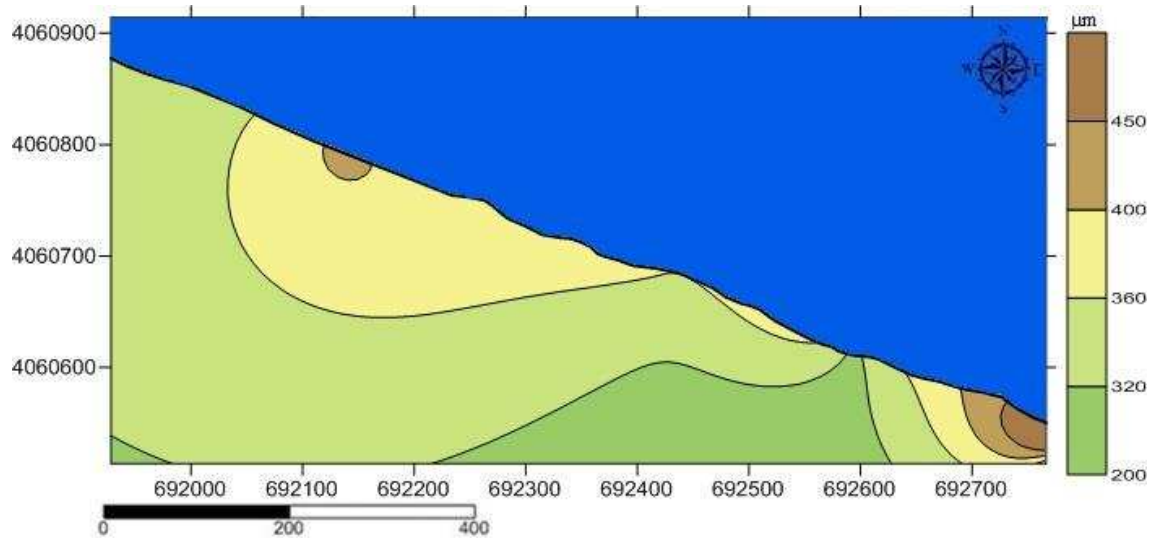


Fig. 24 : Répartition du Q50 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3).

#### ▪ Quantile inférieur Q25 :

Les cartes présentent une distribution du quantile inférieur (Q25) plus au moins homogène dont le diamètre est plus grand dans la partie Ouest par rapport à l'Est pour les mois de Juillet et Août. Une exception se manifeste en mois de Juin où le diamètre à l'Est est plus important qu'à l'Ouest.

On déduit, suite à ces différentes observations remarquées sur les trois mois, qu'en moyenne le Q25 tourne autour de 300 µm de diamètre.

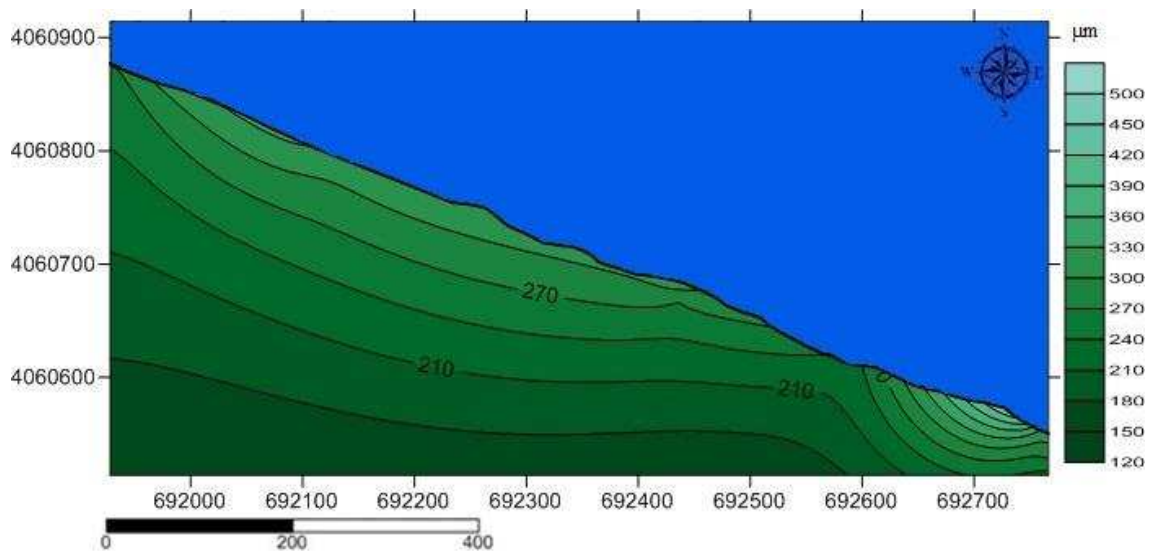


Fig. 25 : Répartition du Q25 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1).

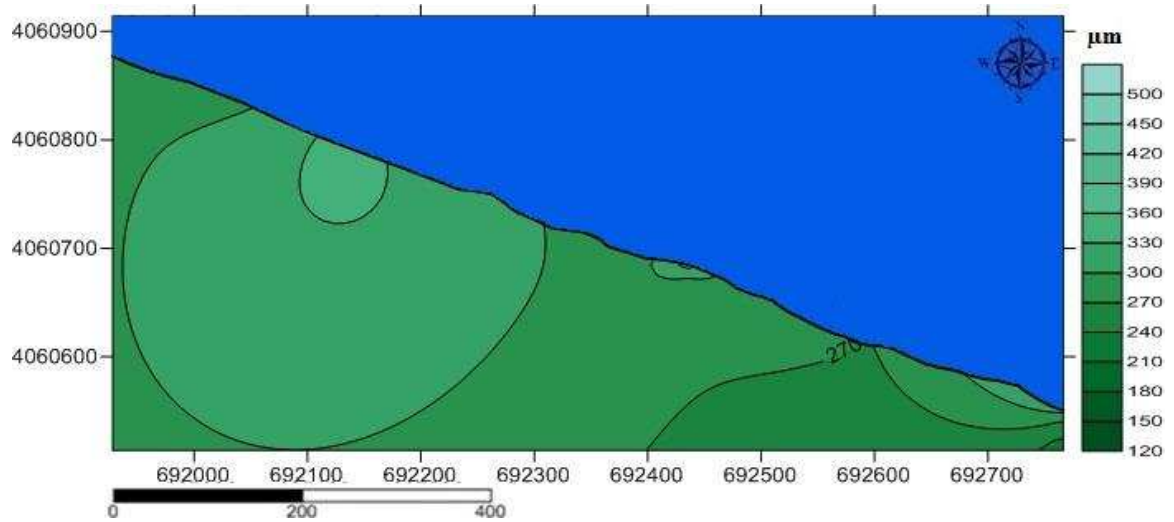


Fig. 26 : Répartition du Q25 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage2).

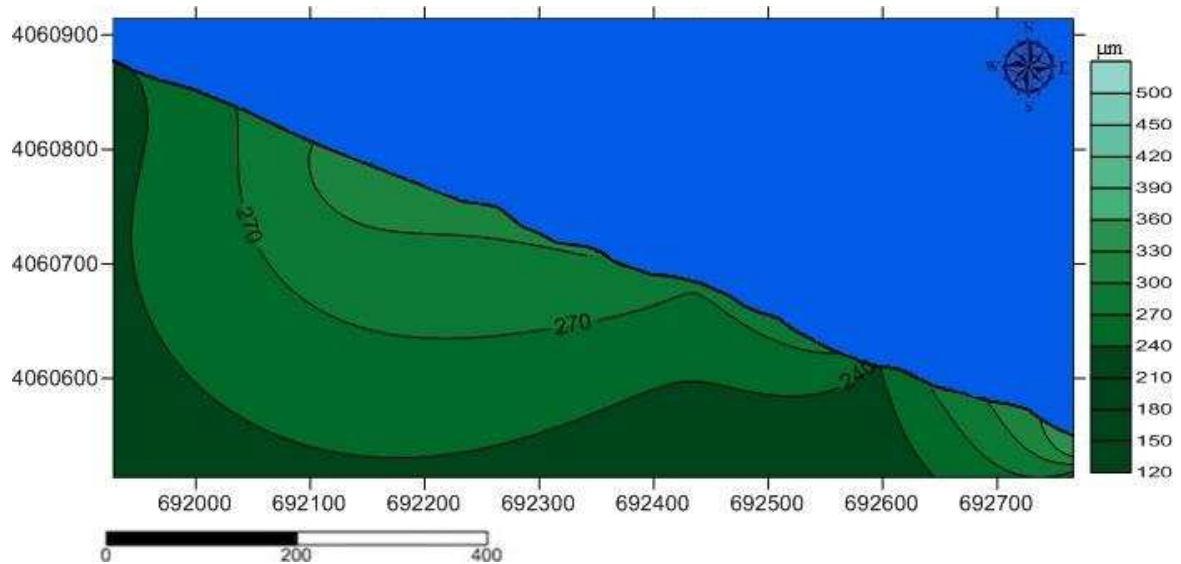
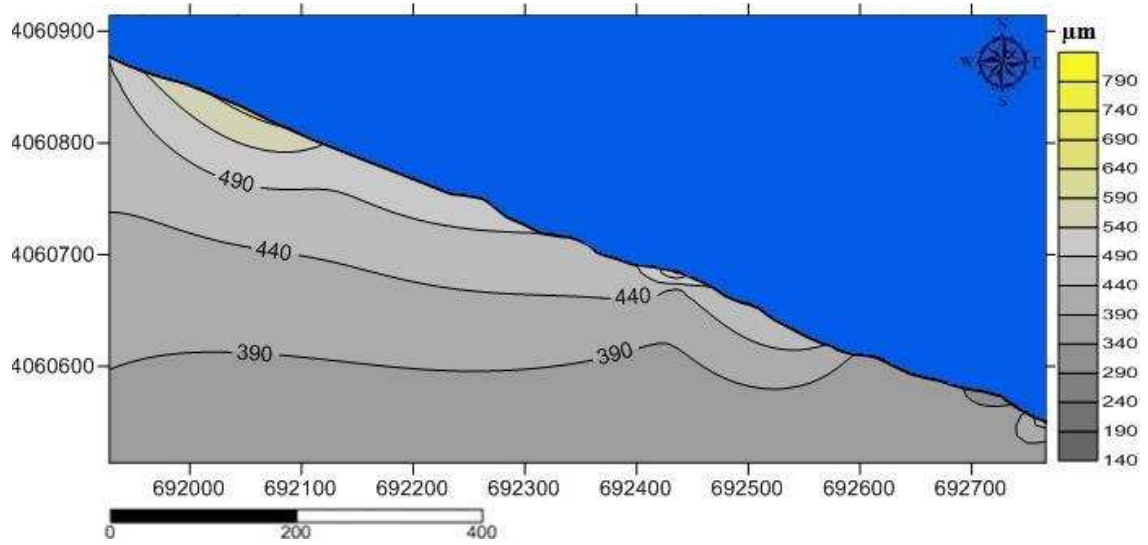


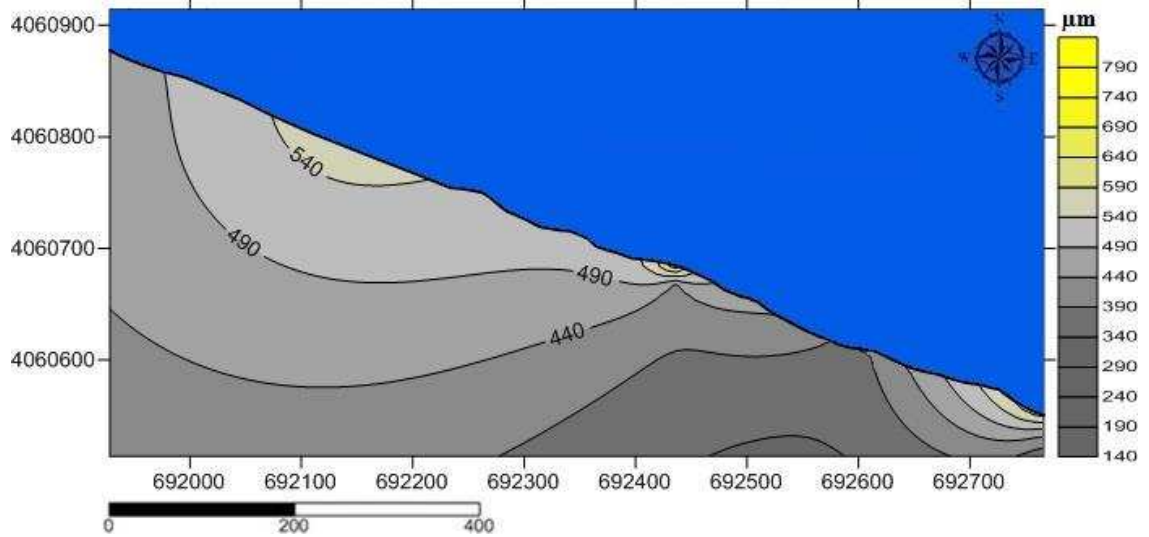
Fig. 27 : Répartition du Q25 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3).

#### ▪ Quantile supérieur, Q75 :

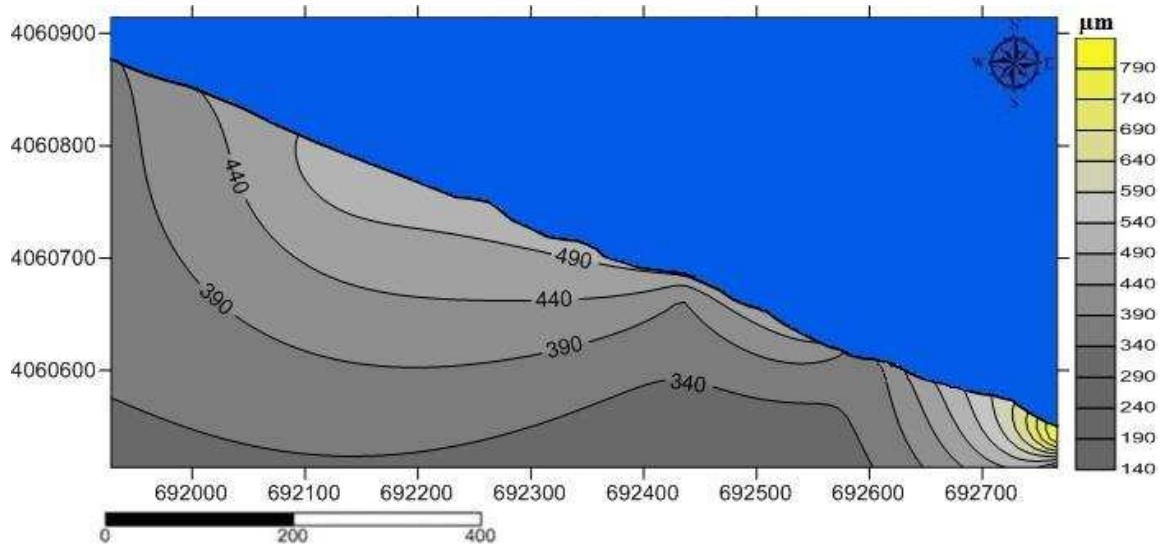
Les cartes présentent un diamètre maximum des sédiments dont le pourcentage est de 75% autour de 570  $\mu\text{m}$  et 540  $\mu\text{m}$  près du trait de côte pour Juin et Juillet respectivement avec une réduction en allant vers le haut de la plage. Le mois d'Août a connu une légère diminution de ce diamètre qui ne dépasse pas les 500  $\mu\text{m}$  à l'exception de certaines stations de prélèvement.



**Fig.28** : Répartition du Q 75 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 1).



**Fig. 29** : Répartition du Q 75 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 2).



**Fig. 30** : Répartition du Q 75 dans la plage des Hammadites (Echantillonnage 3)

### 4.2.3. Indices granulométrique :

#### 1. Echantillonnage 1 :

##### 1.1. Indice de classement :

L'ensemble des valeurs de  $S_0$  obtenues dans notre zone d'étude varient entre 1 et 1.6, ce qui révèle une présence de sédiments bien classés.

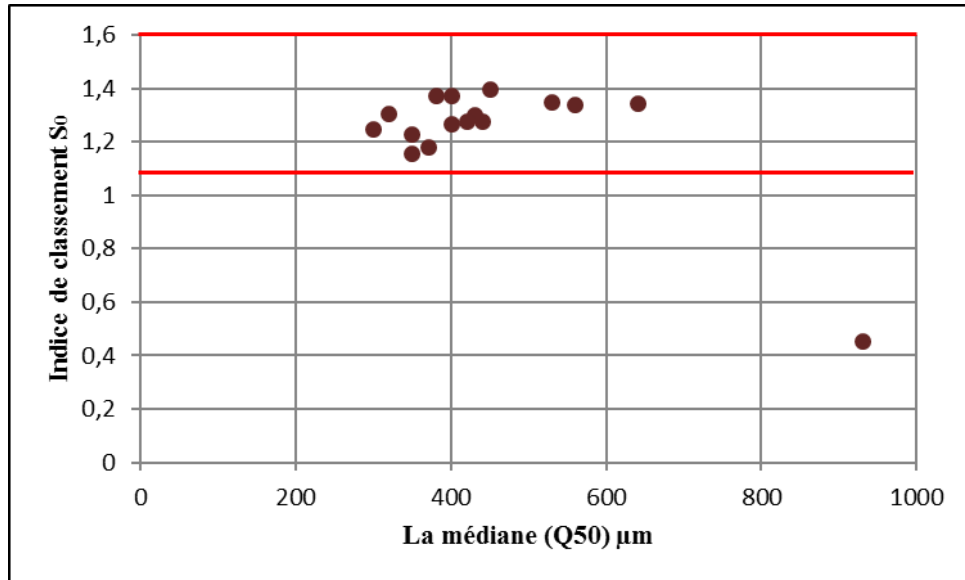


Fig. 31 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen des sédiments de la plage des Hammadites

##### 1.2. Coefficient d'asymétrie :

Plus de 50% des valeurs de coefficient d'asymétrie, des échantillons dans la zone d'étude sont inférieures à 1 ce qui indique un classement maximum vers les particules fines, à l'exception de quelques stations de prélèvement.

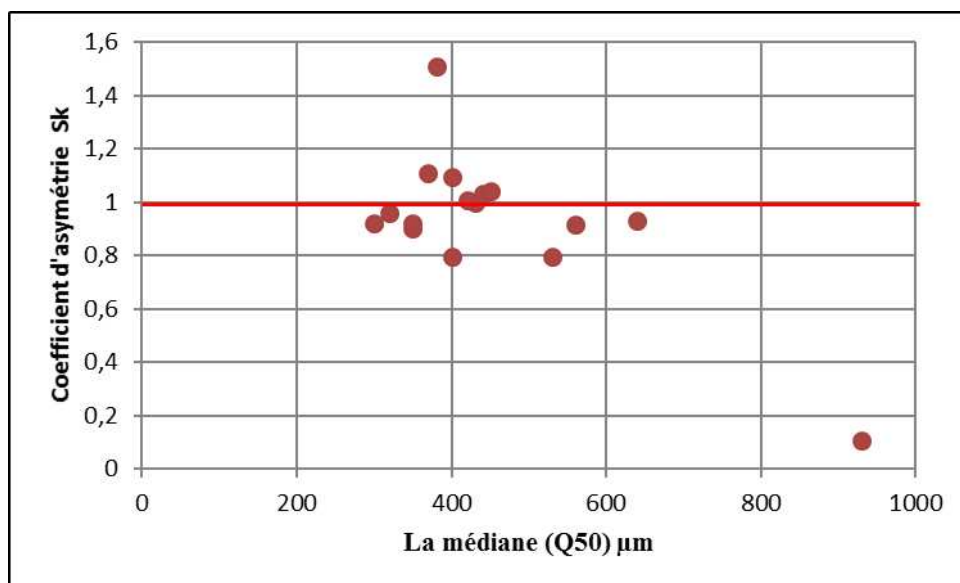


Fig. 32 : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen des sédiments de la plage des Hammadites

## 2. Echantillonnage 2 :

### 2.1. Indice de classement :

L'ensemble des valeurs du  $S_0$  obtenues dans notre zone d'étude varient entre 1 et 1.6, ce qui nous indique la présence de sédiments bien classés.

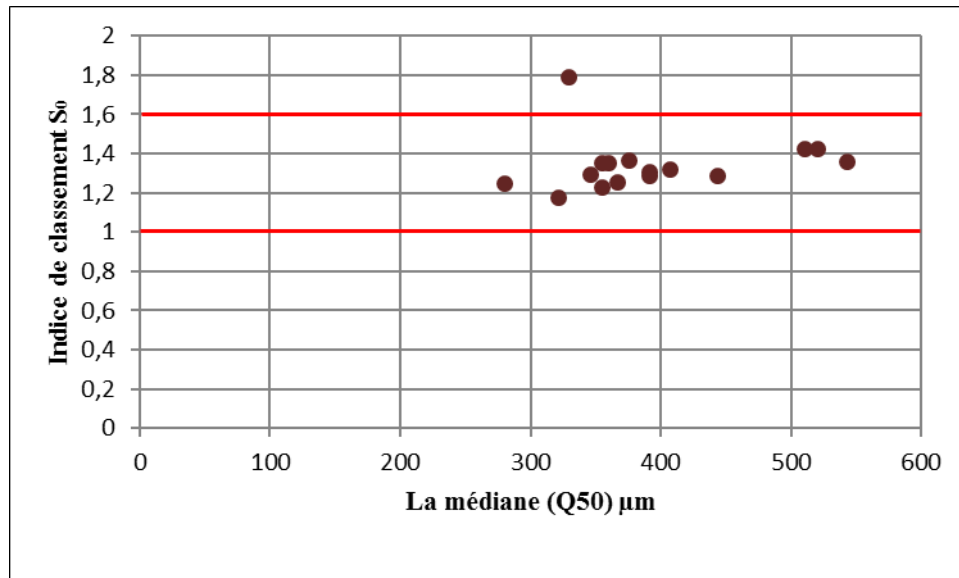


Fig. 33 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen des sédiments de la plage des Hammadites

### 2.2. Coefficient d'asymétrie :

Les valeurs de  $S_k$  dans la zone sont autour de 1, où 50 % des échantillons ont un coefficient d'asymétrie inférieur à 1 et 50% supérieur à 1, ce qui nous renseigne sur un classement maximum vers les particules fines pour certaines stations et un classement maximum vers les particules grossières pour d'autres.

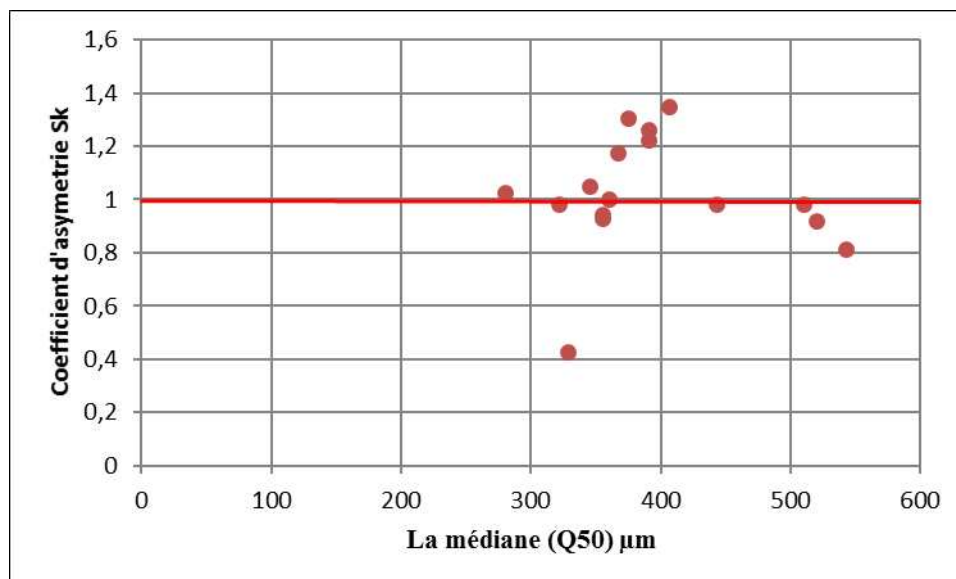


Fig. 34 : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen des sédiments de la plage des Hammadites

### 3. Echantillonnage 3 :

#### 3.1. Indice de classement :

L'ensemble des valeurs de  $S_0$  obtenues dans notre zone d'étude varient entre 1 et 1,6, ce qui nous permet de déduire la présence de sédiments bien classés.

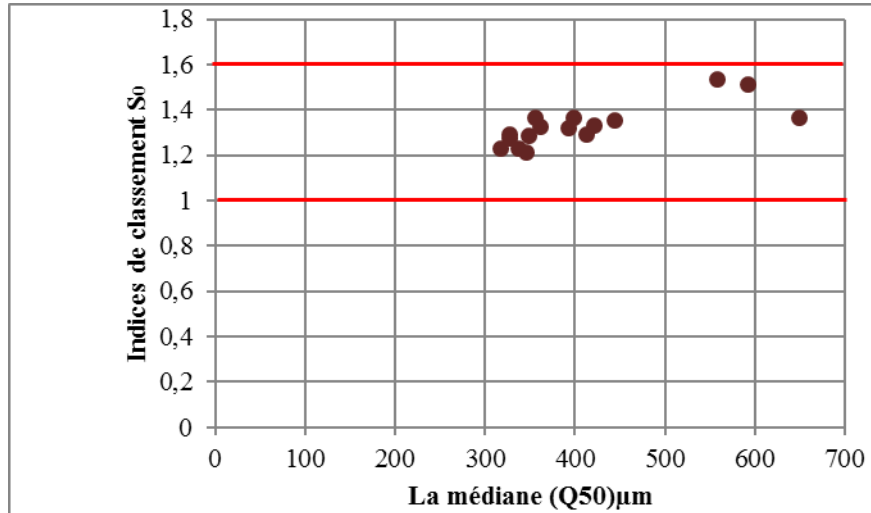


Fig. 35 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen des sédiments de la plage des Hammadites

#### 3.2. Coefficient d'asymétrie :

Les valeurs de  $Sk$  sont inférieures à 1, à l'exception de quelques échantillons ce qui traduit un classement maximum vers les fins.

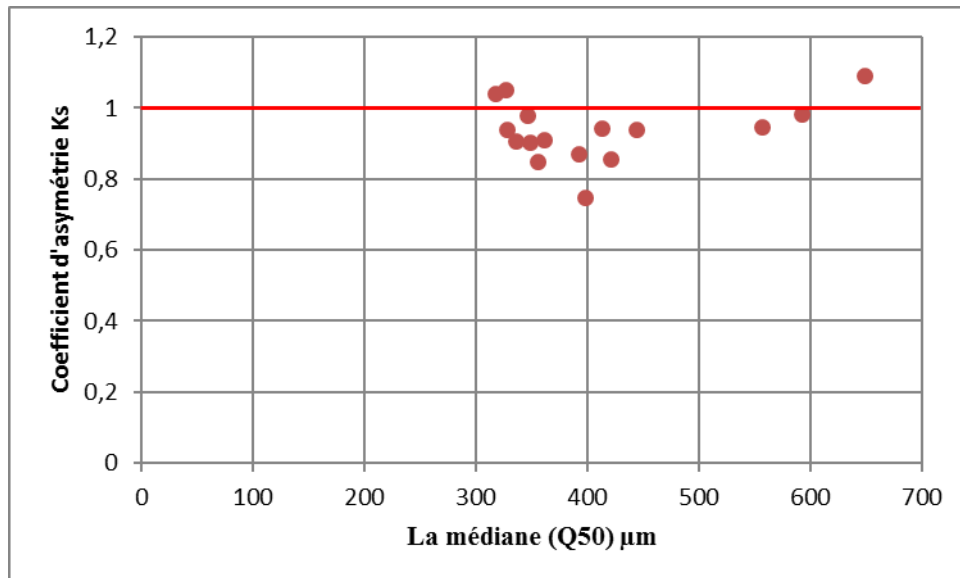


Fig. 36 : Relation entre le coefficient d'asymétrie et le diamètre moyen des sédiments de la plage des Hammadites

Les sédiments de la plage des Hammadites sont bien classés dans l'ensemble des échantillons correspondants aux trois sorties effectuées, et ceci est confirmé par les valeurs de l'indice de classement qui varient entre 1 et 2.5.

Le nombre des échantillons dont le coefficient d'asymétrie est inférieur à 1 augmente de Juin en Août, ce qui fait augmenter le classement maximum vers les fins, ceci peut être expliqué par une diminution de l'intensité de l'hydrodynamisme de Juin en Août.

#### 4.2.4. Analyse modale :

Le mode est de 315 $\mu\text{m}$ , cela correspond au sable moyen. Il est le plus largement représenté dans la plage des Hammadites ; en Juin, il se concentre à l'Est et à l'Ouest, en Juillet, à l'Ouest et en Août à l'Est.

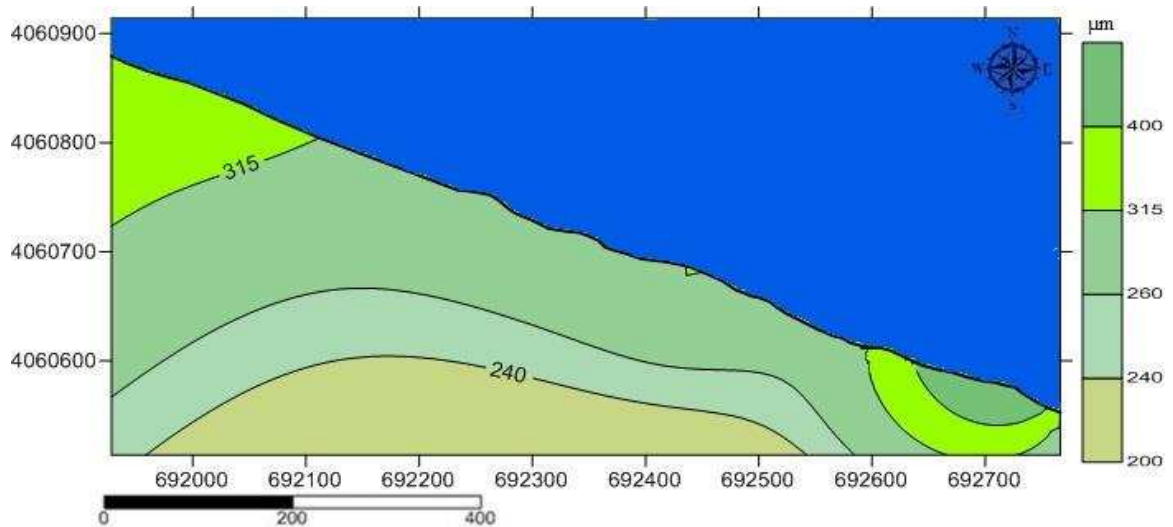


Fig.37. : Répartition du mode (315 $\mu\text{m}$ ) sur la plage des Hammadites (échantillonnage 1).

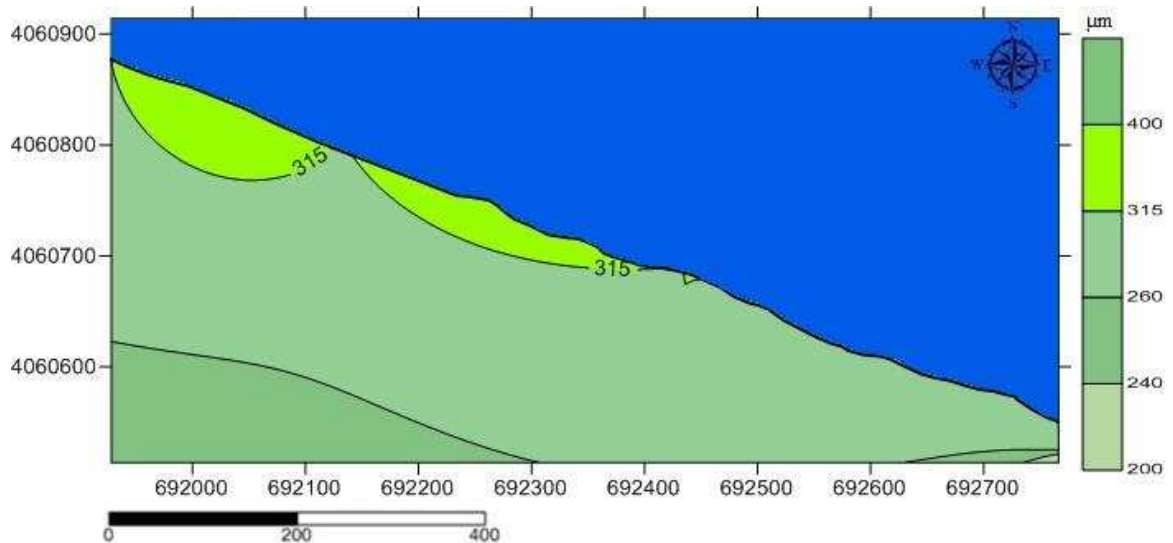


Fig. 38 : Répartition du mode (315 $\mu\text{m}$ ) sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 2).

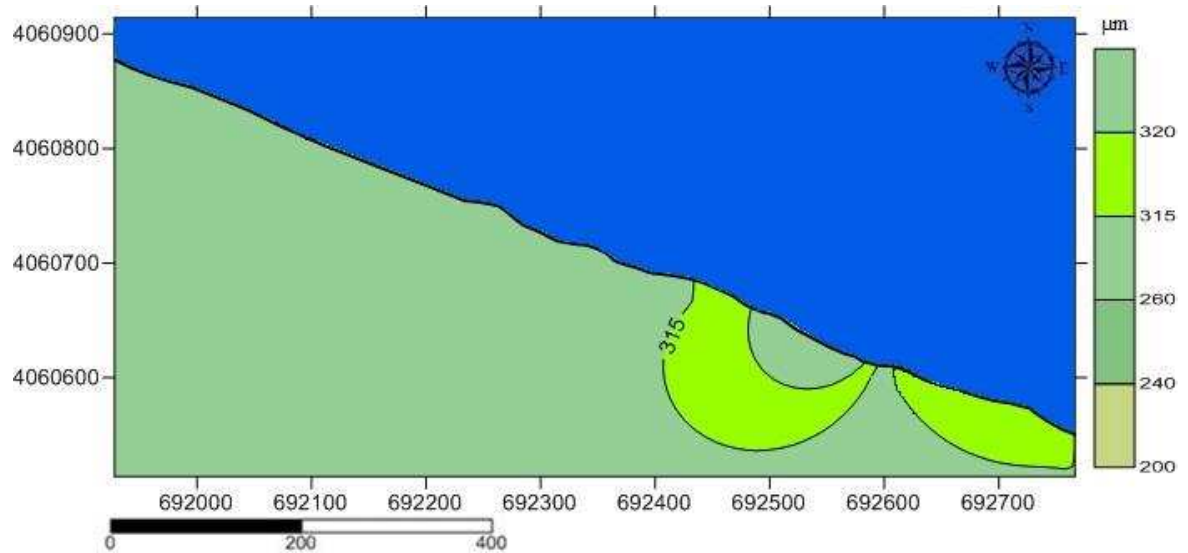


Fig. 39 : Répartition du mode (315µm) sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 3).

### 4.3. Analyse calcimétrique :

D'une manière globale les teneurs en  $\text{CaCO}_3$  des échantillons dans notre zone d'étude, correspondant aux trois sorties effectuées, sont très faibles dont les pourcentages ne dépassent pas 21 %.

Les cartes de distribution des taux de calcite analysés (Fig.40, Fig.41, Fig.42), montrent une évolution croissante du rivage vers le haut de la plage et de l'Ouest vers l'Est et ce au mois de Juin et Juillet, contrairement mois d'Août qui marqué par une évolution décroissante du rivage vers le haut de la plage. Ceci s'explique par un dépôt de débris de coquille sur le rivage avec une concentration dans la partie Est pour le mois d'Août, en ce qui concerne le mois de Juin et Juillet, l'origine des sédiments peut être terrigène.

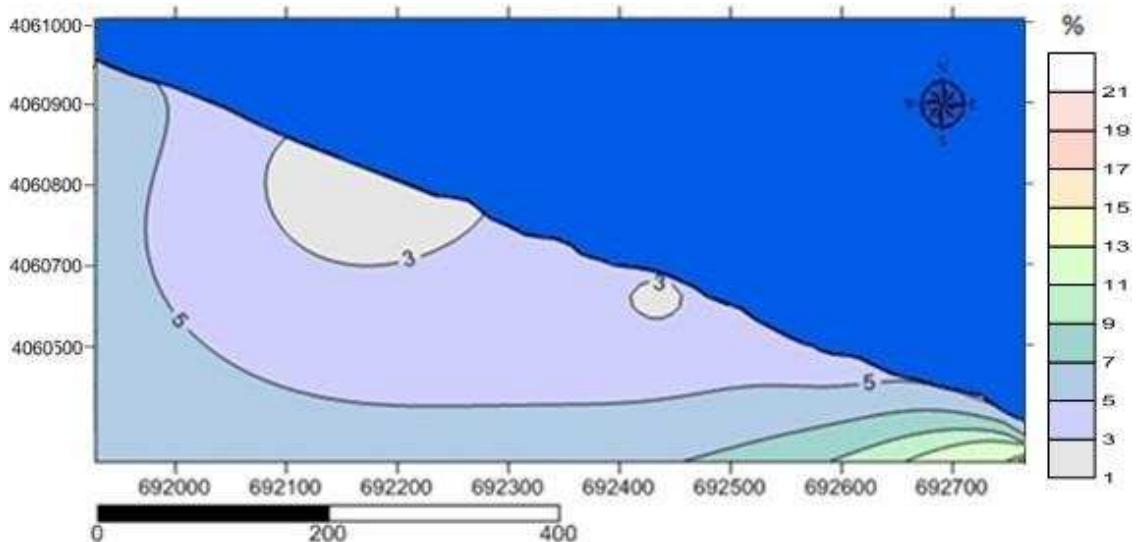


Fig. 40 : Distribution spatiale des taux de  $\text{CaCO}_3$  dans les sédiments sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 1).

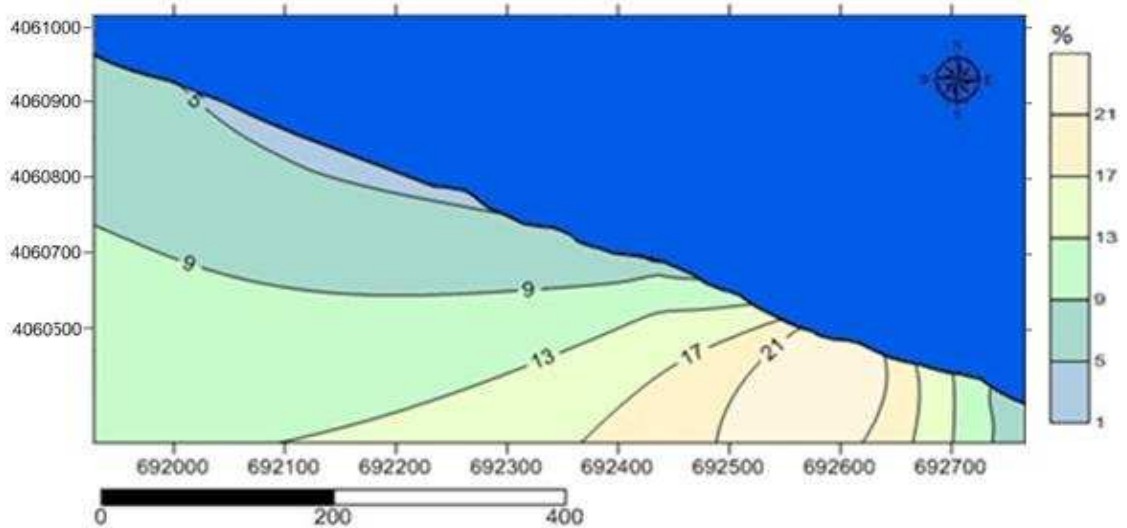


Fig. 41 : Distribution spatiale des taux de  $\text{CaCO}_3$  dans les sédiments sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 2).

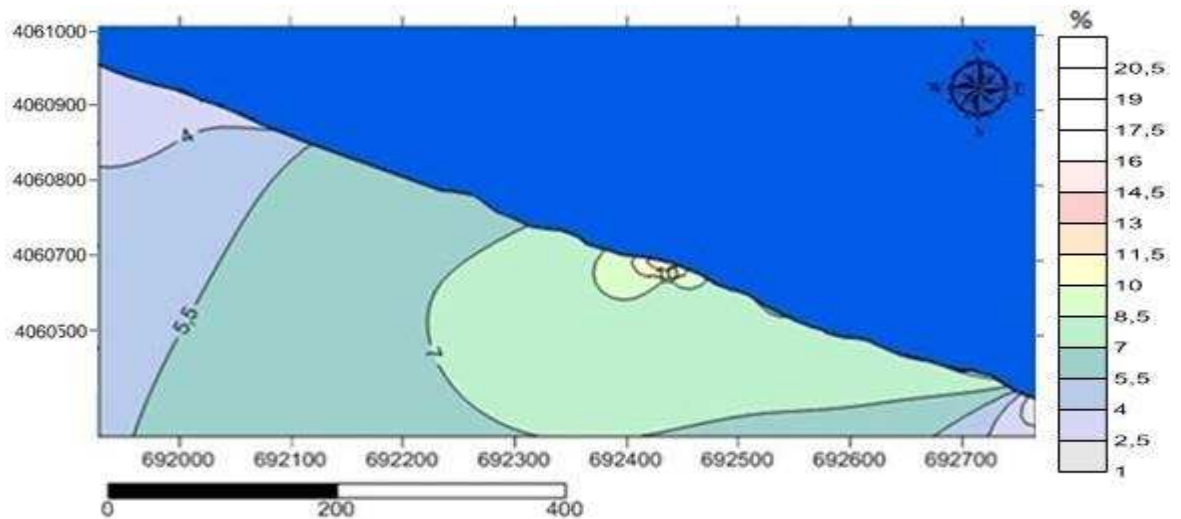


Fig. 42 : Distribution spatiale des taux de  $\text{CaCO}_3$  dans les sédiments sur la plage des Hammadites (Echantillonnage 3).

### Conclusion du chapitre :

Les cartes des pélites obtenues, informent sur de faibles teneurs en fraction fine dans les échantillons récoltés de la plage des Hammadites pendant les sorties.

Les diamètres des sédiments correspondant aux Q25 et Q75, diminuent du rivage vers le haut de la plage, pour les trois sorties.

La répartition de la médiane montre une dominance de sable moyen que pour Juin, Juillet et Août ( $380 \mu\text{m}$ ,  $450 \mu\text{m}$ ) avec une légère diminution, ceci est confirmé par l'analyse modale qui indique la prédominance du stock sédimentaire appartenant au mode  $315 \mu\text{m}$  pour les trois échantillonnages.

Selon les valeurs de  $S_0$  et  $S_k$  les sédiments sont bien triés avec un classement maximum vers les fins qui augmente de Juin à Août.

L'analyse calcimétrique révèle une distribution faible avec une origine des sédiments qui peut être terrigène.

**Chapitre III :**  
**VARIABILITÉ SPATIO-TEMPORELLE**  
**DU TRAIT DE CÔTE**  
**DE LA PLAGE DES HAMMADITES**

## Introduction :

Actuellement, l'Algérie connaît une dégradation importante de la zone littorale sur l'ensemble du territoire national à l'instar de la baie de Béjaia qui connaît une affluence massive des touristes sur les plages Boujiotes.

Cette pression touristique a donné lieu à des infrastructures sur le littoral, comme les hôtels, qui ont contribué à modifier la dynamique naturelle du littoral et produit de graves problèmes d'érosion tout au long de la côte.

La compréhension des processus physiques qui interagissent sur la zone littorale, et les différentes échelles spatio-temporelles correspondantes, assure une protection efficace des plages contre l'érosion marine. Pour améliorer cette compréhension, de nombreuses approches ont été développées, parmi elles, nous abordons celle incluant les SIG (Systèmes d'Information Géographique) et l'Imagerie Satellitaire qui fera l'objet de ce chapitre, où nous allons présenter l'approche des SIG et les résultats obtenus.

### 1. Le tracé du trait de côte actuel :

Le trait de côte est une limite de référence réelle en tant que séparation linéaire entre les domaines terrestre et marin, il est pourtant une notion ambiguë tant le passage de l'un vers l'autre est progressif dans l'espace et mobile dans le temps.

Pour avoir une idée sur la forme du trait de côte actuel de notre zone d'étude, et qui nous sera utile pour comparer et suivre l'évolution historique de ce dernier, nous avons réalisé une sortie sur notre zone d'étude le 04 Mars 2016 équipé d'un théodolite dans le but d'effectuer des levés du trait de côte. Les conditions climatiques étaient stables, une journée ensoleillée d'une température maximale de 20° et un vent qui soufflait à 11 Km/h.

#### 1.1.Présentation du théodolite :

Le théodolite est un instrument de géodésie complété d'un instrument d'optique, mesurant des angles dans les deux plans, horizontal et vertical afin de déterminer une direction. Il est utilisé pour réaliser les mesures d'une triangulation. C'est un instrument essentiel en topographie et en ingénierie.

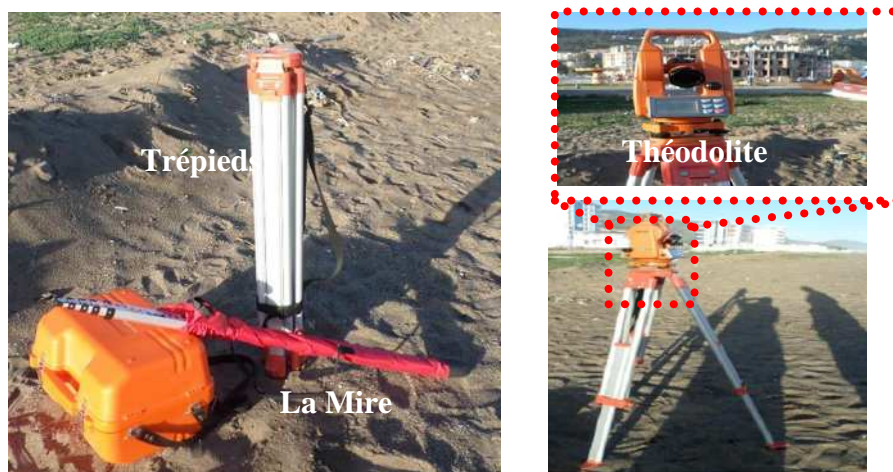


Fig. 43 : Images du théodolite et ses accessoires.

### 1.1.2. Mode opératoire :

Le principe de la méthode consiste à relever la position de l'ensemble des points du trait de côte et de les reporter sur un plan. En premier temps, on procède à la détermination de chaque point du terrain en coordonnées polaires (Distance et angle), ensuite, on effectue le report sur un plan des différents points par une méthode graphique.

Pour atteindre notre objectif, nous avons réalisé ces étapes suivantes :

- Installer le trépied d'une façon que les trois pieds soient enfoncés fermement dans le sol. Ensuite poser l'instrument sur la tête du trépied et serrer la vis centrale ;
- Mettre le théodolite à niveau, en centrant deux bulles d'air ;
- Faire pivoter le théodolite manuellement de sorte que l'objet éloigné soit dans la mire de la lunette (tourner le bouton de mise au point afin que l'objet soit clairement visible) ;
- Noter dans un tableau les valeurs affichées sur l'écran correspondant à l'angle horizontal, vertical et la pente, en ajoutant les valeurs observées sur la mire supérieures et inférieures qui serviront dans le calcul des distances.

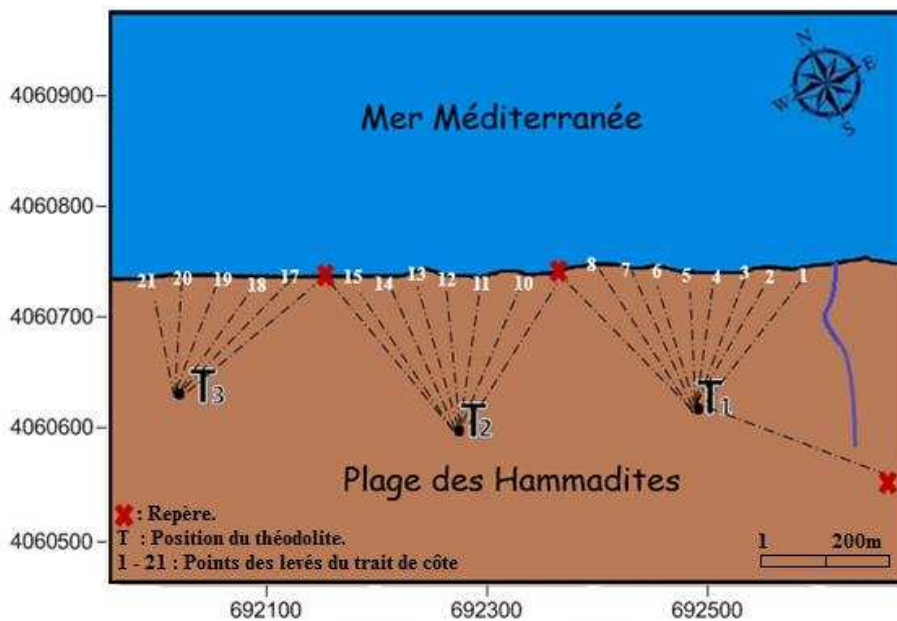


Fig. 44 : Schéma explicatif de la méthode de travail par le théodolite sur la plage des Hammadites.

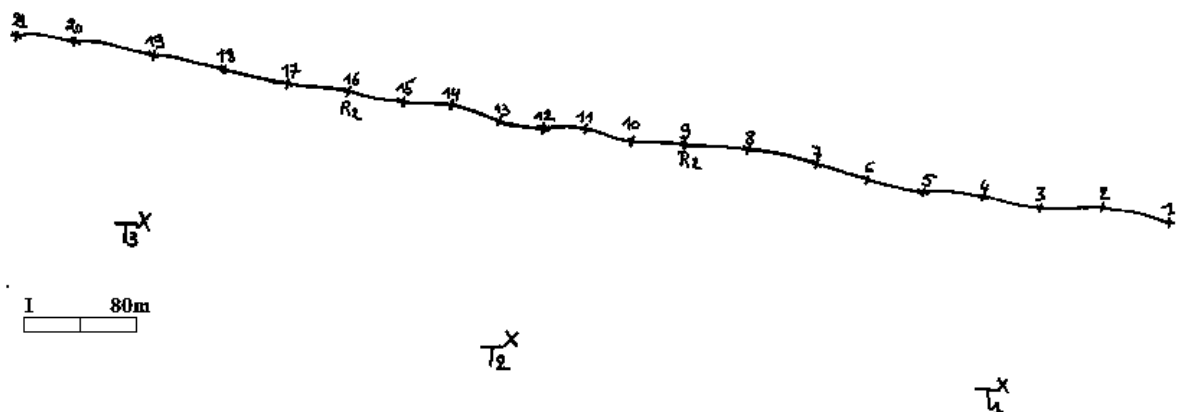


Fig. 45 : Dessin scanné du trait de côte de la plage des Hammadites obtenu par le théodolite.

+R1

## 2. Évolution historique du trait de côte :

### 2.1.Évolution morphologique des systèmes côtiers :

Le comportement morphodynamique d'un système côtier peut être très variable en fonction de l'échelle de temps. A chaque échelle de temps est associée une échelle spatiale en fonction de l'amplitude volumique des changements morphologiques mis en jeu. Dans le cas d'un système côtier, l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales du système et l'échelle temporelle associée peut être supposée (in Aoudj, 2014). Il découle de cette relation une hiérarchisation spatio-temporelle des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière (in Aoudj, 2014).

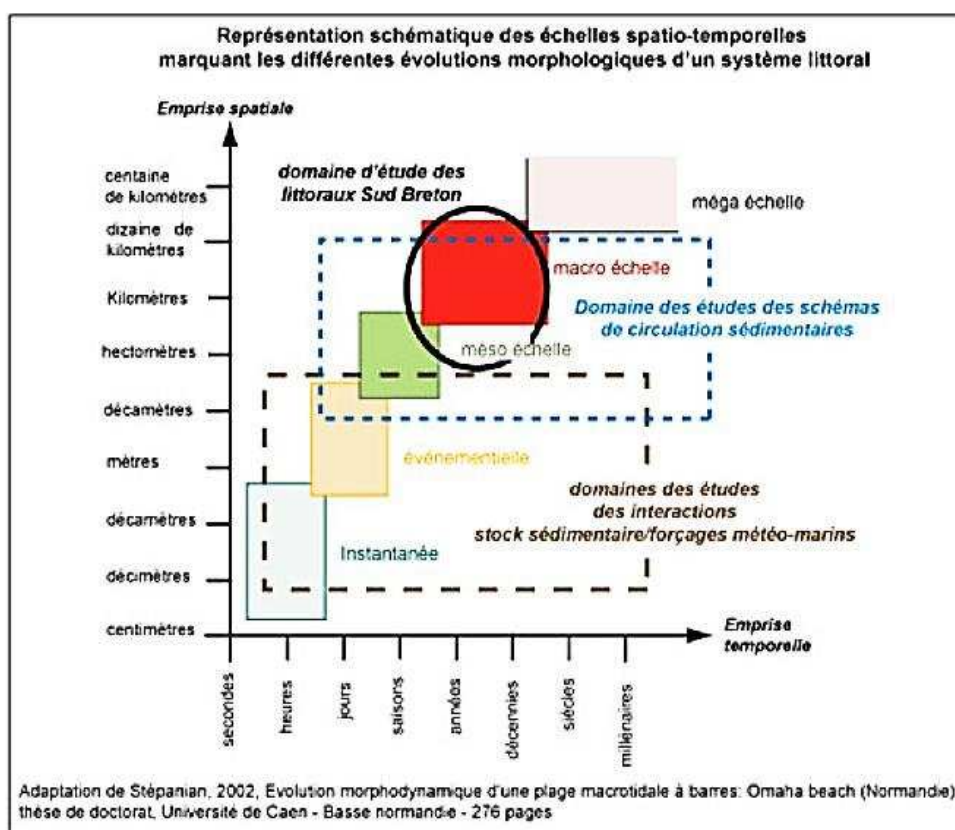


Fig. 46 : Les différentes échelles spatio-temporelles associées à l'analyse en géomorphologie Littorale (d'après les travaux de Cowell et Thom, 1994 in Pian, 2010).

Selon la nomenclature de **De Vriend**, on peut en particulier distinguer les échelles suivantes :

- La micro-échelle ou échelle des processus : Elle concerne les processus physiques constitutifs de la houle, des courants ou du transport sédimentaire, et agissent à une échelle plus courte que celle du comportement morphodynamique correspondant.
- La méso-échelle ou échelle dynamique : Concerne le comportement morphodynamique dû à l'interaction entre les processus physiques et la topographie. Elle permet de dater, entre autre, la propagation de corps sédimentaires ou encore la migration des barres.
- La macro-échelle ou échelle de tendance qui concerne les tendances ayant lieu à une échelle de temps plus longue que celle des comportements morphodynamiques primaires. Ces tendances peuvent être dues aux variations saisonnières de comportement ou à l'évolution progressive de forçages extérieurs (évolution du marnage, élévation du niveau moyen de la mer).

## 2.2. Moyens et procédure :




Afin d'étudier l'évolution du trait de côte de la plage des Hammadites, nous avons utilisé le logiciel ArcGis 10.2.

### 2.2.1. Aperçu du logiciel ArcGis 10.2 :

ArcGis est l'un des logiciels SIG les plus utilisés. Ce logiciel offre de nombreuses potentialités pour la manipulation, la gestion, l'analyse et l'édition des données spatiales.

Nous avons utilisé la version ArcGis 10.2 qui est une version complète de la plateforme ArcGis. Elle intègre des fonctionnalités améliorées, une stabilité accrue et une meilleure prise en charge de la connectivité et la sécurité, elle intègre de nouvelles technologies qui permettent la collecte et le partage de données avec le SIG. Comporte trois plates formes dont nous avons besoin (**Tab.N°06**).

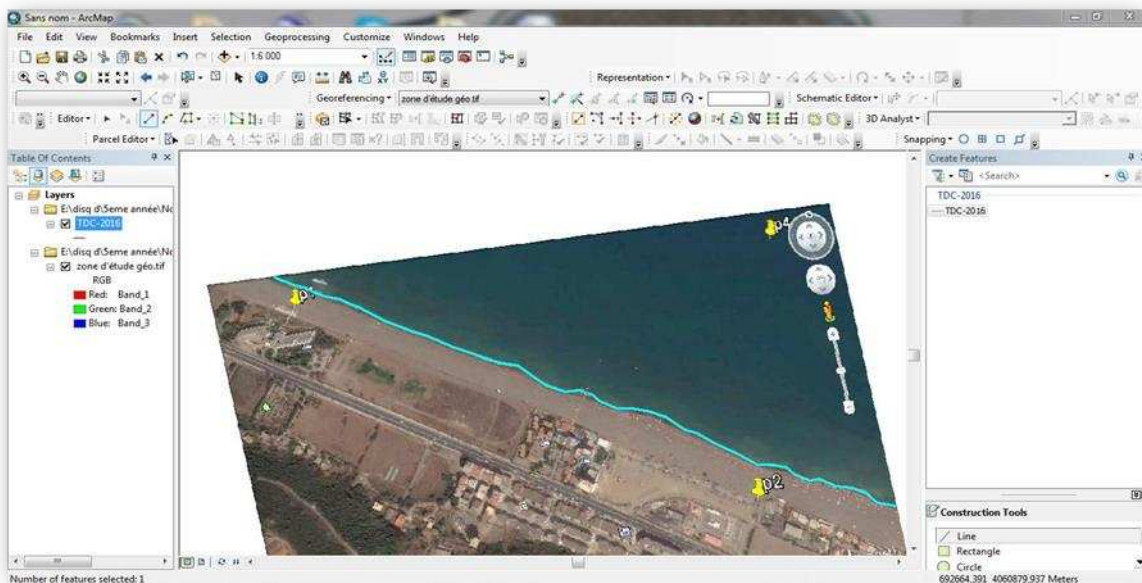
**Tab.N°06** : Les trois composantes d'ArcGis

 <p>ArcMap</p>	<p>ArcMap est l'application principale et de base d'ArcGis, cette application permet d'afficher les jeux de données ensemble à fin de voir les relations géographiques entre eux, de changer la disposition de l'affichage et même d'effectuer un zoom avant pour les examiner de plus près.</p> <p>ArcMap propose deux fonctions : Un plan de travail pour interroger, modifier et combiner des données géographiques ; ainsi qu'un canevas qui permet la mise en page et la composition des cartes à afficher.</p>
 <p>ArcCatalog</p>	<p>ArcCatalog est l'application qui permet de trouver, d'afficher de documenter, d'organiser les données et de gérer des stocks de données, de créer des bases de données géographiques, ainsi que d'enregistrer et de visualiser les métadonnées.</p>
 <p>ArcToolbox</p>	<p>ArcToolbox est utilisé pour la conversion des données et le géo-traitement, permet de définir ou de changer le système de coordonnées d'un jeu de données.</p>

### 2.2.2. Procédure et discussion :

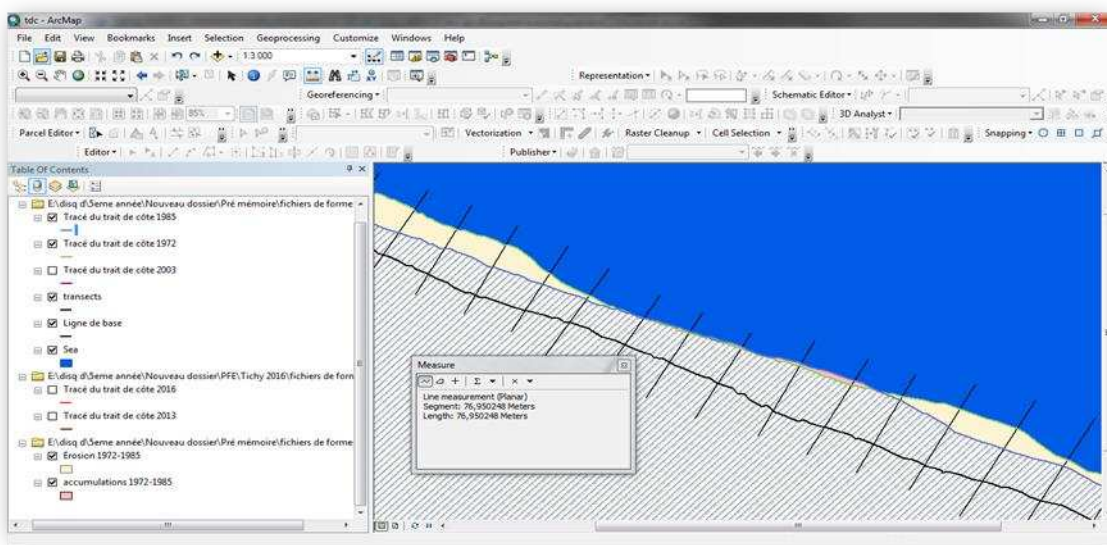
Sous ArcCatalog, nous avons créé quatre (04) couches "leyers" pour chaque année puis, nous les avons géoréférencées sous le système de coordonnées horizontales projeté Nord\_Sahara\_1959\_UTM\_Zone\_31N.

Pour pouvoir digitaliser les traits de côte des quatre cartes (**1972,1985, 2003 et 2013**), nous nous sommes appuyées sur l'utilisation d'ArcMap (**Fig.47**).



**Fig. 47** : Exemple de digitalisation du trait de côte de la plage des Hammadites

Pour obtenir les surfaces d'érosion et d'accumulation, nous avons rajouté des transects de 100m de longueur au nombre de 20, équidistant de 50 m et perpendiculaire à la ligne de base étant parallèle au tracé de 2016 dont la distance entre les deux est de 30m.



**Fig. 48** : Mesure de surface par la règle numérique sous ArcMap 10.2

Une autre couche, sous le nom "évolution.shp", a été créé dans le but de réunir et superposer les tracés des traits de côte issus de la digitalisation deux à deux (**Fig.48**).

A l'aide de la règle numérique, nous avons obtenu les différentes surfaces des polygones, représentant les surfaces d'érosion et d'accumulation, issues lors de la superposition des cinq traits de côte.

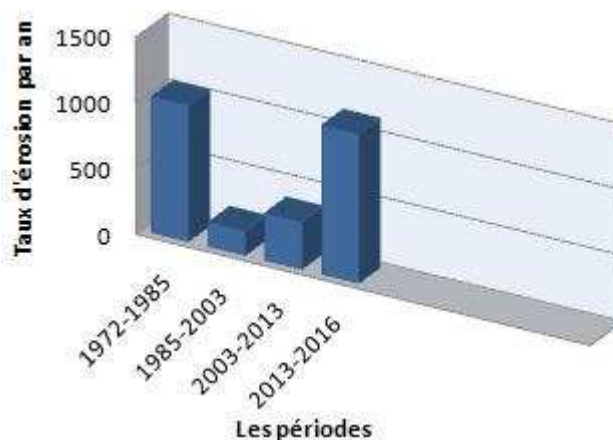
### 2.3. Résultats et discussion :

**Tab N°07** : Bilan des surfaces d'érosion et d'accumulation du trait de côte de la plage des Hammadites entre 1972 et 2016 :

Périodes	Taux d'érosion (m <sup>2</sup> )	Taux d'accrétion (m <sup>2</sup> )	Bilan (m <sup>2</sup> )	Taux moyen annuel (m <sup>2</sup> /an)
1972-1985	14087,01	612,95	(-) 13474,05	(-) 1036,46
1985-2003	4902,79	1566,26	(-) 3336,53	(-) 185,36
2003-2013	5271,48	1657,33	(-) 3614,15	(-) 361,41
2013-2016	4035,93	631,06	(-) 3404,87	(-) 1134,95
1972-2016	28297,23	4467,61	(-) 23829,61	(-) 541,58

D'après le tableau ci-dessus, le bilan général de l'état d'évolution des surfaces est estimé à une perte de 23829,61 m<sup>2</sup> durant une période de 44 ans, soit (-) 541,58m<sup>2</sup>/an.

Les résultats du **Tab. N°07** et de l'histogramme (**Fig.49**) montrent que notre zone d'étude est beaucoup plus marquée par une érosion que par une accumulation.



**Fig. 49** : Histogramme des surfaces d'érosion annuelle (m<sup>2</sup>/an)

L'histogramme des surfaces d'érosion annuelles (**Fig.49**), exprime un taux d'érosion minimum de (-) 185,36 m<sup>2</sup>/an correspondant à la période 1985-2003, les deux périodes 1972-1985 ainsi que 2013-2016 sont les plus marquées par un maximum d'érosion, voire (-) 1036,46 m<sup>2</sup>/an, (-) 1134,95m<sup>2</sup>/an respectivement.

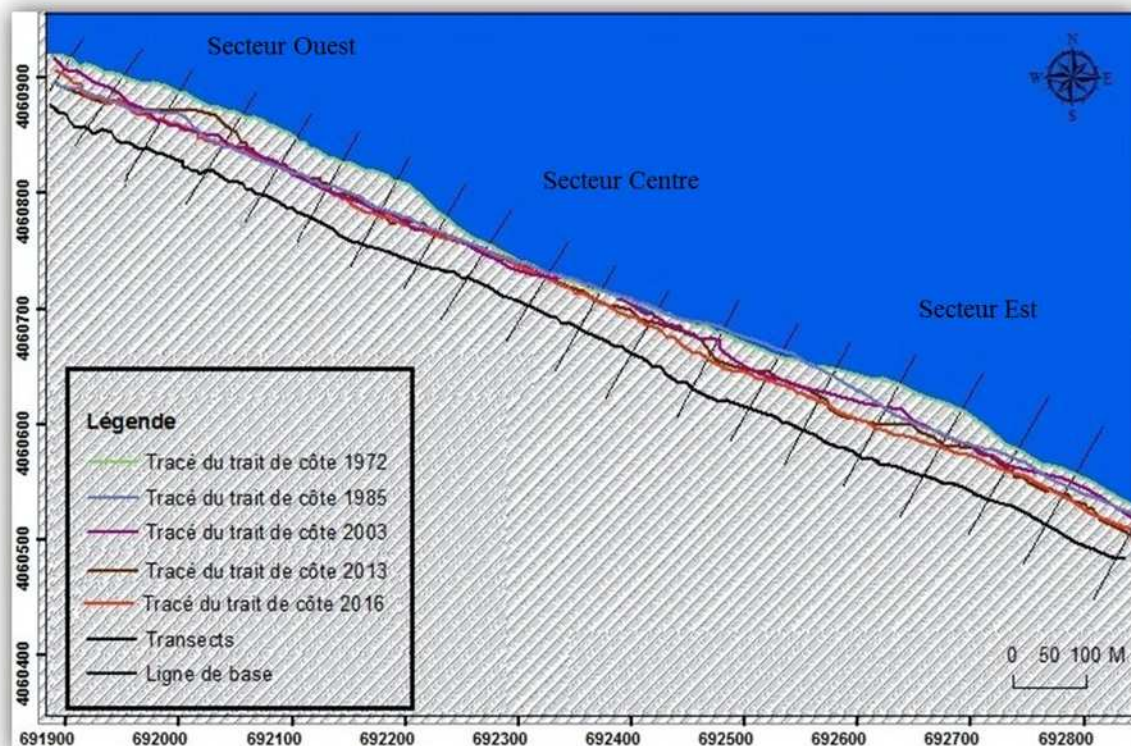


Fig. 50 : Evolution historique du trait de côte de la plage des Hammadites entre 1972 et 2016

La carte de l'évolution historique du trait de côte de la plage des Hammadites montre une récession nettement supérieure par rapport à l'accrétion durant une période de 44 ans à l'exception de quelques endroits de la zone d'étude d'une période à une autre.

- **La période 1972-1985 :**

Durant cette période de 13 ans, le secteur Ouest et le secteur Centre ont connu plus d'érosion, avec un recul du trait de côte estimé en moyenne environ 2 m/ an, par rapport au secteur Est.

- **La période 1985-2003 :**

Durant cette période de 18 ans, l'érosion a été le plus marquée au niveau du secteur Centre avec un recul du trait de côte qui est estimé à environ 0.49 m /an, contrairement au secteur Ouest et Est, avec un recul moyen du trait de côte à environ 0.33 m/an et 0,26 m/an respectivement.

- **La période 2003-2013 :**

De 2003 jusqu'à 2013, la zone d'étude a connu une érosion nettement supérieure à l'accrétion, et ce surtout dans le secteur Ouest où le recul est estimé en moyenne à environ 1m/an.

- **La période 2013-2016 :**

Nous avons constaté que cette période a marqué notre zone d'étude par un important recul du trait de côte au niveau du secteur Ouest et Est, où il a été estimé en moyenne à environ 2,8 m/an, contrairement au secteur Centre qui a connu un engraissement.

**Conclusion du chapitre :**

L'utilisation du théodolite dans notre zone d'étude, nous a permis de tracer son trait de côte de l'année 2016, et cela en s'appuyant sur les données fournies par cet instrument de mesure.

Ce trait de côte obtenu, nous a servi dans l'étude de l'évolution historique du trait de côte de la plage des Hammadites durant 44 ans, et cela par la superposition des différents tracés correspondant respectivement aux années 1972, 1985, 2003 et 2013 avec celui-ci.

La carte de l'évolution historique du trait de côte de la plage des Hammadites, nous montre une récession clairement supérieure à l'accrétion, au niveau de la zone d'étude pendant une période de 44ans.

**Chapitre IV :**  
**ÉTUDES OFFSHORE**  
**DE LA PLAGES DES HAMMADITES**

## Introduction :

La morphologie des fonds marins est soumise à l'action des facteurs hydrodynamiques qui entraînent des modifications dans l'ensemble du système littoral sableux.

L'étude bathy-sédimentaire présentée dans ce chapitre assure d'une part, la description du relief et de la morphologie des fonds marins, et l'établissement de la carte bathymétrique de notre zone d'étude. D'autre part, la connaissance de la qualité du sédiment de la zone d'étude selon une analyse sédimentologique.

Une étude de la dynamique sédimentaire par le modèle GSTA, et une autre de la réfraction de la houle à l'aide du modèle SWAN sont présentées aussi dans ce présent chapitre, qui nous permettront de connaître la direction de la trajectoire menée par les sédiments ainsi, que la direction de houle qui influe le plus sur le trait de côte.

### 1. Étude bathymétrique :

#### 1.1. Levé bathymétrique :

Un levé bathymétrique est un levé hydrographique qui mesure la profondeur de l'eau et détermine la forme des fonds marins.

Dans le but, de réaliser un levé bathymétrique de notre zone d'étude, nous avons réalisé une sortie en mer le 09 Novembre 2015, à bord de la pilotine Bugia de type Marine Alutech, qui nous a été emprunté par l'Entreprise Portuaire de Béjaia (EPB). L'embarcation était munie d'un échosondeur de la marque Furono et d'un GPS.



Fig. 51 : Radar et Echosondeur de type Furono de la pilotine Bugia.

Lors de notre sortie, nous avons accompagné en rade un expert de marchandises qui arrivent de l'étranger à l'intérieur de grands navires. Ces derniers attendent en rade le feu vert des autorités afin d'amarrer dans le port de Béjaia et décharger leurs marchandises.

La sortie s'était déroulée la matinée, de 10h à 12h. Les conditions climatiques étaient favorables, une journée ensoleillée, la mer peu agitée et le vent soufflait avec une vitesse de 20 Km/h, de direction Sud-Ouest.

## 1.2. La carte bathymétrique :

La carte bathymétrique est une carte topographique du fond d'un cours d'eau qui présente les profondeurs par des courbes de niveau, autrement dit, elle constitue un document de base pour la reconnaissance de la morphologie sous-marine.

La profondeur maximale de la baie de Béjaia est d'environ 1000 m. Elle se singularise par un plateau peu étendu d'une largeur moyenne de 1.5 km et un glacis continental festonné par d'imposantes criques (Aokas, Béni Segual) d'où partent des vallées sous-marines (**Aoudj et Bouaziz, 2014**).

Les résultats obtenus lors de notre levé bathymétrique, nous ont permis de réaliser une carte bathymétrique de notre zone d'étude à l'aide du logiciel Surfer.

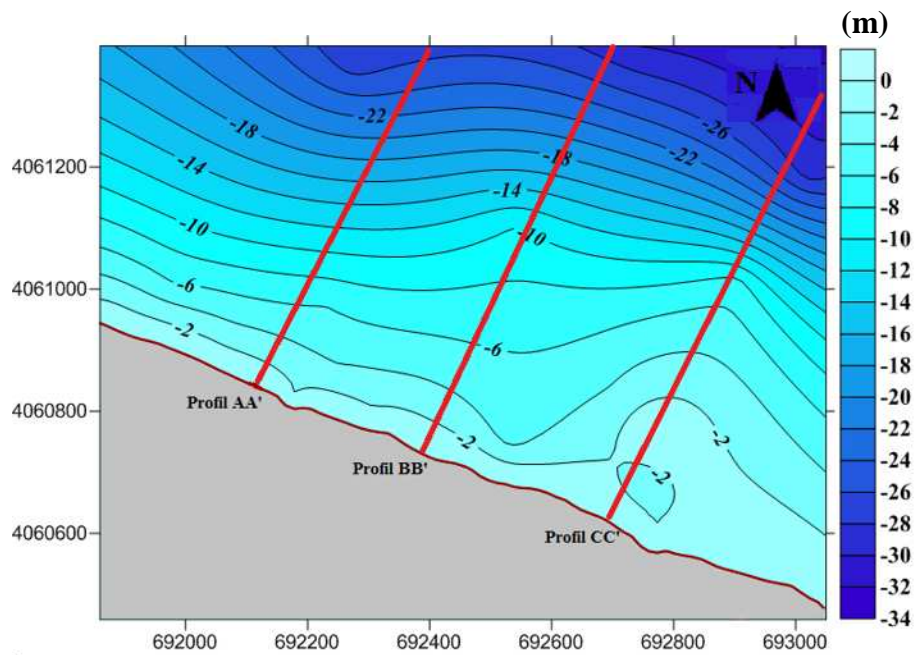


Fig. 52 : Carte bathymétrique de la plage des Hammadites 2016.

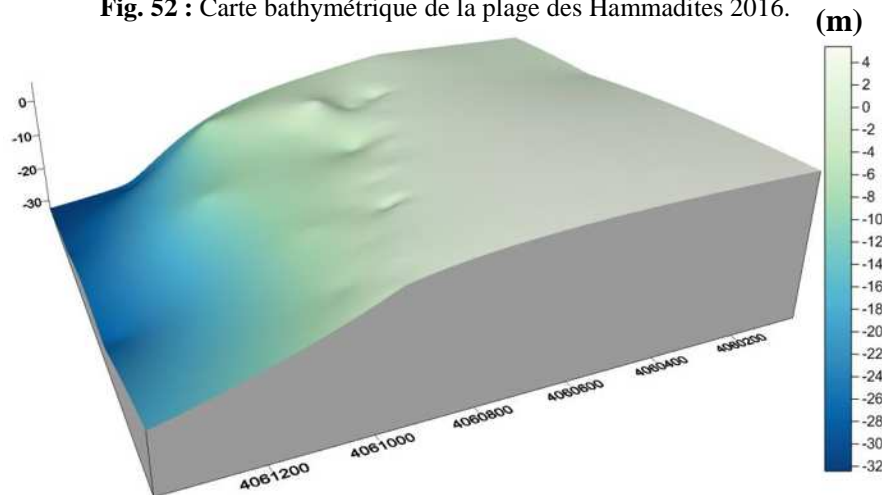


Fig. 53 : Carte bathymétrique de la plage des Hammadites en 3D 2016.

En général, la carte bathymétrique de notre zone d'étude montre des courbes de niveau plus ou moins régulières et parallèles à la côte. Les isobathes tout au long de la côte sont espacées, en particulier le côté Est, où nous apercevons une présence de formes d'accumulation de sable sous-marine. Cette répartition des isobathes indique que la pente de notre zone d'étude est légèrement douce.

### 1.3. Réalisation des profils topographiques :

le profil topographique est une section par un plan vertical de la surface topographique, ce profil doit rendre compte des formes du relief. Nous avons tracé trois profils perpendiculaires à la côte AA', BB' et CC' dans le but de connaître les différentes formes du relief sous-marin qui caractérisent la zone.

#### ➤ Profil AA' :

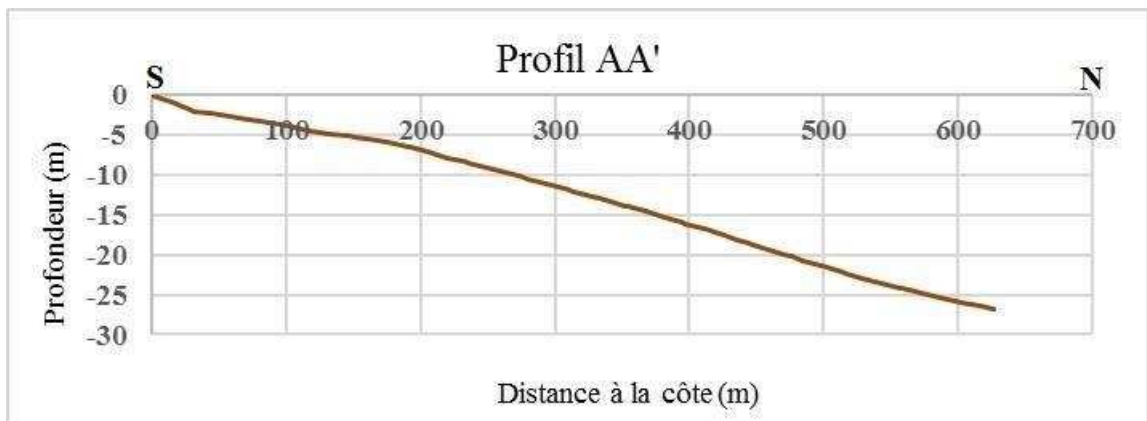


Fig. 54 : Profil bathymétrique AA'.

#### ➤ Profil BB' :

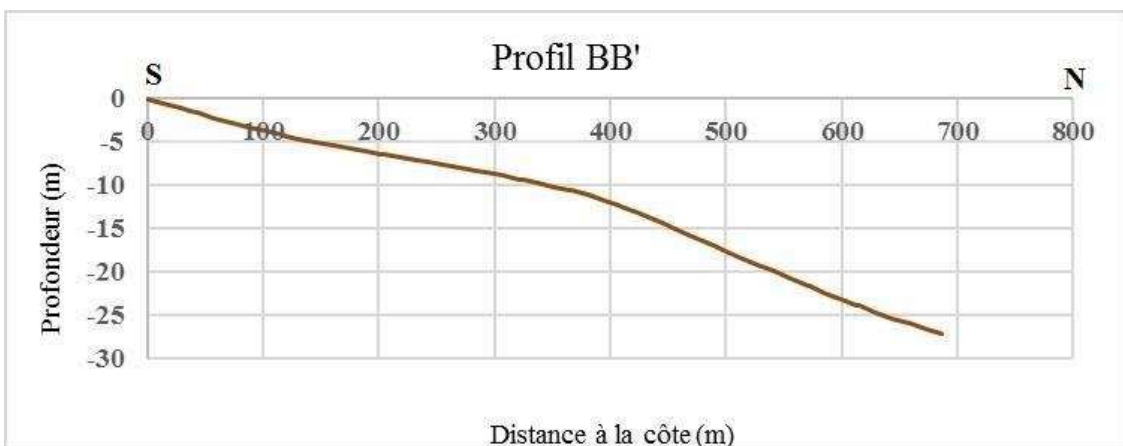


Fig. 55 : Profil bathymétrique BB'.

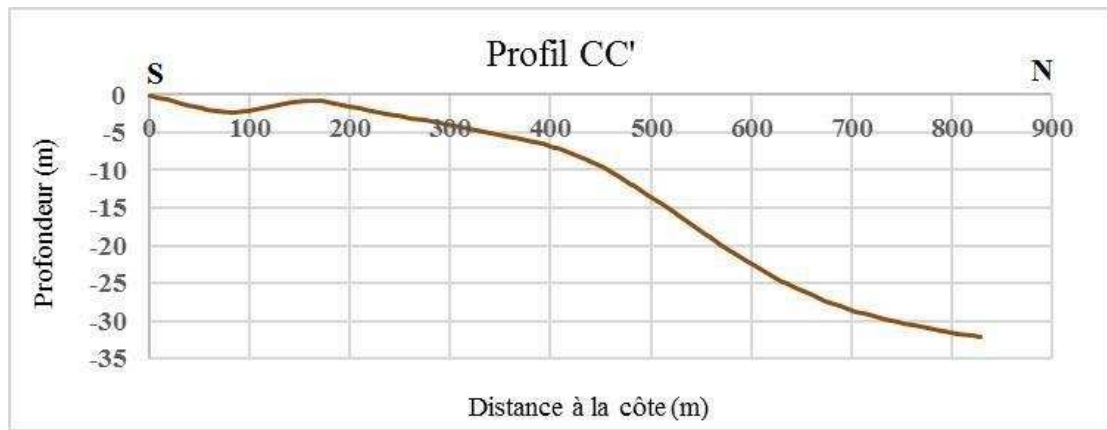
➤ **Profil CC' :**

Fig. 56 : Profil bathymétrique CC'.

**Interprétation des profils :****Profil AA' :**

Le profil AA' présente un tracé linéaire et régulier qui descend en pente douce jusqu'à -25 m. Il nous indique aussi, la présence d'une micro-fosse qui n'est pas significative et n'a aucune influence.

**Profil BB' :**

Le tracé du profil BB', présente deux phases, l'une se manifeste en pente douce jusqu'à environ -12 m. La seconde est marquée par une pente raide et régulière atteignant presque -30 m sur une longueur de 700 m.

**Profil CC' :**

Ce dernier, montre la présence d'une morphologie sous-marine correspondant à une fosse et une barre distante du rivage entre 100 à 200 m. La pente est légèrement abrupte devant le rivage. À partir de la barre à environ 200 m, la pente redescend en pente douce jusqu'à -9 m puis elle devient pente raide pour atteindre -30 m.

**2. Étude sédimentologique :**

D'après **Leclaire (1972)**, la couverture sédimentaire dans la baie de Béjaia est de nature essentiellement siliceuse et argileuse.

La distribution des sédiments est fonction de la bathymétrie. En outre, elle est caractérisée par trois principaux types de faciès :

- Sables et sablons siliceux rencontrés aux faibles profondeurs (0 – 20 m) et ce à partir de la ville de Béjaia jusqu'à la rive Est de l'oued Agrioun, de plus une extension vers le large (40 m) de ce faciès est observé particulièrement entre les embouchures des oueds Soummam et Djemââ.
- Le faciès de boues silico-argileuses est au niveau de toute la baie, dominant entre 40 et 80 m de profondeur ;

- À partir de 100 m de profondeur et plus les boues silico-argileuses et argilo-siliceuses sont retrouvées.

## 2.1. Répartition spatiale des dépôts sédimentaires :

Dans le but de connaître la nature et la répartition des sédiments sous-marins qui caractérisent notre zone d'étude, nous avons récolté quinze (15) échantillons choisis aléatoirement lors de notre sortie en mer en utilisant une benne preneuse de type « Van Veen » à différentes profondeurs, la profondeur maximale était de 21 m. Ensuite, les échantillons obtenus ont été destinés à une analyse granulométrique au laboratoire suivant les mêmes étapes citées précédemment dans le chapitre II.



Fig. 57 : La benne Van Veen.

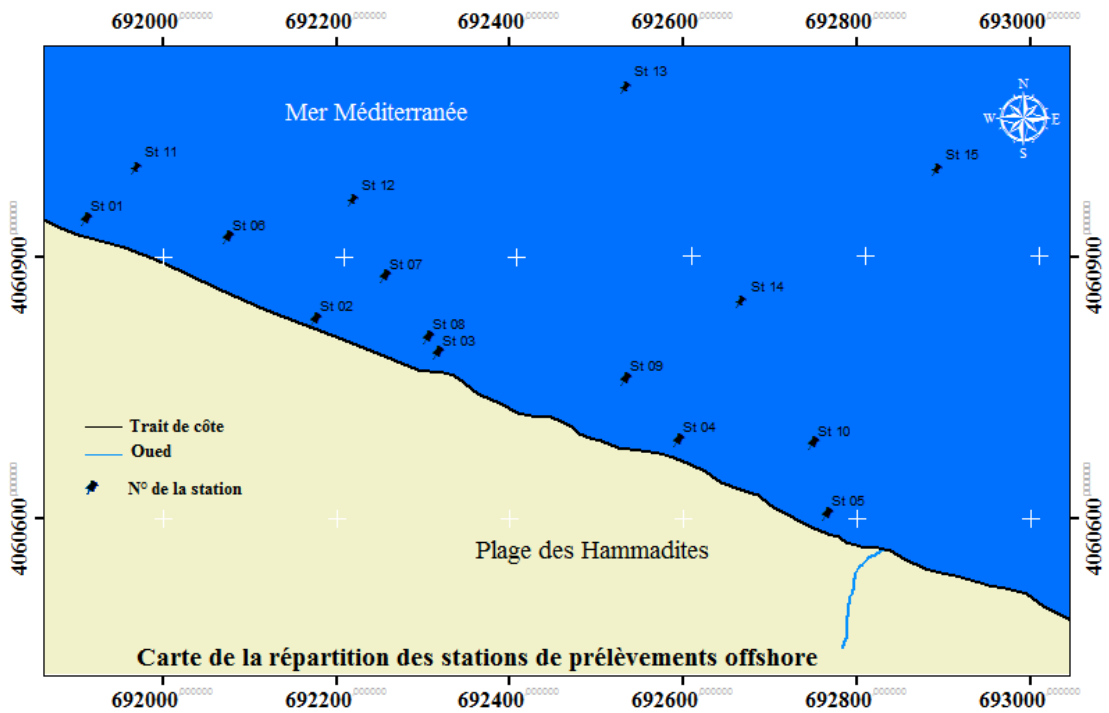


Fig. 58 : Répartition des stations de prélèvements offshore.

## 2.2. Résultats de l'analyse sédimentologique :

### 2.2.1. Les quantiles :

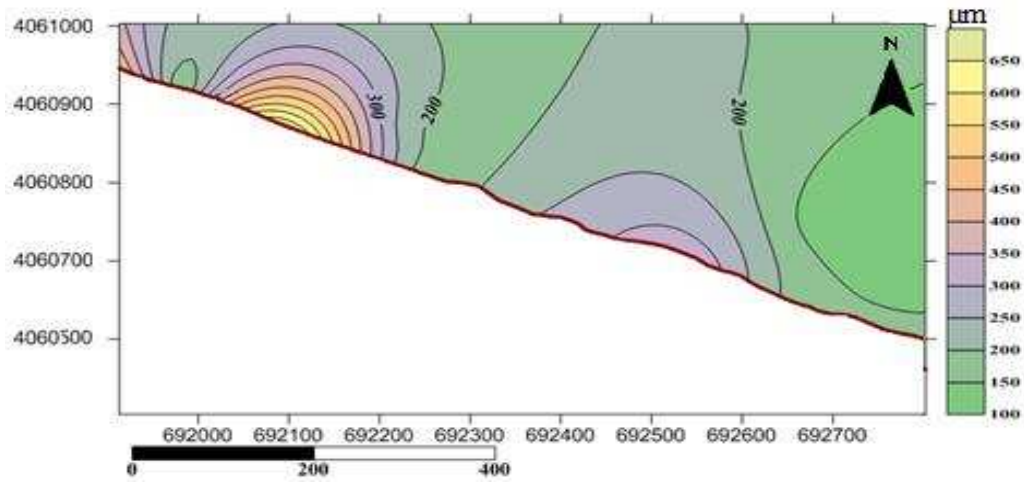


Fig.59 : Répartition du Q25 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites.

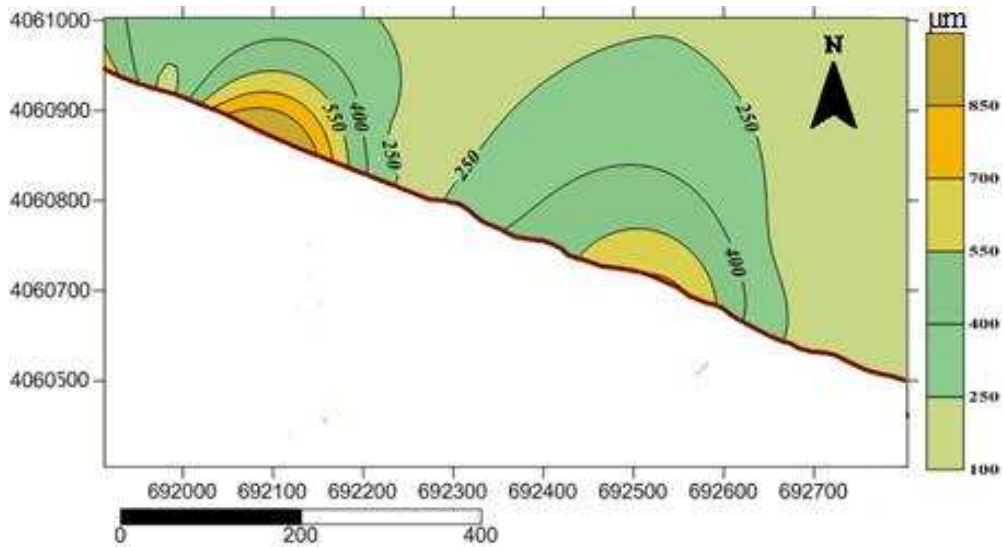


Fig.60 : Répartition de la médiane Q50 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites.

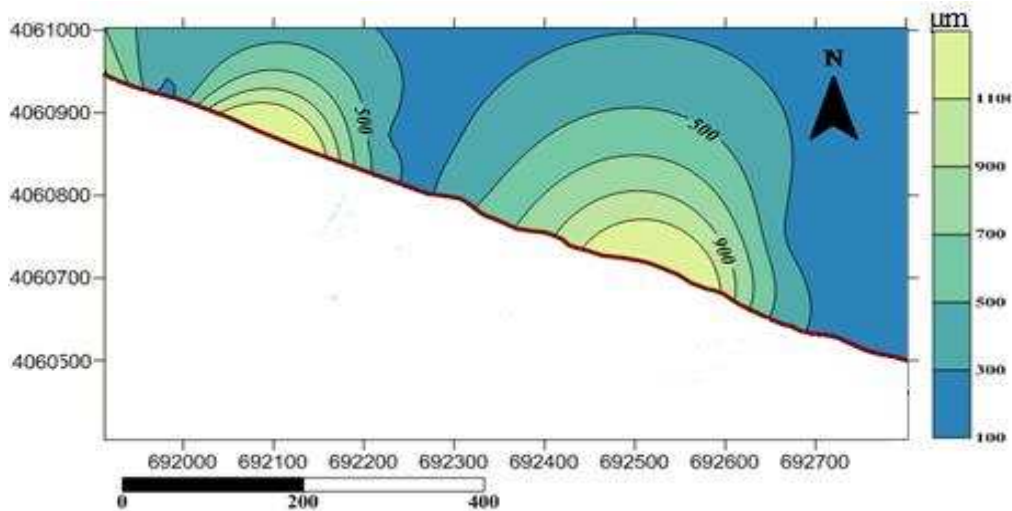


Fig.61 : Répartition du Q75 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites.

- **Interprétation des quartiles :**

Les cartes des quartiles inférieur et supérieur ; Q25 et Q75 respectivement montrent une décroissance des diamètres de la côte vers le large. Le diamètre correspondant à 75% atteint 1100  $\mu\text{m}$  à la côte, et celui à l'ordonné 25%, n'atteint que 650  $\mu\text{m}$ .

D'autre part, la répartition de la médiane présente aussi une diminution de la taille du grain moyen de la côte vers le large en partant de 550 à 100  $\mu\text{m}$  environ donc du moyen vers le fin.

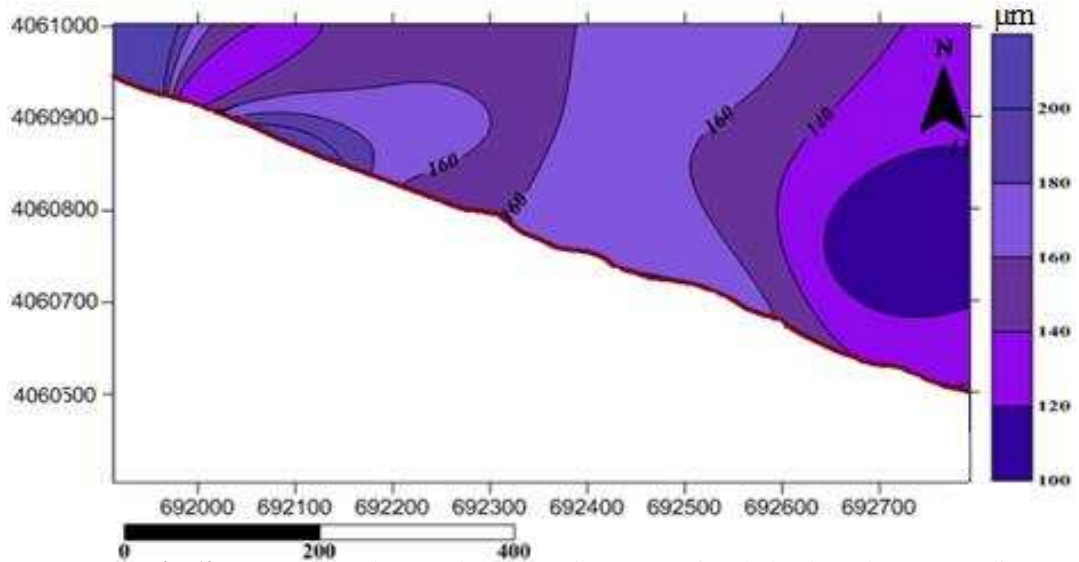


Fig.62 : Répartition du D10 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites.

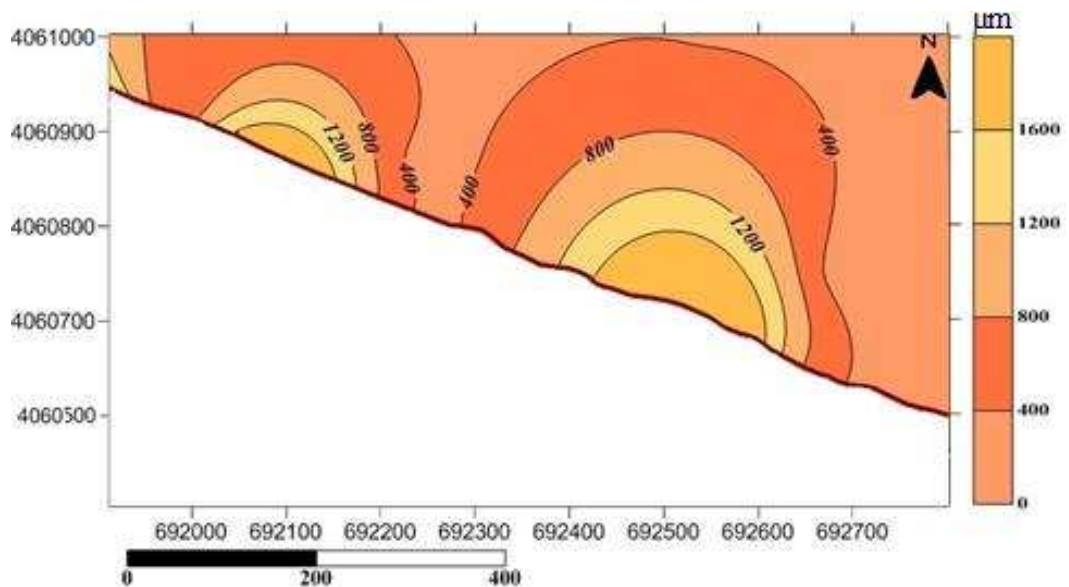


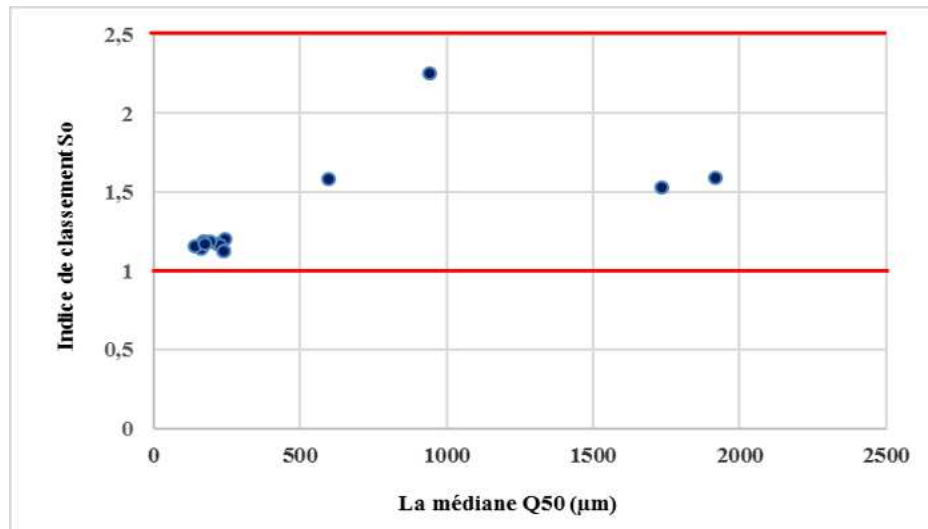
Fig.63 : Répartition du D90 dans la partie sous-marine de la plage des Hammadites.

- **Intérprétation des déciles :**

Les cartes de la répartition du décile inférieur et supérieur montrent une évolution décroissante de la côte vers le large, où les diamètres des sédiments à l'ordonné 10 % peuvent atteindre les 200  $\mu\text{m}$  près du rivage et à l'ordonné 90 % peuvent atteindre les 1200  $\mu\text{m}$ .

### 2.2.2. Les indices granulométriques :

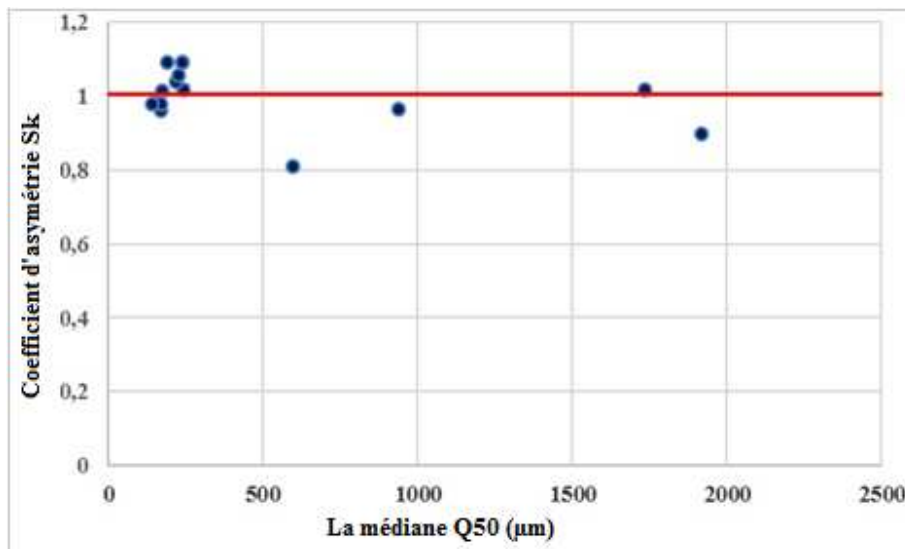
- **Indice de classement,  $S_o$  :**



**Fig.64 :** Relation entre l'indice de classement et le grain moyen de la partie sous-marine de la plage des Hammadites

L'indice de classement qui correspond aux échantillons sous-marins porte des valeurs comprises entre 1 et 2,5. Ces dernières nous apprennent que les sédiments sous-marins sont bien classés.

- **Le coefficient d'asymétrie :**



**Fig.65 :** Relation entre le coefficient d'asymétrie et le grain moyen de la partie sous-marine de la plage des Hammadites

Concernant le coefficient de classement dont les valeurs sont autour de 1, plus de la moitié des échantillons sous-marins présentent des valeurs supérieures à 1 à l'exception de quelques échantillons dont les valeurs de  $S_k$  sont inférieures à 1. Cette répartition du coefficient d'asymétrie et sa relation avec la médiane indique un classement maximum des sédiments vers le grossier.

### 3. Etude de la dynamique sédimentaire de la plage des Hammadites à l'aide du modèle Mc Laren / Gao et Collins :

La détermination de la direction des sédiments dans la partie marine de notre zone d'étude (jusqu'à-10 m de profondeur), va permettre d'expliquer la variation de la texture ou la morphologie de la plage qui est exprimée par un recul du trait de côte, cette étude va donc confirmer le phénomène observé dans la zone d'étude.

#### 3.1. Principe du modèle :

Ce modèle est basé sur le fait que la distribution spatiale des paramètres granulométriques d'un sédiment est en variation le long de son trajet jusqu'à son dépôt, dépendant de la dynamique hydro-sédimentaire (érosion, transport et dépôt). Et l'évolution de la taille moyenne ( $Mz$ ), du tri ( $S_0$ ) et de la symétrie de la distribution sédimentaire ( $Sk$ ) peut décrire les directions privilégiées du transport sédimentaire.

Par comparaison de (3) paramètres, 23 cas possibles peuvent apparaître entre un échantillon et son voisin, reconnu par le modèle de Gao et Collins (1992).

$$1 \ Mz_1 \geq Mz_2; S_{o1} \geq S_{o2}; Sk_1 \leq Sk_2$$

$$2 \ Mz_1 \leq Mz_2; S_{o1} \geq S_{o2}; Sk_1 \geq Sk_2$$

$$3 \ Mz_1 \geq Mz_2; S_{o1} \geq S_{o2}; Sk_1 \geq Sk_2$$

$$4 \ Mz_1 \leq Mz_2; S_{o1} \geq S_{o2}; Sk_1 \leq Sk_2$$

$$5 \ Mz_1 \geq Mz_2; S_{o1} \leq S_{o2}; Sk_1 \leq Sk_2$$

$$6 \ Mz_1 \leq Mz_2; S_{o1} \leq S_{o2}; Sk_1 \geq Sk_2$$

$$7 \ Mz_1 \geq Mz_2; S_{o1} \leq S_{o2}; Sk_1 \geq Sk_2$$

$$8 \ Mz_1 \leq Mz_2; S_{o1} \leq S_{o2}; Sk_1 \leq Sk_2$$

- Procéder à la comparaison des paramètres texturaux pour déterminer dans quel cas

Cas 1 :  $Mz_2 > Mz_1, S_{i2} < S_{i1}, Sk_2 < Sk_1$   
 Cas 2 :  $Mz_2 < Mz_1, S_{i2} < S_{i1}, Sk_2 > Sk_1$

Il y a un mouvement potentiel du sédiment entre les deux stations

Dans les deux cas le tri s'améliore dans la direction du transport.

Quant aux autres types : 3, 4, 5, 6, 7 et 8 : Le sédiment n'est pas en mouvement.

- Choisir la distance critique ( $D_{cr}$ ) :

La distance critique notée  $D_{cr}$  est définie comme étant la distance séparant une station de sa voisine, ou bien c'est la distance en deçà de laquelle tout échantillon est compris dans ce périmètre. Le choix de la  $D_{cr}$  se base sur le principe que chaque échantillon doit avoir plusieurs voisins, et qu'il n'y ait pas d'échantillon se trouvant en dehors de ce périmètre.

Le sens du transport sédimentaire est déterminé par le tri, les sédiments se déplacent vers la station où le tri est meilleur, c'est-à-dire le tri le plus faible.

- L'étape suivante consiste à tracer les vecteurs de transport et faire une somme vectorielle.

## 3.2. Procédure analytique :

L'application du GSTA (Grain Size Trend Analysis) passe par plusieurs étapes :

### 3.2.1. Préparation des données d'entrée :

La grille d'entrée est formée de 6 colonnes : (Fig.66)

	A	B	C	D	E	F	G
1	15		150				
2	1	691913	4060943	1,9105	1,53258501	1,01817707	
3	2	692177	4060828	0,161	1,14017543	0,98298677	
4	3	692318	4060789	0,2505	1,20659950	1,01766998	
5	4	692595	4060689	0,226	1,17428590	1,03792665	
6	5	692766	4060604	0,236	1,16619038	1,05571620	
7	6	692076	4060922	2,015	1,59219588	0,89651687	
8	7	692249	4060877	0,169	1,18923745	0,95916955	
9	8	692306	4060807	0,593	1,58067235	0,81105289	
10	9	692534	4060759	1,2445	2,25512185	0,96278859	
11	10	692750	4060685	0,2025	1,18773494	1,09141745	
12	11	691979	4061010	0,1705	1,18381099	0,97778547	
13	12	692228	4060973	0,2525	1,12905924	1,09072917	
14	13	692542	4061103	0,2525	1,12905924	1,09072917	
15	14	692684	4060851	0,14	1,15470054	0,97959184	
16	15	692901	4061008	0,1785	1,17473401	1,01387755	

Fig. 66 : La grille d'entrée dans le model GSTA.

- Sur la première colonne (A), on porte les numéros des stations de prélèvement, où leur nombre total est reporté sur la première case.

- Les deux colonnes qui suivent (B et C), contiennent les coordonnées géographiques des stations. Et sur la première case de chaque colonne, est porté, un coefficient qui dépend du type de coordonnées choisies, dans le cas des coordonnées métriques on prend le numéro 1. Dans la seconde case, se trouve la distance critique ( $D_{cr}$ ).

-Enfin, pour les colonnes D, E et F, on porte les indices granulométriques pour chaque station,  $M_z$ ,  $S_0$  et  $S_k$  (avec l'échelle de phi).

-Détermination des paramètres granulométriques pour chaque station :  $M_z$ ,  $S_0$  et  $S_k$  (avec l'échelle des Phi)

### 3.2.2. Application du GSTA :

Nous introduisons le fichier input, comportant le nombre des stations, les coordonnées géographiques de chacune et les trois indices granulométriques, sachant que ce fichier est sous format (\*.dat) obtenu par le logiciel Surfer. Après nous obtenons un fichier output (\*.dat) qui contient les coordonnées des stations avec les directions du transport sédimentaire.

### 3.2.3. Exploitation des données de sortie :

Les résultats doivent être traités par Excel, puis exploités avec le logiciel Surfer, à l'aide de la fonction Vecteur map, qui permet d'établir une carte des vecteurs modélisant le transport sédimentaire.

### 3.3. Le Résultat obtenu :

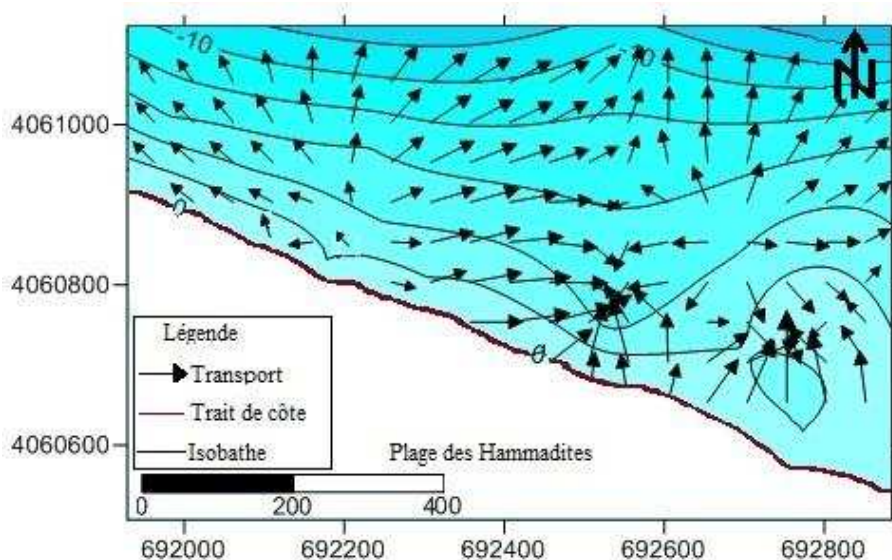


Fig. 67: Modélisation du transport sédimentaire dans la partie marine de la plage des Hammadites, avec le Model GSTA.

- **Interprétation du résultat :**

On remarque bien sur la carte (Fig.67) que le transport sédimentaire dans l'ensemble s'effectue vers le large, ceci renseigne sur une perte des sédiments dans tous les sens de la plage des Hammadites ce qui confirme le résultat obtenu dans le chapitre « Variabilité spatio-temporelle du trait de côte de la plage des Hammadites » où nous avons eu un recul du trait de côte.

## 4. Étude de la réfraction de la houle à l'aide du model SWAN :

### 4.1.Application du modèle SWAN :

Nous avons suggéré pour notre application les directions: Nord (360°), Nord-Est (45°) et Nord-Ouest (315°), avec des périodes de houles 6s et 8s.

#### 4.1.1. Description du modèle SWAN :

SWAN (Simulating WAVes Nearshore) est un modèle d'onde numérique à 2D permettant d'estimer l'agitation des vagues à la côte tout en introduisant les différents paramètres qui agissent sur le site d'étude à savoir la direction du vent, la houle, la période...etc.

Le modèle est basé sur une équation dite WABE : "l'équation de balance d'action des vagues", défini par (Stiveet al, 2006 in Aoudj, 2014) comme suit ;

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$

Où :

$N(\sigma, \theta)$  = densité de l'action des vagues /  $T$  = temps [s] /  $x$  = distance dans la direction  $x$  [m] /  $y$  = distance dans la direction  $y$  [m] /  $\sigma$  = fréquence relative [Hz] comme on l'observe dans un cadre de référence se déplaçant avec la vitesse du courant

$\theta$  = direction de la vague [degrés]

$c_x, y, \sigma, \theta$  = vitesses de propagations [m / s] pour respectivement  $x, y, \sigma$  et  $\theta$

$S$  = source / puits terme en termes de densité d'énergie (Génération par le vent, dissipation et non-linéaire onde interactions)

La densité de l'action  $N(\sigma, \theta)$  est égale à la densité d'énergie divisée par la fréquence relative:  $N(\sigma, \theta) = E(\sigma, \theta) / \sigma$ .

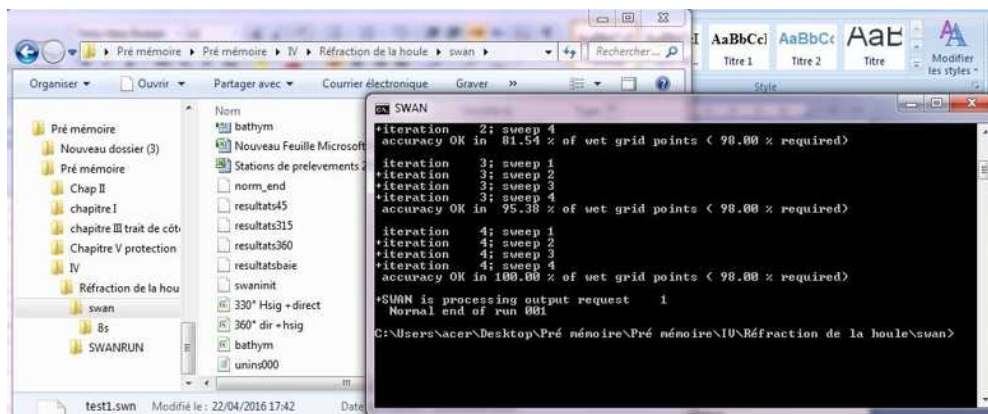
Le premier terme de l'équation représente le taux de variation locale de la densité avec le temps, le deuxième et le troisième terme représentent la surfabilité d'un ASR dans les propagations des vagues irrégulières de la densité dans l'espace d'action. Le quatrième terme représente le décalage de la fréquence relative dû aux variations de la profondeur et les courants. Le cinquième terme représente le courant induit par la profondeur ainsi que la réfraction. Les expressions  $c_x, y, \sigma, \theta$  sont prises de la théorie de l'onde linéaire.

## 4.2. Les étapes à suivre :

Pour commencer, le modèle exige un fichier d'entrée SWAN sous le nom de "test1" comprenant en plus de l'algorithme, les données de bases qui sont : La délimitation de la zone d'étude (coordonnées géographiques en UTM), la hauteur de la houle, l'angle du vent et la période.

En ouvrant l'application "SWAN", nous insérons : Le chemin d'accès vers le fichier texte (test1);

Après nous insérons "swanrun test1" (**Fig. 68**), des itérations vont se faire dont l'objectif est d'avoir à la fin un fichier texte comportant les résultats que nous pouvons ouvrir par Excel pour choisir les deux paramètres ; Direction de propagation des vagues et la hauteur significative de chaque station.



**Fig. 68 :** Les itérations faites par le model SWAN

### 4.3. Compilation des GRID et cartographies :

#### ▪ Aperçu du logiciel Surfer 11 :

Le logiciel "Surfer 11", permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières des points X, Y, Z, afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes : base map, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres...

À l'aide du logiciel "Surfer 11", nous avons créé les couches suivantes : La bathymétrie, la houle significative et la direction de propagation des vagues.

Après la superposition de ces grilles nous passons au traitement, par le logiciel surfer afin d'obtenir les cartes suivantes :

#### 4.3.1. Houles de période de 6 secondes :

#### ▪ Houles de direction Nord-Ouest (315°) :

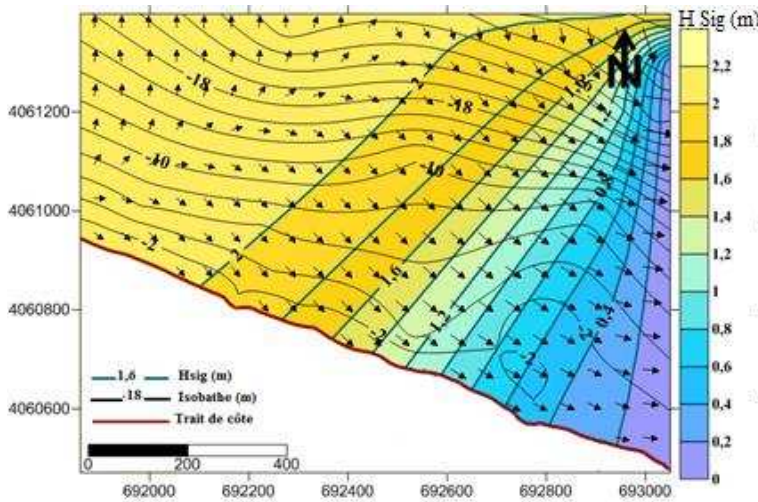


Fig. 69 : Houles significatives du Nord –Ouest (315°) avec une période de 6s.

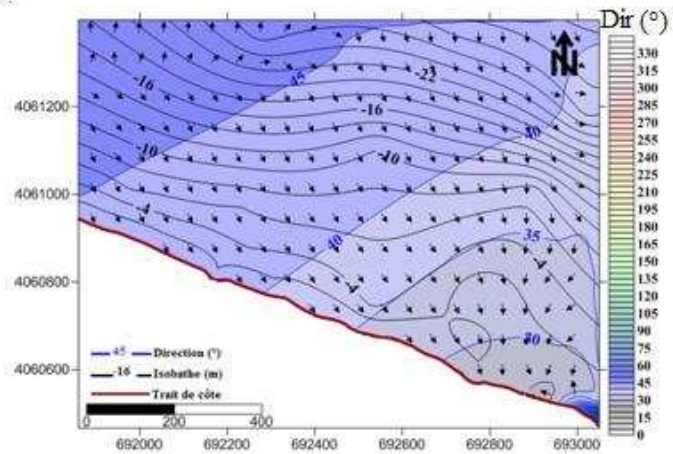


Fig. 70 : Propagation des houles de direction Nord –Ouest (315°).

#### ▪ Houles de direction Nord-Est (45°) :

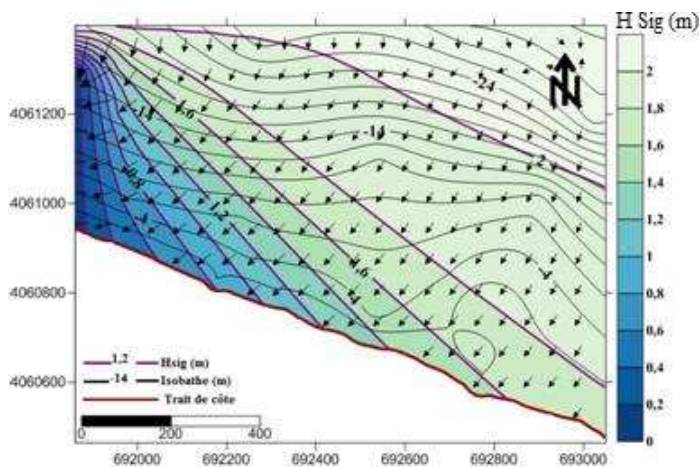


Fig. 71 : Houles significatives du Nord –Est (45°) avec une période de 6s.

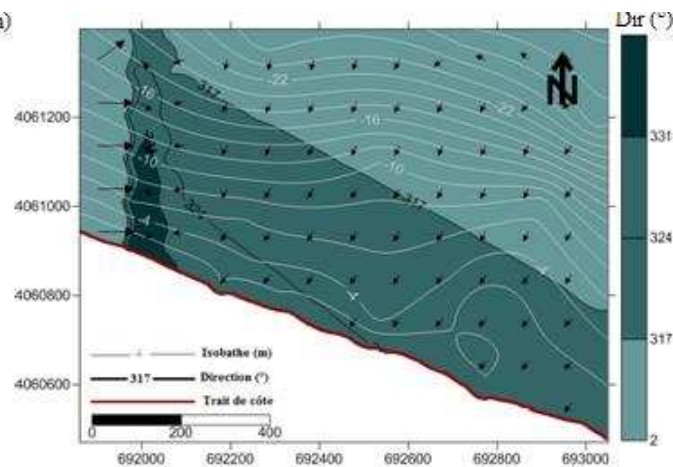


Fig. 72 : Propagation des houles de direction Nord – Est (45°).

### ▪ Houles de direction Nord (360°) :

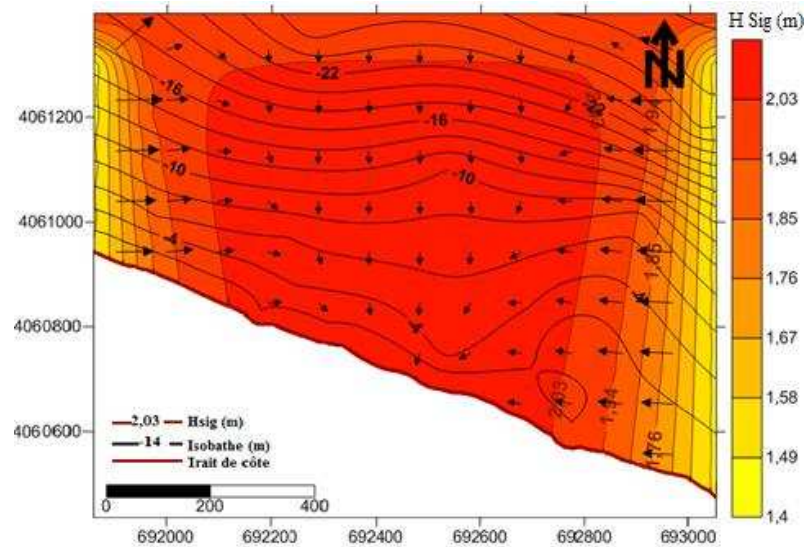


Fig. 73 : Houles significatives du Nord (360°) avec une période de 6s.

### ▪ Interprétation des cartes de période 6 secondes :

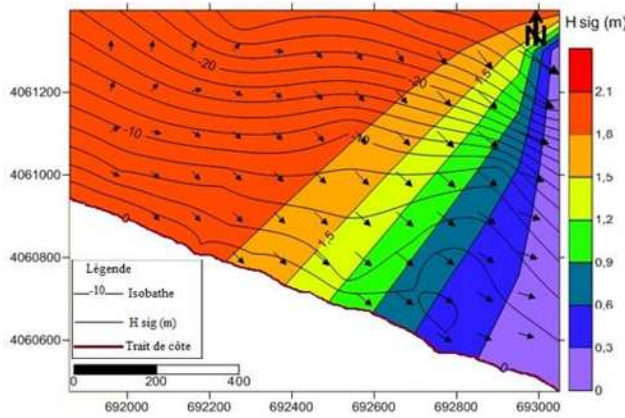
Les cartes représentées dans les figures 69, 70, 71, 72 et 73 correspondent aux résultats issus de l'application du modèle SWAN dans le but d'estimer les houles significatives et leur direction de propagation pour une houle de 45°, 315° et 360° respectivement avec une période de 6 secondes.

- **Cas de la houle de 315° (direction Nord-Ouest) :** Les houles significatives varient entre 0.2 m et 2.2 m et se répartissent d'une manière croissante de l'Est vers l'Ouest suivant la diagonale perpendiculaire à la côte. La propagation de ces dernières se fait de façon oblique, presque parallèle à la côte vers l'Est. Le coefficient de réfraction ( $K_r$ ) est de 0.89 (source : LEM).
- **Cas de la houle de 45° (direction Nord-Est) :** La répartition des houles significatives pour cette direction est oblique par rapport à la côte et croissante de l'Ouest vers l'Est avec des hauteurs qui vont de 0.2m à 2m. La partie Est est marquée par des houles plus fortes que la partie Ouest et peuvent dépasser 2m. D'autre part, la propagation de ces houles se dirigent vers l'Ouest presque perpendiculairement à la côte.

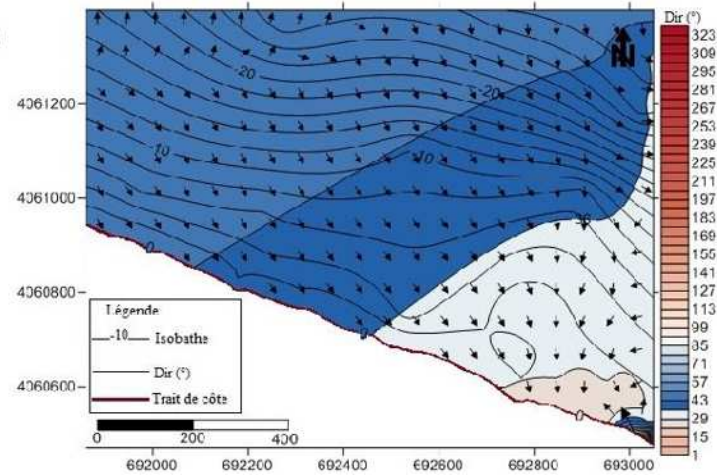
**4.3.2. Cas de la houle de 360° (direction Nord) :** Les houles significatives de période de 6s varient entre 1.49m et 2,03m, atteignent leur maximum (2,03 m) dans la partie centrale, avec une majeure propagation qui semble frontale, de part et d'autre cette partie la propagation se fait latéralement tout en se dirigeant vers le centre. Le coefficient de réfraction est égale à 0.89 ce qui fait que l'influence des houles de cette direction sur le trait de côte est importante.

### 4.3.3. Houles de période de 8 secondes :

- **Houles de direction Nord-Ouest (315°) :**



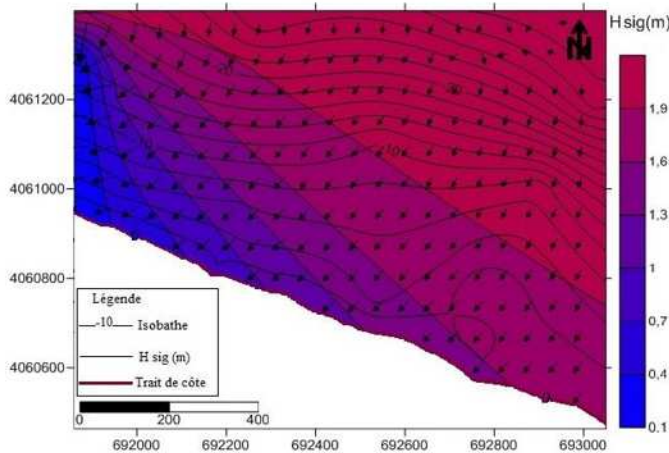
**Fig. 74 :** houles significatives du Nord –Ouest (315°) avec une période de 8s.



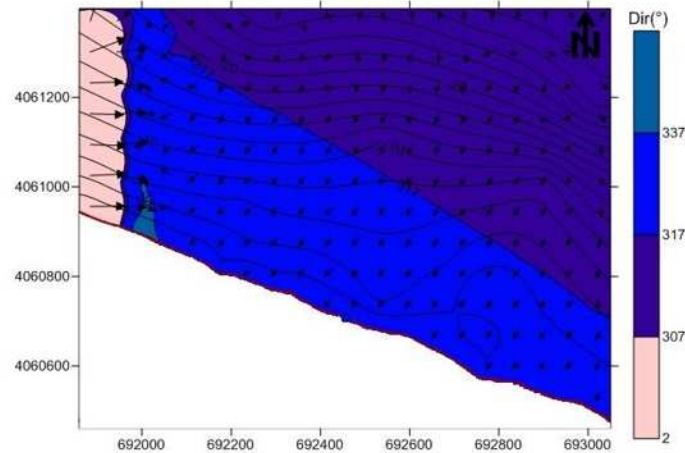
**Fig. 75 :** propagation des houles de direction Nord –Ouest (45°).

Les deux figures au-dessus montrent des houles significatives du Nord-Ouest atteignant un maximum de 2.1 m et ce dans la partie ouest de la zone d'étude, la propagation se fait latéralement au trait de côte et le coefficient de réfraction  $K_r$  est de 0,96 (selon le LEM), ce qui fait que le trait de côte peut être atteint par l'énergie de ces houles, qui peut influencer le transport des sédiments.

▪ **Houles de direction Nord-Est (45°) :**



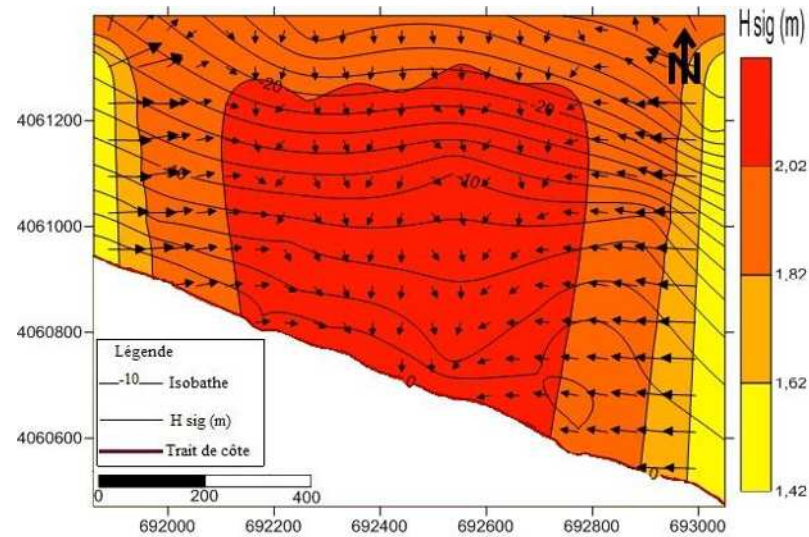
**Fig. 76 :** houles significatives du Nord –Est (45°) avec une période de 8s.



**Fig.77:** houles significatives du Nord –Est (45°) avec une période de 8s.

Les cartes (**Fig.76** et **Fig.77**) montrent des houles significatives de direction Nord-Est et de période 8 secondes, atteignant le trait de côte avec une propagation qui paraît frontale au rivage et une diminution des hauteurs du large vers la côte sachant que le maximum est de 2 m, loin du trait de côte.

### ▪ Houles de direction Nord (360°) :



**Fig.78** : houles significative du Nord (360°), avec une période de 8s.

Les houles significatives dont la période de 8s varient entre 1.4m et 2m, atteignent leur maximum (2m) dans la partie centrale, avec une majeure propagation qui semble frontale, de part et d'autre cette partie, la propagation se fait latéralement tout en se dirigeant vers le centre et le coefficient de réfraction est égal à 0.89 ce qui fait que l'influence des houles de cette direction sur le trait de côte est importante.

### Conclusion du chapitre:

Dans l'ensemble, les isobathes sont espacées et parallèles à la côte avec une douce pente.

L'étude des profils a révélé la présence de micros fosses, ainsi des barres sous-marines à environ 200 m du rivage.

Trois faciès sédimentaires se distinguent ; Sables et sablons siliceux, faciès des boues silico-argileuses et en fin faciès de boue silico-argileuse et argilo-siliceuses.

La répartition des quartiles (Q25, Q75) montre une diminution des diamètres auxquels ils correspondent de la côte vers le large, avec 650 $\mu$ m et 1100 $\mu$ m respectivement comme maximum.

Les déciles (D10, D90), connaissent aussi une décroissance des diamètres de la côte vers le large. La répartition de la médiane montre une dominance du sable fin au large de la zone d'étude.

Selon les valeurs de  $S_0$  et  $S_k$  les sédiments sont bien triés avec un classement maximum vers les grossiers.

La carte du transport sédimentaire montre un départ et une perte des sédiments de la plage vers le large de la zone d'étude.

Les houles les plus énergétiques sont celles du Nord-Est, qui ont une importante influence sur le trait de côte avec un coefficient de réfraction de 0.96.

**Chapitre V :**  
**MÉTHODES DE PROTECTION POUR**  
**LA PLAGE DES HAMMADITES**

## Introduction :

Le recul du trait de côte connu au niveau de la plage des Hammadites, fait appel à une étude de protection, pour maintenir la plage d'une part et protéger les biens implantés sur le rivage d'autre part, tels que les complexes hôteliers (Club Alloui, Hôtel des Hammadites et Syphaxe).

Deux catégories de protection peuvent être distinguées ; Laisser la nature agir seule et donc ne rien faire ou bien adapter des méthodes de défense, qui peuvent être lourdes, telle que la mise en place d'ouvrages longitudinaux (brise-lames) ou transversaux (épis), ou bien souples comme les géotubes ou géotextiles, le système d'écoplage, le rechargement artificiel. Une gestion intégrée des zones côtières est aussi utile pour une protection durable des plages contre le phénomène d'érosion marine. Ce chapitre fera objet de proposer des solutions souples et lourdes avec une GIZC.

### 1. Nécessité d'une étude d'aménagement

La zone d'étude est en état d'érosion, compte tenu des études démontrées auparavant. Une étude d'aménagement alors s'impose, elle doit être cependant conduite avec rigueur afin d'obtenir la meilleure synthèse possible pour notre site.

### 2. Les défenses envisageables au niveau de la plage des Hammadites :

#### 2.1. La défense souple :

##### 2.1.1. Les ouvrages perméables en rondins :

##### a-Définition et principe :

Ils sont dits aussi ganivelles hydrauliques ou pieux en bois, ils se disposent parallèlement ou perpendiculairement au rivage, la finalité de ce type d'ouvrage est de retenir le sable mis en mouvement par les vagues déferlantes afin de stabiliser la plage. L'expérience de cette technique était menée en 2003 et 2004 à Cap-Ferret (côte d'Aquitaine), (voir **Fig.79**).



**Fig. 79** : Epi perméable fait de rondins de pin, Cap-Ferret, Côte d'Aquitaine : [https://beagege33.files.wordpress.com/2014/02/fotolia\\_36787310\\_xs1.jpg](https://beagege33.files.wordpress.com/2014/02/fotolia_36787310_xs1.jpg)

## b-Impacts de la technique :

### Les avantages :

- Impact paysagé plus au moins discret, vu que la taille des pieux n'est pas vraiment importante et sont formés du bois ce qui donne un paysage naturel;
- Peu coûteuse et accessible : La construction d'épis perméables peut être réalisée par les propriétaires riverains eux-mêmes sans nécessiter les services d'un entrepreneur.
- Peu de perturbations : Les épis perméables ne représentent pas une perturbation majeure de la dynamique côtière lorsque le sable en transit est abondant.

### Les inconvénients :

- Constitue des obstacles pour les promeneurs à cause de la disposition des pieux qui va déranger et empêcher les gens de circuler ;
- Peut être dangereuse pour la navigation si les pieux sont arrachés et transportés vers le large.

## c-Application au site d'étude :

Selon la longueur de la plage des Hammadites étant un (01) kilomètre d'une part, et l'environnement bioclimatique qui lui appartient d'autre part ; Deux ouvrages perpendiculaires à la côte peuvent être mis en place, d'une longueur d'environ 60 m en fonction de la largeur moyenne de la plage, distants d'une centaine de mètres. Chacun d'eux va être constitué de deux rangées éloignées de 30 à 40 cm, ces rondins peuvent avoir un diamètre de 30cm et une longueur de 5 m avec un enfoncement près de 4m.

## 2.1.2. Le système Ecoplage ou le drainage des plages :

### a- Définition et principe :

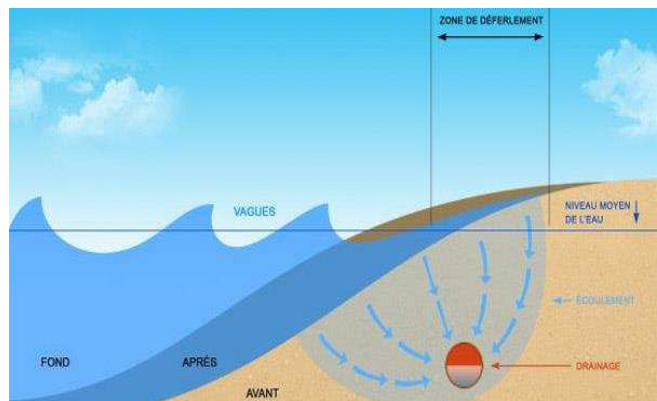
Il s'agit d'un système mécanique qui absorbe, à l'aide d'une pompe, l'énergie de la houle (**Fig.80**). Il draine ainsi l'eau par dépression dans une canalisation souterraine et permet l'engraissement de la plage par les sables en suspension portés par la houle.

Il présente l'avantage d'être invisible car il est enterré sous la plage. Il constitue ainsi un frein au processus d'érosion et permet la reconstitution plus rapide de la plage après une tempête.

### b- Mis en œuvre :

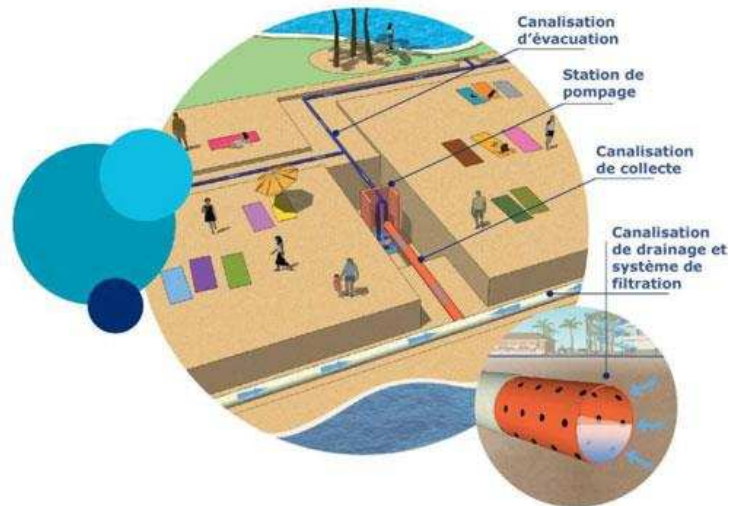
Le système se compose :

- D'un ou de plusieurs drains : installés parallèlement au trait de côte, ils permettent à l'eau de la vague de s'infiltrer par dépression, assurant ainsi une dé-saturation du sable et permettant ainsi une bonne captation des sédiments sur le haut de plage ;



**Fig. 80** : Principe de fonctionnement du système Ecoplage  
(in Mouhoubi N et Ouabel K, 2012).

- Des puits collecteurs et canalisations de transports qui permettent à l'eau captée par les drains de s'écouler, par gravité, jusqu'à une station de pompage ;
- D'une station de pompage : Elle a pour rôle d'évacuer l'eau de mer filtrée. Cette eau, parfaitement propre, peut-être, selon le cas, rejetée à la mer ou bien utilisée pour des activités situées à proximité et nécessitant un approvisionnement en eau de mer filtrée (unité de dessalement, piscine, aquarium, thalasso, pisciculture, ...).



**Fig. 81** : Schématisation de la mise en œuvre du système Ecoplage (Ecoplage ©, 2012).

### c- Impacts de la technique :

#### Les avantages :

- La stabilisation des sédiments sur la surface de la plage;
- Les vagues repartent avec moins d'énergie, puisqu'une partie de l'eau est absorbée par la plage;
- L'augmentation des dépôts de sédiments transportés par les vagues sur la plage ;
- La création d'une pente plus longue sur laquelle les vagues perdront encore plus de leur énergie suite à l'accrétion renforcée;
- La constitution d'une réserve de stock sableux qui constituera une zone "tampon" contre l'érosion lors des prochaines tempêtes ;
- L'impact paysager nul, sauf durant la période des travaux.

#### Les inconvénients :

- C'est une technique limitée à certains types de plages ;
- Entretien régulier du système ;
- Nécessité de déploiement de réseaux (électricité et eau) ;
- Risque de devenir inopérant en cas de forte mobilité du trait de côte.

## d- Applicabilité au site d'étude :

Le système Écoplage conviendra à la plage des Hammadites, il pourrait être d'une défense aux complexes hôteliers menacés et contribuer à regagner la plage.

## 2.2. Défense lourde :

Il s'agit de la mise en place d'ouvrages de protection, l'un longitudinal et l'autre un peu incliné.

### 2.2.1. Simulation de l'implantation des ouvrages au large de la plage des Hammadites :

Le but de cette simulation est de protéger notre zone littorale des houles du Nord et du Nord-Est. Houle régulière avec  $T_p = 6s$ ,  $H_s = 1m$ , et une hauteur de mer  $d = 1.5m$ .

#### a- Présentation du logiciel Fudaa Refonde :

Fudaa Refonde est un logiciel graphique de pré/post traitement aux éléments finis fonctionnant sous toutes plates-formes. Il est en effet écrit en Java et peut donc tourner sur n'importe quelle machine dès lors que celle-ci possède une machine virtuelle (JVM).

Il s'intègre dans une chaîne complète en aval de la modélisation terrain assurée par Autocad et ses dérivés (Reflucad, Bathycad, ...) et permet donc d'aller jusqu'à la présentation sur papier des résultats obtenus par calcul.



Fig. 82: Le logiciel Fudaa Refonde.

#### b- La procédure :

##### b.1. Visualiser la bathymétrie initiale :

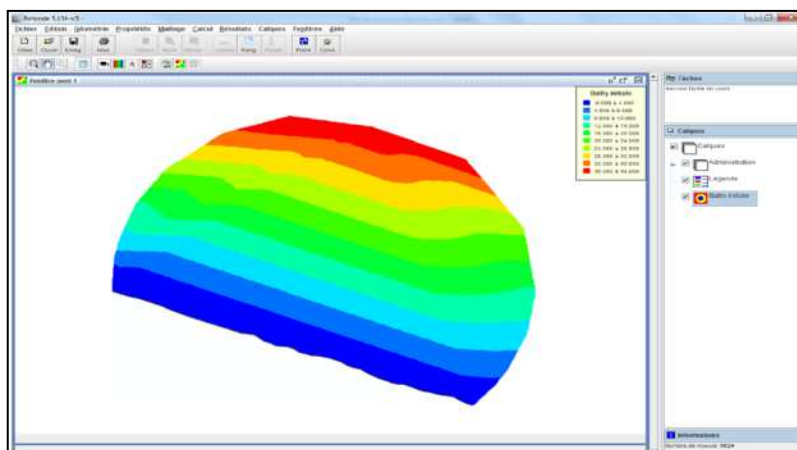


Fig. 83: Visualisation de la bathymétrie initiale.

**b.2. Implanter un ouvrage distant de la plage de 200 m, avec une superficie de 2000 m<sup>2</sup>, et modifier la bathymétrie à proximité de l'ouvrage :**

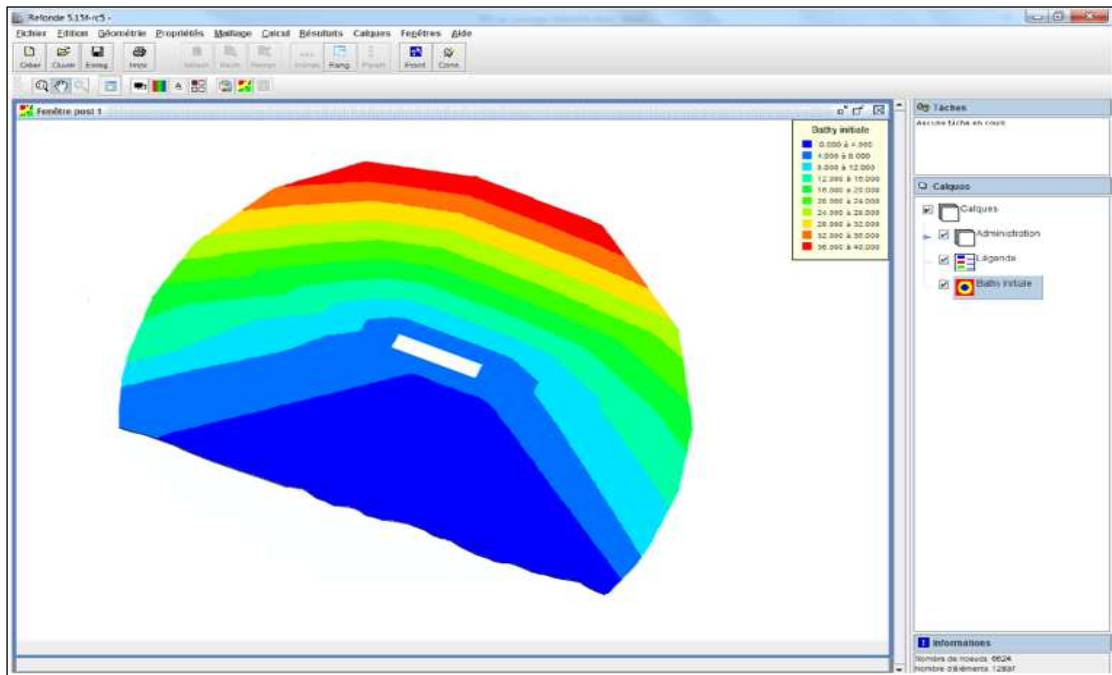


Fig. 84 : Représentation de l'implantation d'ouvrage et modification de la bathymétrie à sa proximité.

▪ **Modification de la bathymétrie à proximité de l'ouvrage :**

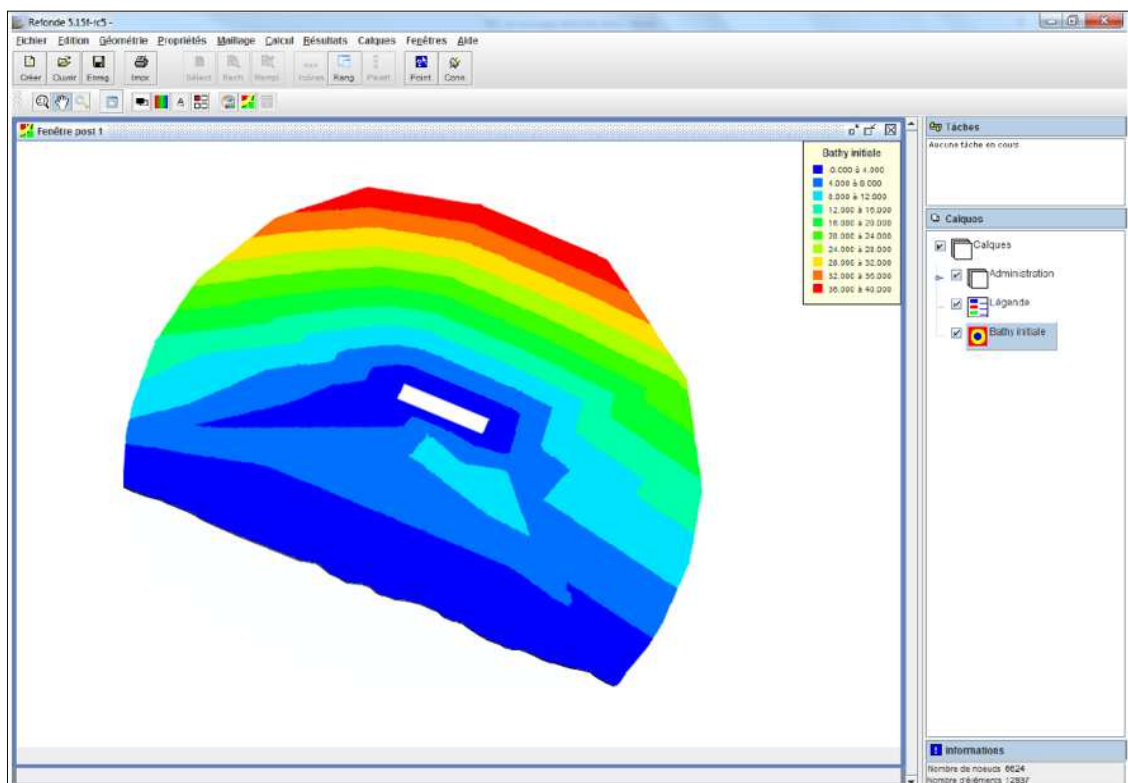
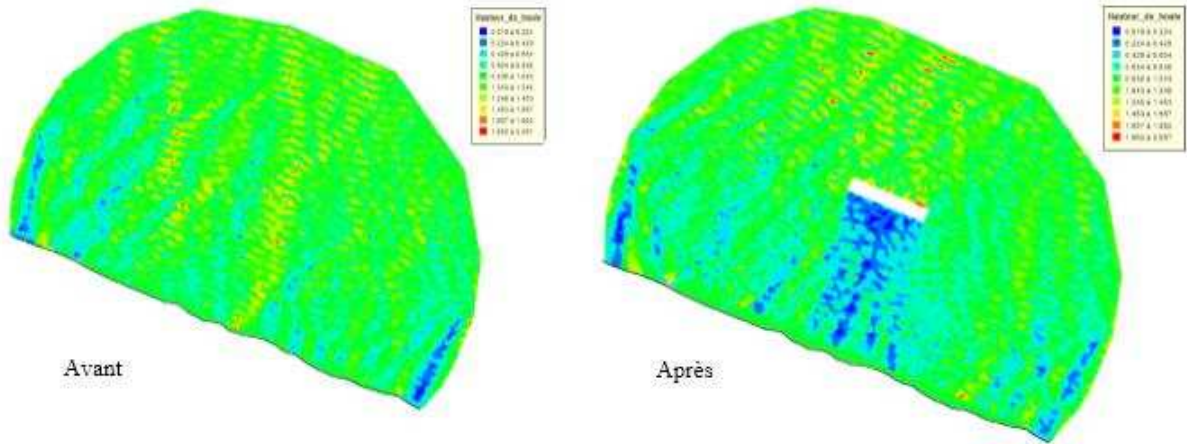


Fig. 85 : Représentation de la Modification de la bathymétrie à proximité de l'ouvrage

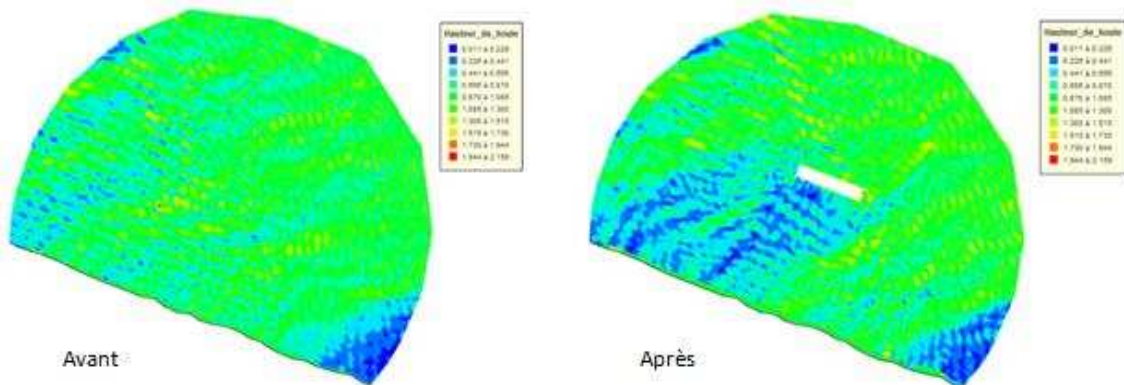
**b.3. Comparer l'agitation, avant et après l'implantation de l'ouvrage :**

**b.3.1. Houle de direction Nord :**



**Fig.86 :** Représentation de l'agitation avant et après l'implantation de l'ouvrage.

**b.3.2. Houle de direction Nord-Est :**



**Fig.87:** Représentation de l'agitation avant et après l'implantation de l'ouvrage.

**Commentaires :**

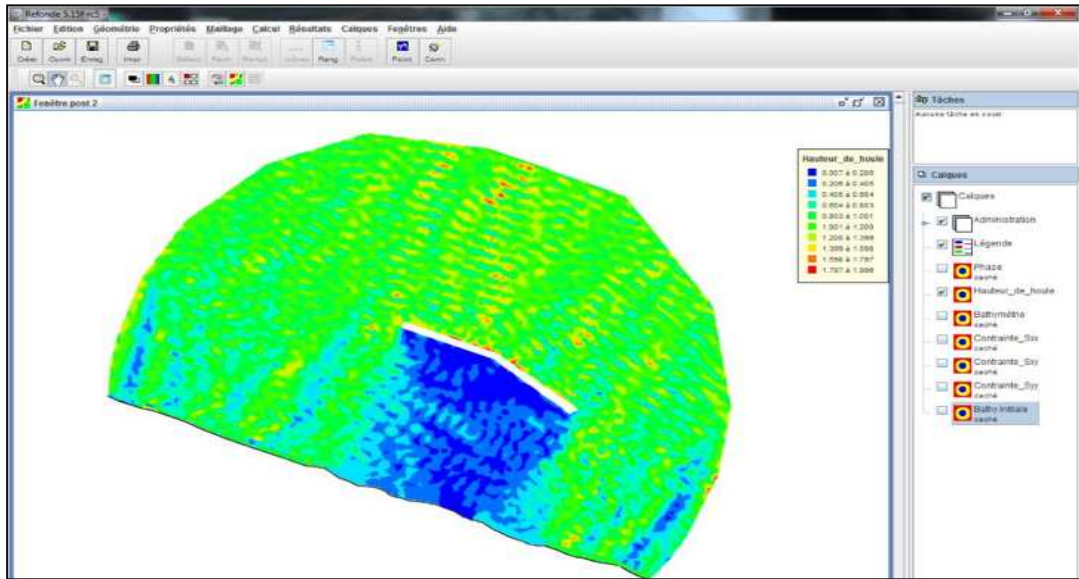
La première configuration de l'ouvrage n'est pas favorable à la protection de la portion littorale. Pour la houle de direction Nord, l'ouvrage ne protège qu'une petite portion, juste la partie centrale de notre zone d'étude.

Pour la houle de direction Nord-Est, grâce à l'ouvrage la partie Ouest de la plage est protégée et la hauteur d'eau est très faible.

**b.4. Déplacer, Déformer, Orienter, Scinder l’ouvrage tout en gardant la même superficie de l’ouvrage :**

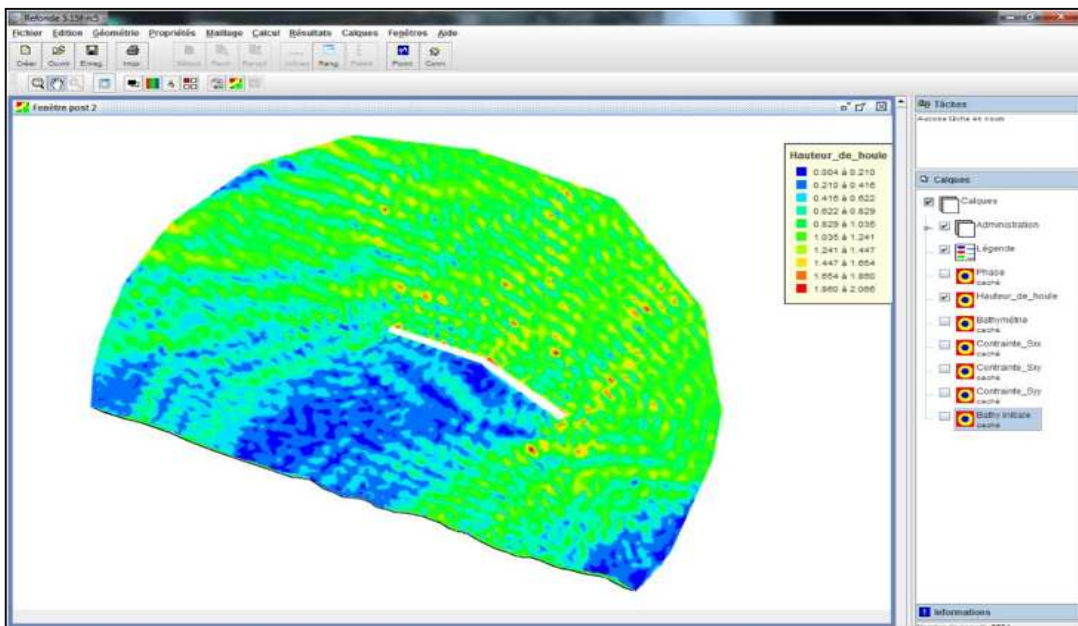
**b.4.1. Première configuration avec un ouvrage unique d’une superficie de 2000 m<sup>2</sup> :**

**b.4.1.1. Houle de direction Nord, à 180 °, et modification de la bathymétrie à proximité de l’ouvrage :**



**Fig. 88 :** Représentation de la Modification de la bathymétrie à proximité de l’ouvrage, houle de direction Nord

**b.4.1.2. Houle de direction Nord-Est, à 45° :**



**Fig. 89 :** Représentation de modification de la bathymétrie à proximité de l’ouvrage, houle de direction Nord-Est à 45°.

## Commentaire :

Avec l'ouvrage en deux rectangles collés, les résultats de l'agitation sont plus satisfaisants avec la houle de direction Nord-Est. La surface protégée est plus importante.

### b.4.2. Seconde configuration avec deux ouvrages dans deux directions différentes :

#### b.4.2.1. Houle de direction Nord :

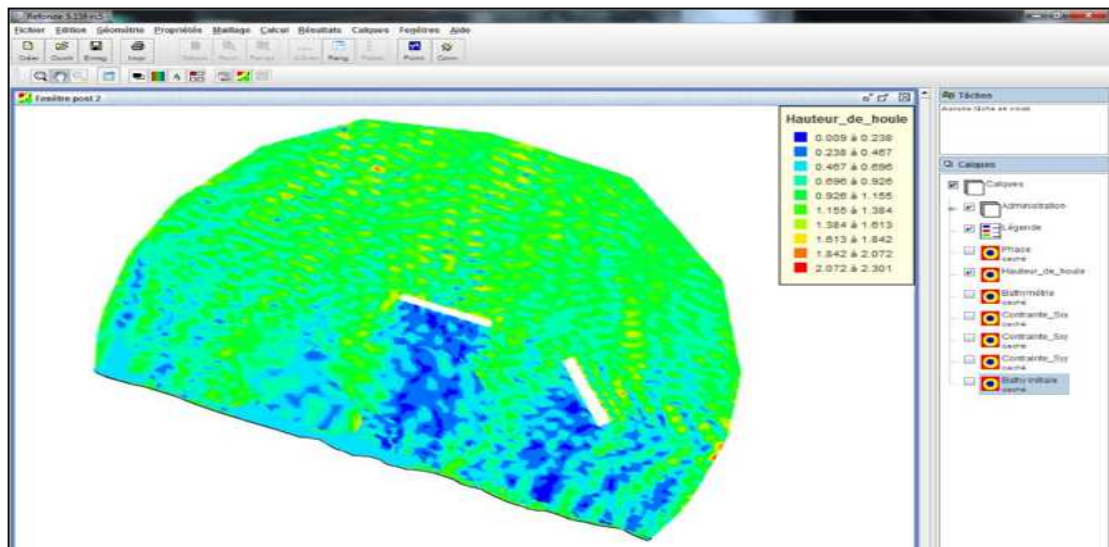


Fig. 90: Représentation de la seconde configuration avec une houle de direction Nord.

#### b.4.2.2. Houle de direction Nord Est :

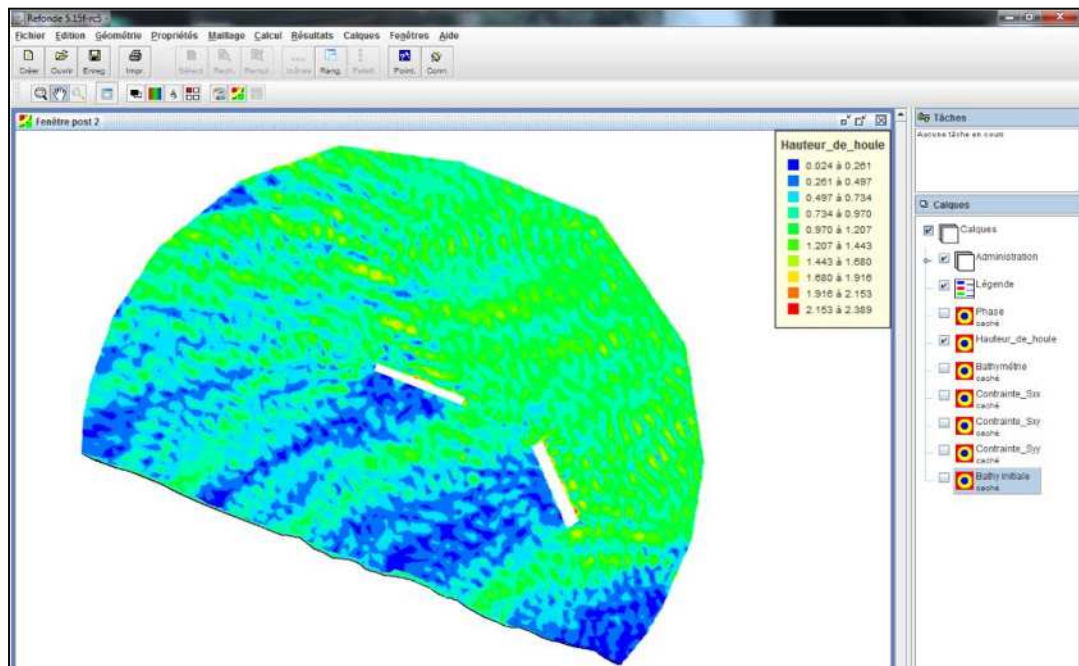


Fig. 91 : Représentation de la seconde configuration avec une houle de direction Nord-Est.

## **Commentaire :**

Avec deux ouvrages, de même dimension, les résultats sont encore plus satisfaisants. Sur presque toute la longueur de la plage, l'agitation est très faible, seulement pour les houles du Nord-Est.

### **3. La gestion intégrée des zones côtière (la GIZC) :**

#### **3.1. Définitions :**

La Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) se présente comme une démarche innovante, sensée prendre en charge la problématique de valorisation et de protection du milieu côtier et de ses ressources. Elle se définit comme un Processus dynamique qui réunit gouvernement et société, sciences et décideurs, intérêts publics et privé, en vue de la protection et du développement des systèmes et ressources côtières. Ce processus vise à optimiser les choix à long terme privilégiant les ressources et leur usage raisonné et raisonnable. (Cicin – Sain, Knecht ,1998).

« C'est un processus cyclique, proactif et adaptable en permanence pour parvenir à l'objectif de gérer les ressources littorales de façon écologiquement durable et en prenant en compte le principe de la réalité des limites physiques, sociales et économiques du pays ». (Pardini, 2004).

#### **3.2. Principe de la démarche :**

Le principe de la GIZC est d'associer, des acteurs multiples autour d'un projet commun dans le but de partager un diagnostic sur la situation d'un territoire, puis de définir de manière concertée les objectifs à atteindre et, enfin, de conduire les actions nécessaires.

#### **3.3. La GIZC et la plage des Hammadites :**

Le littoral Béjaoui est alimenté essentiellement par Oued Soummam, en apport sédimentaire. Ce littoral connaît une perte de sédiments au niveau de quelques unes de ses plages dont la plage des Hammadites fait partie, ce problème d'érosion est lié directement ou indirectement à la diminution du débit solide du Oued déjà cité, et cela à cause des extractions abusives du sable, ainsi que la construction des barrages d'eau comme celui de Tichihafit dernièrement mis en place. Selon le principe de la démarche de la gestion intégrée des zones côtières, résoudre ce problème ne se limite pas en la construction d'ouvrages de protection au niveau locale mais, plutôt nécessite tout une collaboration entre les différents acteurs des régions entourant la plage et qui en bénéficie, afin de mettre en place et appliquer des textes et des lois relatifs à l'extraction du sable des cours d'eaux, la construction ou l'aménagement de structures en béton ou d'autres infrastructures y compris les routes, doivent être interdites tout près des Oueds et des zones côtières les plus dynamiques. Penser aussi à d'autres solutions pour l'alimentation en eau autre que la construction des barrages. D'après le même principe, régler un problème d'une région peut servir à résoudre un problème de l'autre, voici une carte de délimitation des régions concernées par le processus de la GIZC qui va contribuer à diminuer le phénomène de recul du trait de côte au niveau de notre zone d'étude (**Fig. 92**).

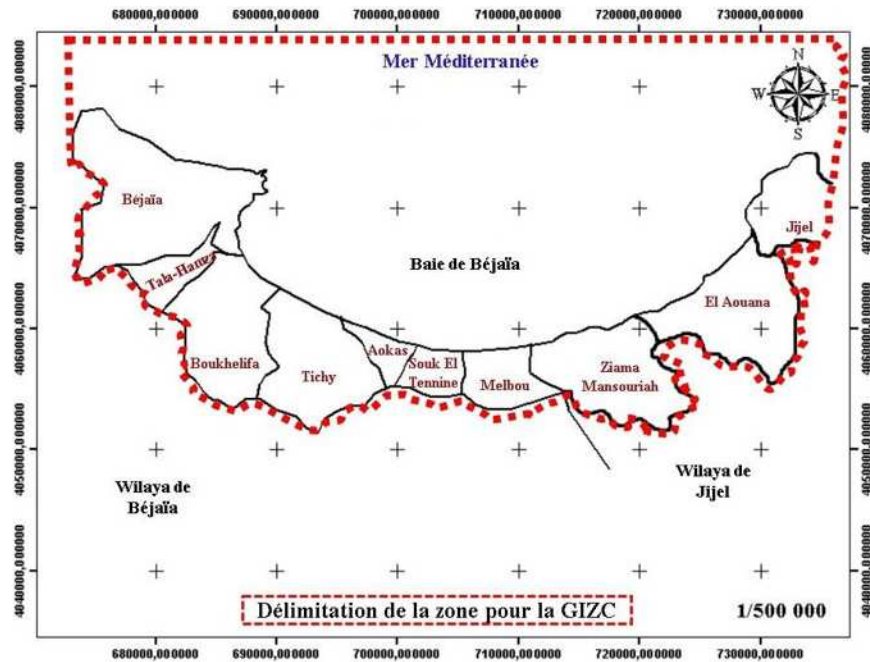


Fig. 92 : Délimitation de la zone d'étude proposée pour une GIZC (Aoudj C., 2014).

### Conclusion du chapitre :

Les moyens de défense proposés dans ce chapitre vont contribuer à la restitution de l'ancienne plage d'une part. D'autre part, ils vont porter un bénéfice sur le côté économique, éventuellement faire augmenter les activités touristiques et balnéaires. Mais le meilleur remède reste de penser à une solution durable et d'adapter une démarche de gestion des zones côtières tout simplement car les ouvrages de protections qu'ils soient lourds ou souples ont des effets sur la plage à long terme puisqu'ils ont une durée de fonctionnement bien définie au départ, ce qui fait que dès que cette durée est atteinte, l'ouvrage ne devient plus fonctionnelle, mais aussi il devient néfaste par sa perturbation sur le transit littoral ou même causer une érosion inattendue .

## **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## **Conclusion générale :**

La variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux, cas de la plage des Hammadites, Béjaïa est un thème très vaste sur lequel nous avons travaillé dans le but d'essayer de répondre à cette problématique et suggérer certaines solutions utiles. Nous avons réparti le travail en trois parties essentielles : Partie aérienne, partie sous-marine et celle entre les deux qui est le trait de côte.

En premier lieu, l'étude granulométrique des sédiments de la partie aérienne de la plage des Hammadites et le suivi des variations des résultats obtenus en trois mois consécutifs, pendant la période estivale, indiquent une dominance de sable moyen avec de légères différences de diamètre et dont le stock sédimentaire prédominant est de 315  $\mu\text{m}$ . Les résultats des indices granulométriques démontrent que les sédiments de la plage des Hammadites sont bien triés avec un classement maximum vers les fins. De plus, les résultats de l'analyse calcimétrique pour les trois mois révèlent une répartition décroissante des carbonates de calcium du rivage vers le haut de plage avec des valeurs faibles.

La deuxième partie de notre travail, s'est basée sur l'étude de l'évolution historique du trait de côte de la plage des Hammadites à une macro-échelle spatio-temporelle étant donné que l'étude s'est faite sur 44 ans. La superposition des traits de côtes extraits des images satellitaires des différentes années et celui actuel réalisé à l'aide d'un théodolite a mis en évidence les zones d'accrétion et celles d'érosion avec la dominance d'une érosion de la zone, donc un recul du trait de côte évident de la plage des Hammadites.

D'une part l'étude bathy-sédimentaire de la zone d'étude a révélé une topographie sous-marine descendant en pente douce d'une façon régulière avec présence de quelques morphologies sous-marines telles que barre d'accumulation. En plus de l'étude sédimentologique qui a indiqué un stock sédimentaire dominant de type sable moyen.

D'autre part, la modélisation du transport sédimentaire par le modèle GSTA et l'étude de la réfraction de la houle à l'aide du modèle SWAN ont complété et affirmé l'étude bathy-sédimentaire où les résultats ont montré un déplacement des sédiments vers le large ce qui appuie le recul du trait de côte de la zone et dont les houles les plus énergétiques sont de direction Nord-Est.

La plage des Hammadites s'étend sur un kilomètre de long sur laquelle trois hôtels sont installés ; Hôtel des Hammadites, Hôtel Club Alloui et Hôtel Le Syphax à des dizaines de mètres de la plage où ils déversent leur rejets directement en mer. De plus, elle est très fréquentée surtout en période estivale, ce qui fait d'elle une zone vulnérable et fragile.

Le tourisme et les installations urbaines ne sont pas les seuls causes d'érosion, car la diminution de débit solide alimentant la plage, par la construction de barrages (Tichihaf) piégeant les sédiments est à prendre en considération, l'agitation de la mer est aussi un facteur qui accentue le recul du trait de côte par l'emportement des sédiments de la plage vers le large.

À travers le dernier chapitre, nous avons proposé quelques solutions qui prennent en considération l'aspect naturel et économique de la zone qui sont des méthodes souples, mais

nous suggérons que la meilleure solution est celle d'une protection durable assurée par la GIZC. Nous avons aussi suivi les modifications que subissent la bathymétrie et l'agitation après implantation d'un ouvrage de protection lourd à l'aide d'un logiciel dit « Fudaa Refonde » sur notre zone d'étude, où les résultats s'annoncent satisfaisants, mais cela ne prend pas en considération les plages voisines qui peuvent être en risque.

Ce travail réalisé, dans le cadre du projet de fin d'étude a permis de créer une base de données récente qui pourra servir de guide pour une étude future de la zone ou même lors de la conception des ouvrages.

La réalisation de ce projet nous a apporté deux avantages essentiels. D'abord, il nous a offert l'opportunité d'approfondir nos connaissances des cinq années de notre formation à l'ENSSMAL. De plus, il a fait l'objet d'une phase de préparation de notre intégration dans le domaine de la recherche scientifique dans le cadre de l'Aménagement du Littoral.

## Références bibliographiques :

AL SID CHIKH, S. (2011). *Étude de protection de la plage de Palm Beach-Azur contre l'érosion : Recours à la modélisation numérique et physique*. Mémoire de Magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 292 p.

AOUDJ, C. (2014). *Évolution morphodynamique du trait de côte du littoral Est de Béjaïa : Cas de Tichy plages*. Mémoire de Master. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 53 p.

AOUDJ, C., BOUAZIZ, T. (2014). *Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Béjaïa*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 147 p.

ASSASSI, C., OTMANI, H. (2010). *Etude de protection de la zone de Club des Pins*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 121p.

BELHADJ, A. (2014). *Evolution du trait de côte de Cap Djinet*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 52 p.

BELLOULOU, B., GANA, A. (2012). *Etude de protection du rivage du site de Hadjret En Enous*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 50 p.

BEN AISSA, N. (2006). *Etude bathymétrique et sédimentologique du port d'Alger*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 50 p.

CICIN-SAIN, B., KNECHT, W. (1998). *Integrated coastal and ocean management: concept and practices*. California: Island press, 517 p.

CLUS-AUBY, C. (2003). *La gestion de l'érosion des côtes : l'exemple de la côte aquitaine*. France : Presses universitaires de bordeaux. 256 p.

KHEDIMI, F., ABDERRAHMANI, K. (2008). *Baie d'Alger : Etude de quelques paramètres de gestion du littoral et apport de la télédétection*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 78 p.

LAICHI, A., ZOUAGHI, M. (2012). *Approche intégrée d'un littoral sableux spécifique dans le cadre du plan « GIZC » de Réghaia*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 66 p.

MESSAOUD KHELIFI, M. (2014). *Étude de protection de la plage Est de BOUMERDÈS*. Mémoire de Master. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 63 p.

France. Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer (2010). *La gestion du trait de côte*. Versailles : Quae. 290 p.

MOUHOUBI N, I., OUABEL, K. (2012). *Etude d'une solution de protection pour la plage centre de Sidi Ghiles (Cherchell)*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 61 p.

NECHENACHE, F. (2015). *Etude géomorpho-sédimentaire de la zone côtière du Parc National de TAZA (wilaya de Jijel)*. Mémoire d'Ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 137 p.

- OTMANI, H. (2014). *Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : cas du port de Cap Djinet*. Mémoire de Magister. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 157 p.
- PASKOFF, R. (1993). *Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution*. 2<sup>e</sup> éd. Paris : Masson. 256 p.
- PASKOFF, R., CLUS-AUBY, C. (2007). *L'érosion des plages : les causes, les remèdes*. Paris : Institut océanographique. 184 p.
- PARDINI, G. (2004). *La protection du littoral*. Paris : Mb formation. 203 p.
- PIAN, S. (2010). *Analyse multi-scalaire et multifactorielle de l'évolution et du comportement géomorphologique des systèmes côtiers sud bretons*. Thèse de Doctorat. France : Université de Rennes 2 Haute Bretagne. 325 p.
- RIVIÈRE, A. (1977). *Méthodes granulométriques : technique et interprétation*. Paris : Masson. 170 p. Technique et méthode de sédimentologie.
- LECLAIRE, L. (1972). *Sédimentation holocène sur le versant méridional du bassin Algéro-Baléares (pré-continent Algérien)*. Paris : Muséum, 521 p.

## **Variabilité spatio-temporelle d'un littoral sableux ; Plage des Hammadites Béjaïa**

### **Résumé :**

La plage des Hammadites est une plage sableuse appartenant au littoral Est de Béjaïa qui est connue par une concentration démographique importante, plus exactement à Tichy, un lieu qui attire les estivants par sa localisation entre montagne et mer, et grâce aussi à la présence des complexes hôteliers.

Cette portion côtière, a connu et connaît actuellement une dégradation et ce, suite au phénomène d'érosion, se traduisant par le recul du trait de côte.

Dans le but de connaître et comprendre le comportement de la plage des Hammadites, vis-à-vis ce désastreux phénomène, une étude d'évolution historique du trait de côte était menée avec l'utilisation des SIG comme moyen de suivi, accompagnée d'étude granulométrique, bathymétrique, hydrodynamique et sédimentaire de la partie marine de la zone d'étude, afin de confirmer les résultats obtenus précédemment.

Pour pouvoir faire face au recul du trait de côte remarqué, des méthodes de protection sont proposées et une démarche de gestion intégrée des zones côtière est conseillée dans notre travail.

### **Mots- clés :**

ArcGis – Béjaïa - Bathymétrie - Calcimétrie - Dynamique sédimentaire - Érosion - Granulométrie - Littoral sableux - Sédimentologie - Système d'Information Géographique(SIG) - Trait de côte - SWAN - GSTA - Fudaa Refonde - Surfer.

### **Abstract:**

Hammadites's beach is a sandy beach belonging to the east's littoral of Béjaïa which is known by an important demographic concentration, more exactly is belonging to Tychy's littoral, a place attracting the summer tourists by its localization between mountain and sea, and grace also to the presence of hotel complexes.

This coastal portion knew and currently knows a degradation, and this following the phenomenon of erosion, resulting in the retreat of the feature of coast.

Within the framework to know and understand the behavior of the beach of Hammadites, opposite this disastrous phenomenon, a study of the historical evolution of the feature of coast was conducted with the use of the SIG like means of follow-up, accompanied by study granulometric, bathymetric, hydrodynamic and sedimentary of the marine part of the zone of study, for confirm the results obtained previously.

To be able to cope with the retreat of the feature of coast noticed, methods of protection are proposed and an approach of management integrated of the zones coastal is advised in our work.

### **Keyword :**

Arc GIS - Bejaia - Bathymetry - Calcimetry - coastline- Erosion - Fudaa Refonde - granulometry - Geographic Information System (GIS) - GSTA - Sandy coast - Sediment's dynamic - Sedimentology - Surfer - SWAN.

## الملخص:

شاطئ الحماد يون، شاطئ رملي من شواطئ ساحل بجاية شرق، المعروف بكثافته السكانية وينتمي بالضبط إلى ساحل تيشي، منطقة جلب المصطفيين، نضرا لموقعها بين جبل وبحر، وبفضل منتجعاتها السياحية.

المنطقة عرفت وتعرف حاليا تدهور والسبب ظاهرة التآكل المترجمة بتراجع خط الساحل.

في إطار معرفة وفهم تجاوب شاطئ الحماديون حيال هذه الظاهرة المدمرة، قمنا بدراسة التطور الزمني لخط الساحل مع استعمال نظام المعلومات الجغرافية كوسيلة لمتابعة التطور، مع دراسات قياس العمق، الهيدرودينامكية ودراسة تنقل الترسبات البحرية للمنطقة المدروسة، لتأكيد النتائج المتحصل عليها سابقا.

للقدرة على مواجهة تراجع خط الساحل الملحوظ، تم اقتراح طرق للحماية مع التوصية بمنهج التسيير المدمج للمناطق الساحلية.

## المصطلحات:

بجاية - الكلسمتريية -خريطة الأعماق - دينامكية الترسبات - التآكل - غرنيلومتري - ساحل رملي - ترسب - نظام المعلومات الجغرافية -خط الساحل - سوان - جي أس تي أ - فودا ريفاند - سورفر .