

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur en  
Science de la mer

**OPTION : Gestion et Protection du Littoral**

**Thème :**

**Etude d'impact du port de cap Djinet sur le littoral recours à la  
modélisation**

**Présenté par :**

**Chekirine Maroua**

Soutenu le 28 / 09 /2022 devant le jury suivant :

|                            |                                                |                      |
|----------------------------|------------------------------------------------|----------------------|
| <b>Mr. Otmani Housseyn</b> | <b>Maître de conférences B (E.N.S.S.M.A.L)</b> | <b>Président</b>     |
| <b>Mr. Belkessa Rabah</b>  | <b>Professeur (E.N.S.S.M.A.L)</b>              | <b>Promoteur</b>     |
| <b>Mme. MOUHOUBI N.</b>    | <b>Ingénieur (L.E.M)</b>                       | <b>Co-promotrice</b> |
| <b>Mme. MAHDID Sonia</b>   | <b>Maître assistante A (E.N.S.S.M.A.L)</b>     | <b>Examinatrice</b>  |
| <b>Mme. CHAA Halima</b>    | <b>Maître de conférences B (E.N.S.S.M.A.L)</b> | <b>Examinatrice</b>  |

**Promotion : (2021/2022)**

## *REMERCIEMENTS*

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

**Mes plus vifs remerciements à : Monsieur BELKESSA. Rabah, professeur (ENSSMAL) pour avoir accepté d'encadrer ce travail, pour sa confiance, sa disponibilité, ses encouragements et ses précieux conseils au cours de la réalisation de ce mémoire.**

**Mes sincères remerciements aussi à Mme. Mouhoubi Imane (LEM) pour son aide, sa profonde gentillesse, sa générosité et surtout sa totale disponibilité durant mon mémoire.**

**Je remercie Madame RAHAL. F (DTP de la wilaya d'Alger), pour avoir accepté de me recevoir au sein de la DTP de la wilaya d'Alger et Co-encadrer ce travail.**

**Mes profondes reconnaissances au personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL, du service de la documentation du HMI, et de la DTP de la wilaya d'Alger, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont aidé du près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'études.**

**Je suis reconnaissante à tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation et spécialement à Monsieur OTMANI. H, (ENSSMAL) pour ses précieux conseils, et à toute personne qui m'a appris une lettre ou une phrase, qu'ils trouvent ici ma reconnaissance et un petit fruit de leur sueur.**

## *Dédicace*

*Je dédie ce modeste travail, avec toute mon affection : A ma très chère et adorable maman que j'aime très fort, elle a toujours été présente, m'a soutenue et accompagnée à chaque étape de ma vie qu'elle se repose en paix, je lui dois tout...*

*Sans oublier mon très cher père bien aimé et mon modèle, à qui je dois mon savoir et mon éducation...*

*A mamie et papi qu'étaient toujours à mes côtés.*

*A mes très chers frères Imad et Adel, mes sœurs Nassima, Farida, Wahiba et Souad, qui m'ont beaucoup soutenu et encouragé dans l'élaboration de ce mémoire.*

*A ma nièce Eline.*

*A toute ma famille, grande et petite...*

*A mon encadreur Monsieur M. Belkessa que je remercie pour ses conseils, gentillesse et disponibilité lors de l'élaboration de mon mémoire. .*

*A tous mes amis Hayet, Akram, Manel, wiaam et mes camarades que je ne peux pas tous citer mais dont je garderai le souvenir et l'amitié en moi toute ma vie*

*Maroua*

**Résumé :** Le secteur d'étude se situe dans le Cap Djinet, il se localise dans le coté Est et Ouest du port. Le but principal de cette étude est de contribuer à la compréhension de l'impact du port Cap Djinet sur littoral et plus précisément les zones adjacente. Afin d'atteindre cet objectif, notre démarche commence avec une étude bathymétrique, les résultats ont montré que l'évolution de la morphologie des petits fonds est très importante, résultante principalement par des activités anthropiques (mur de soutènement, épis, brise-lames, les ports, et la centrale électrique). Par la suite, l'étude repose sur une approche hydrosédimentaire. Cette approche est basée sur la modélisation numérique de la propagation de la houle, des courants et du transport sédimentaire (SW, HD, ST). Les résultats montrent l'atténuation de l'énergie des houles du large vers la cote. Les houles les plus énergétiques du Nord-Est génèrent des courants de dérive littorale avec un transport sédimentaire important, ces derniers sont amplifiés d'une manière importante par les houles extrêmes (Annuelles). Ensuite, l'évolution temporelle du trait de côte qui constitue l'une des tâches les plus colossales accomplies dans ce travail. Les résultats des traits de cotes obtenus sur différentes années (2002, 2009, 2012, 2016, 2021) ont conduit à une étude comparative entre ces différentes variations de la ligne de rivage ainsi que les différents paramètres (NSM, et ERP). La construction du port de Cap Djinet a un impact très important sur la ligne côtière des trois plages adjacentes (plage Ouest, Djinet familiale et la plage Carrière). Enfin, cette étude a montré la présence du phénomène d'accrétion au niveau des deux dernières et une érosion au niveau de la plage Ouest.

**Mots clés :** Cap Djinet, port, plages, transport sédimentaire, simulation, trait de côte, impact.

**Abstract :** The study area is located in Cape Djinet, it is located on the east and west side of the port. The main purpose of this study is to contribute to the understanding of the impact of the Cap Djinet port on the coast and more precisely the adjacent areas. In order to achieve this objective, our approach begins with a bathymetric study, the results showed that the evolution of the morphology of the shallows is very important, resulting mainly from anthropic activities (retaining wall, groynes, breakwaters, the ports, and the power plant). Subsequently, the study is based on a hydrosedimentary approach. This approach is based on the numerical modeling of wave propagation, currents and sediment transport (SW, HD, ST). The results show the attenuation of wave energy from offshore to the coast. The most energetic swells in the northeast generate coastal drift currents with significant sediment transport, the latter being amplified significantly by extreme swells (annual). Then, the temporal evolution of the coastline which constitutes one of the most colossal tasks accomplished in this work. The results of the coastlines obtained over different years (2002, 2009, 2012, 2016, 2021) led to a comparative study between these different variations of the shoreline as well as the different parameters (NSM, and ERP). The construction of the port of Cap Djinet has a very significant impact on the coastline of the three adjacent beaches (West beach, Djinet family and Carrière beach). Finally, this study showed the presence of the phenomenon of accretion at the level of the last two and erosion at the level of the West beach

**Keywords :** Cap Djinet, port, beaches, sediment transport, simulation, coastline, impact.

**ملخص** تقع منطقة الدراسة في كيب جينيت وتقع على الجانب الشرقي والغربي من الميناء. الغرض الرئيسي من هذه الدراسة هو على الساحل وبشكل أكثر دقة المناطق المجاورة. من أجل تحقيق هذا الهدف، يبدأ نهجنا Cap Djinet المساهمة في فهم تأثير ميناء بدراسة قياس الأعماق، وأظهرت النتائج أن تطور مورفولوجيا المياه الضحلة مهم للغاية، وهو ناتج بشكل أساسي عن الأنشطة البشرية يعتمد هذا النهج. (الجدار الاستنادي، والأخاديد، وحواجز الأمواج، والموانئ، والطاقة. مصنع). بعد ذلك، تستند الدراسة على نهج تظهر النتائج توهين طاقة الأمواج من البحر إلى (SW HD، ST) على النمذجة العددية لانتشار الموجات والتيارات ونقل الرواسب الساحل. تولد الانتفاخات الأكثر نشاطاً في الشمال الشرقي تيارات انجراف ساحلية مع نقل كبير للرواسب، ويتم تضخيم الأخير بشكل لتطور الزمني للخط الساحلي الذي يشكل واحدة من أكبر المهام التي تم إنجازها في هذا ز كبير من خلال الانتفاخات الشديدة (السوية). ثم العمل. أدت نتائج السواحل التي تم الحصول عليها على مدى سنوات إلى دراسة مقارنة بين هذه الاختلافات المختلفة للخط الساحلي تأثير كبير للغاية على ساحل الشواطئ الثلاثة المجاورة (الشاطئ الغربي). Cap Djinet كان لبناء ميناء وكذلك المعلمات المختلفة وأخيراً أظهرت هذه الدراسة وجود ظاهرة التراكم على مستوى الأخيرين والتعرية على مستوى الشاطئ الغربي

**الكلمات المفتاحية:** رأس جينيت، ميناء، شواطئ، نقل الرواسب، محاكاة، خط ساحلي، تأثير

## Sommaire

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>INTRODUCTION GENERALE .....</b>                                      | <b>1</b>  |
| <b>PROBLEMATIQUE .....</b>                                              | <b>2</b>  |
| <b>CHAPITRE I</b>                                                       |           |
| <b>PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE .....</b>                            | <b>3</b>  |
| QUELQUES DEFINITIONS .....                                              | 3         |
| Présentation de la zone d'étude .....                                   | 5         |
| Contexte géologique .....                                               | 7         |
| CONTEXTE SISMIQUE .....                                                 | 12        |
| Contexte climatique et hydrodynamique .....                             | 12        |
| Contexte géomorphologique .....                                         | 21        |
| <b>CHAPITRE II</b>                                                      |           |
| <b>ETUDE BATHYMETRIQUE DE CAP DJINET .....</b>                          | <b>24</b> |
| Morphologie sous-marine .....                                           | 29        |
| <b>CHAPITRE III</b>                                                     |           |
| <b>ETUDE HYDRO SEDIMENTAIRE .....</b>                                   | <b>34</b> |
| Données de houle au large .....                                         | 34        |
| Données bathymétriques .....                                            | 36        |
| Modélisation numérique .....                                            | 37        |
| Approche méthodologique .....                                           | 42        |
| <b>CHAPITRE IV</b>                                                      |           |
| <b>EVOLUTION SPATIO-TEMPORELLE DU TRAIT DE COTE DE CAP DJINET .....</b> | <b>63</b> |
| Définition de trait de côte .....                                       | 63        |
| Choix de ligne de référence .....                                       | 65        |
| Méthodologie .....                                                      | 70        |
| <b>CHAPITRE V</b>                                                       |           |
| <b>IMPACTE DES OUVRAGES SUR LA ZONE D'ETUDE .....</b>                   | <b>85</b> |
| Définition des ouvrages de protection .....                             | 86        |
| Erosion côtière .....                                                   | 93        |
| Evolution bathymétrique du port .....                                   | 95        |
| <b>CONCLUSION GENERALE .....</b>                                        | <b>98</b> |

**Références bibliographiques**

**Liste des figures et tableaux**

**Annexes**

**Résumer**

## Listes des figures

|                                                                                                                                                 |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>FIGURE 1. SITUATION GEOGRAPHIQUE DE LA BAIE DE ZEMMOURI.....</b>                                                                             | <b>6</b>  |
| <b>FIGURE 2. LOCALISATION DU PORT MIXTE DE CAP DJINET DANS LA ZONE (GOOGLE EARTH, 2013).....</b>                                                | <b>6</b>  |
| <i>Figure 3. Différentes unités géologiques des Maghrébines d'après (Domzig 2006) .....</i>                                                     | <i>7</i>  |
| <b>FIGURE 4. CARTE GEOLOGIQUE DE LA REGION DE CAP DJINET (DEGIOVANNI ET RAYMOND 1978) .....</b>                                                 | <b>8</b>  |
| <b>FIGURE 5. SEISME DU 21 MAI 2003 D'ALGER ET DE BOUMERDESS (CRAAG, 2003).....</b>                                                              | <b>12</b> |
| <i>Figure 6. Moyennes mensuelles des températures à la station marine de Dellys , période (1994-2012) (ONM).....</i>                            | <i>13</i> |
| <i>Figure 7. Moyenne mensuelles des précipitations de la station marine de Dellys (ONM 2010-2020).....</i>                                      | <i>14</i> |
| <i>Figure 8. Roses annuelle et saisonnières des vents au large de Cap Djinet (MEDATLAS) .....</i>                                               | <i>17</i> |
| <b>Figure 9. Régime des vents dans la zone d'étude (ONM, 2005-2010) .....</b>                                                                   | <b>17</b> |
| <b>Figure 10. Circulation générale de surface dans la mer Méditerranée (Millot and Taupier Letage2005).....</b>                                 | <b>19</b> |
| <b>Figure 11. Réseau hydrographique de la zone d'étude (modifie).....</b>                                                                       | <b>20</b> |
| <i>Figure 12. Carte morpho-physique en Modèle Numérique du Terrain montrant le relief de la Kabylie du Djurdjura (MATET/CENEAR, 2008) .....</i> | <i>22</i> |
| <i>Figure 13. Carte des divers géo-systèmes de la Kabylie du Djurdjura (MATET/CENEAR, 2008) modifiée) .....</i>                                 | <i>22</i> |
| <i>Figure 14. Carte bathymétrique de cap Djinet .....</i>                                                                                       | <i>26</i> |
| <b>Figure 15. Carte bathymétrique en 3D de la zone de Cap Djinet, 2009.....</b>                                                                 | <b>27</b> |
| <b>Figure 16. Profilssous-marins tracés dans la zone de Cap Djinet. ....</b>                                                                    | <b>30</b> |
| <i>Figure 17. Image de l'interface mike Zero .....</i>                                                                                          | <i>38</i> |
| <i>Figure 18. Maillage du modèle côtier de la zone d'étude .....</i>                                                                            | <i>43</i> |
| <b>Figure 19. Bathymétrie de la zone d'étude.....</b>                                                                                           | <b>44</b> |
| <b>Figure 20. Champs des houles dans Cap Djinet (<math>H_s = 1,00m</math>, <math>T_p = 6s</math>, <math>U_{10} = 12</math> m/s) .....</b>       | <b>47</b> |
| <i>Figure 21. Champs des houles dans le Cap Djinet (<math>H_s = 2,67m</math>, <math>T_p = 8s</math>, <math>U_{10} = 12</math> m/s).....</i>     | <i>48</i> |
| <b>Figure 22. Champs des houles dans le Cap Djinet (<math>H_s = 4,92m</math>, <math>T_p = 10s</math>, <math>U_{10} = 12</math> m/s) .....</b>   | <b>48</b> |
| <b>Figure 23. Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet .....</b>                                                                     | <b>49</b> |
| <b>Figure 24. Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet .....</b>                                                                     | <b>49</b> |
| <b>Figure 25. Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet .....</b>                                                                     | <b>50</b> |

|                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 26.</b> Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 1,09\text{m}$ , $T_p = 6\text{s}$ , $U_{10} = 12\text{ m/s}$ ) .....                                                   | 51 |
| <b>Figure 27.</b> Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 2,56\text{m}$ , $T_p = 8\text{s}$ , $U_{10} = 12\text{ m/s}$ ) .....                                                   | 52 |
| <b>Figure 28.</b> Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 5,05\text{m}$ , $T_p = 10\text{s}$ , $U_{10} = 12\text{ m/s}$ ) .....                                                  | 52 |
| <b>Figure 29.</b> Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet .....                                                                                                            | 53 |
| <b>Figure 30.</b> Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet .....                                                                                                            | 53 |
| <b>Figure 31.</b> Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet .....                                                                                                            | 54 |
| <b>Figure 32.</b> Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 1,10\text{m}$ , $T_p = 6\text{s}$ , $U_{10} = 12\text{ m/s}$ ) .....                                                   | 55 |
| <b>Figure 33.</b> Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 2,64\text{m}$ , $T_p = 8\text{s}$ , $U_{10} = 12\text{ m/s}$ ) .....                                                   | 56 |
| <b>Figure 34.</b> Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 4,53\text{m}$ , $T_p = 10\text{s}$ , $U_{10} = 12\text{ m/s}$ ) .....                                                  | 56 |
| <b>Figure 35.</b> Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet .....                                                                                                            | 57 |
| <b>Figure 36.</b> Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet à 8s .....                                                                                                       | 57 |
| <b>Figure 37.</b> Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet à 10s .....                                                                                                      | 58 |
| <b>Figure 38.</b> Carte de simulation du transport sédimentaire généré durant la période allant du 15 au 17 Octobre 2014 - Houles de secteur Ouest ( <b>khalfani, 2014</b> ) .....     | 59 |
| <b>Figure 39.</b> Carte de simulation du transport sédimentaire générée durant la période allant du 22 au 26 Octobre 2014 - Houles de secteur Nord-Est ( <b>Khalfani, 2014</b> ) ..... | 60 |
| <b>Figure 40.</b> Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente d'après <b>SHEPARD (1973)</b> In <b>BONNOT-COURTOIS et LEVASSEUR (2002)</b> .....   | 64 |
| <b>Figure 41.</b> Exemples de marqueurs du trait de côte (adapté et traduit par le BRGM, à partir de <b>Boak et Turner (2005)</b> ) .....                                              | 66 |
| <b>Figure 42.</b> Les lignes de référence marégraphique ( <b>LandSat OLI_TIRS, 2019</b> ) .....                                                                                        | 67 |
| <b>Figure 43.</b> Représentation schématique de la limite de végétation dunaire et pérenne ( <b>BOAK et TURNER, 2005 ; modifié</b> ) .....                                             | 67 |
| <b>Figure 44.</b> Représentation schématique de quelques exemples de lignes de référence géomorphologiques (cas des dunes) .....                                                       | 68 |
| <b>Figure 45.</b> Représentation schématique de quelques exemples de lignes de référence géomorphologiques (cas des falaises) .....                                                    | 69 |
| <b>Figure 46.</b> Digitalisation des traits de cote selon différentes périodes entre 2002 et 2021 .....                                                                                | 71 |
| <b>Figure 47.</b> Position des transects au niveau de la ligne de cote entre 2002 et 2021 .....                                                                                        | 72 |
| <b>Figure 48.</b> Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2002 et 2009 .....                                                                                                | 74 |
| <b>Figure 49.</b> Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2009 et 2012 .....                                                                                                | 75 |

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figure 50.</b> Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2012 et 2016 .....                                                       | 77 |
| <b>Figure 51.</b> Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2016 et 2021 .....                                                       | 78 |
| <b>Figure 52.</b> Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2002 et 2021 .....                                                       | 80 |
| <b>Figure 53.</b> Evolution of the coastline of Cap Djinet from 2002 to 2016 ( <b>google earth</b> ) .....                                    | 81 |
| <b>Figure 54.</b> Bilan surfacique de la cote (plage Djinet Familiale –plage Carrière 2) durant la période 1980-2017.....                     | 82 |
| <b>Figure 55.</b> Centrale électrique du Cap Djinet.....                                                                                      | 83 |
| <b>Figure 56.</b> Schéma d’une digue verticale .....                                                                                          | 88 |
| <b>Figure 57.</b> Effet d’un mur de protection sur une plage ( <b>Paskoff, 1992</b> ) .....                                                   | 88 |
| <b>Figure 58.</b> Principe de fonctionnement d’une batterie d’épis .....                                                                      | 90 |
| <b>Figure 59.</b> Impacts des brise-lames sur la ligne du rivage .....                                                                        | 91 |
| <b>Figure 60.</b> Impact des brise-lames sur les processus hydrodynamiques .....                                                              | 92 |
| <b>Figure 61.</b> Évolution de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet durant les années 2003/2009/2014, ( <b>Otmani 2014</b> ) ..... | 93 |
| <b>Figure 62.</b> L’aménagement du port ( <b>Google Earth 2009</b> ) .....                                                                    | 95 |
| <b>Figure 63.</b> Après l’aménagement ( <b>Google Erath 2021</b> ) .....                                                                      | 95 |
| <b>Figure 64.</b> Superposition des levés bathymétriques 2009/2014 dans la zone de Cap Djinet ,2014 ( <b>Otmani, 2014</b> ) .....             | 96 |

## Liste des tableaux

|                                                                                                                                    |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>TABLEAU 1. MOYENNE MENSUELLES DES PRECIPITATIONS A LA STATION DE DRA EL BEIDA (ONM 2010-2020).....</b>                          | <b>14</b> |
| <b>TABLEAU 2. FREQUENCES ANNUELLE ET SAISONNIERES DES HOULES AU LARGE PAR DIRECTION ENTRE 1999 ET 2004 (SOURCE MEDATLAS) .....</b> | <b>15</b> |
| <b>Tableau 3. Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude .....</b>                                                 | <b>36</b> |
| <b>TABLEAU 4. DONNEES DE SORTIE DU MODEL SW .....</b>                                                                              | <b>45</b> |
| <b>Tableau 5. Données de sortie du model HD .....</b>                                                                              | <b>46</b> |
| <b>Tableau 6. Classification des valeurs changement du trait de côte à partir du paramètre EPR (Nassar K et al., 2018). .....</b>  | <b>70</b> |

# **Introduction générale**

### Introduction :

Les rivages sont des environnements fragiles dans lesquels de multiples facteurs évolutifs se manifestent par des actions, des interactions et des rétroactions complexes. Les hommes doivent savoir utiliser ces environnements sans en abuser (Paskoff, 1993)

Avec l'élévation actuelle et future du niveau de la mer, les problèmes d'érosion devraient s'aggraver, surtout sur les côtes sableuses déjà en recul.

Durant la construction du port de pêche et de plaisance de Cap Djinet un important phénomène d'ensablement était observé, gênant la poursuite des travaux. Après sa réalisation, l'ouvrage s'était retrouvé avec d'énormes quantités de sable accumulées au niveau de la passe d'entrée bloquant ainsi la circulation des bateaux, d'une autre part ; la plage adjacente à ce port connaît au même temps une érosion très accrue du fait de la perturbation de l'équilibre sédimentaire.

La zone de Cap Djinet suscite l'intérêt de beaucoup de chercheurs. Le port fait l'affaire d'un grand souci, visent essentiellement la modification de la morphologie du rivage généralement ainsi que son impact sur les zones adjacentes. Cependant, l'impact sur la zone adjacente à l'ouvrage est très remarquable où une érosion est mis en place.

La variabilité des phénomènes naturels auxquels est soumise la côte du Cap Djinet, la diversité et le nombre des activités humaines qui s'y développent, lui confèrent une vulnérabilité d'un niveau et d'une nature spécifiques.

À petite échelle et au Nord-Est d'Alger, la côte sableuse qui va du Cap Matifou au Cap Djinet s'étire sur une cinquantaine de kilomètres. Durant ces dernières années, cette zone est caractérisée par des activités industrielles intenses, telle que la plus grande centrale électrique qui alimente une grande partie de la région, les activités portuaires (Port de Zemmouri et port le de Cap Djinet), ainsi que les infrastructures hôtelières. Cela a provoqué l'évolution rapide de ses plages et de ses dunes côtières.

La dégradation des cordons dunaires de Zemmouri et l'érosion intensive des plages au profit de l'exploitation des sables en tant que matériaux de construction, ou de projets touristiques et immobiliers ont fait réduire le dépôt des sédiments nécessaire à l'équilibre de la côte (Bouhmadouche 2012). Plusieurs travaux d'étude de Cap Djinet sont menés en cherchant à comprendre les processus actuels qui commandent l'évolution morpho-hydro-sédimentaire (Bouhmadouche 2012 ; Bouhmadouche and Hemdane 2016, Otmani ,2010).

# Problématique

La côte sableuse de Cap Djinet constitue un exemple parfait des environnements côtiers dont l'équilibre morphodynamique est contrôlé par la combinaison de facteurs humains et naturels. En effet la côte de Cap Djinet limitée par l'embouchure de l'Oued Sébaou à l'Est et l'embouchure de l'Oued Isser à l'Ouest, est constituée de plages sableuses rectilignes surmontées par un cordon dunaire longé sur une vingtaine de kilomètres avec une largeur relative de 5 à 20 mètres d'Est en Ouest. Ces environnements fragiles ont fait récemment l'objet d'occupations humaines qui se sont traduites par des aménagements de toutes sortes ayant plus ou moins réussis, pour des fins de développement économique (Construction de la Route Nationale RN 24 parallèle au rivage, Construction d'un port de pêche et de plaisance, d'ouvrages de défense, d'une centrale électrique, Expansion des habitations sur les plages, ... etc.).

Ces aménagements entraînent une instabilité morphodynamique du littoral, notamment au niveau de la plage de sable du Cap est située dans les infrastructures du port de pêche et structures défensives constituent une véritable zone de piégeage. Les sédiments marins forment des barrières de transit côtier sous la dérive côtière. Cela entraîne des changements dans la topographie de la côte et des fonds marins. En tenant compte des impacts de ces infrastructures maritimes (ports de pêche et de plaisance, Ouvrages de défense) sur l'équilibre naturel des plages de sable autour du Cap, nous intéressons aux les travaux en cours sur les processus physiques responsables du sable qui s'accumule dans et autour du port. Pour effectuer ces recherches, nous nous intéressons au transport sédimentaire à l'avant cote du Cap Djinet.

De cet objectif se pose une question majeure :

Pourquoi étudier ce cas particulier, notamment la bathymétrie et le transport sédimentaire, va-t-il un intérêt à apporter ?

La réponse à la question de l'ensablement dans et autour du port ? Et l'instabilité du littoral ?

La réponse est oui car c'est l'un des processus clés parce qu'il interfère directement avec le phénomène de recul (érosion) ou d'avancée de la ligne Côte (dépôt).

Néanmoins, autres questions demeurent toujours sans réponses. Ce travail vise à répondre à la question suivante :

- Quels sont les impacts du port de cap Djinet sur le littoral en général et les zones côtières adjacentes ?

Les principaux objectifs de cette recherche consistent à la compréhension le fonctionnement hydrodynamique et l'évolution morpho-sédimentaire au niveau du port (transferts sédimentaires) ainsi que la vulnérabilité de la zone. Ces objectifs s'appuient essentiellement sur des observations morphologiques, diachroniques et des mesures quantitatives des phénomènes contribuant aux changements de la morphologie de la côte ainsi que l'acquisition des données sur les mouvements sédimentaires.

**CHAPITRE I :**  
**Présentation de la**  
**zone d'étude**

**Introduction :**

Le littoral de la baie de Zemmouri est le siège d'une urbanisation et d'une activité touristique accrues qui ont conduit à sa fragilisation et au recul de son trait de côte dans la majeure partie de ce secteur depuis 1970. Cette situation s'est aggravée après la construction du port de cap Djinet, la centrale électrique de Zemmouri et les ouvrages de protection de la plage de Boumerdes. Ce travail a pour but de faire progresser la connaissance des milieux côtiers en étudiant les impacts du port sur le littoral.

L'objectif de ce chapitre est de présenter le cadre général du fonctionnement du littoral sous l'effet de la mise en place du port de Cap Djinet. Par conséquent, il est nécessaire de commencer notre travail de recherche par des généralités sur la zone d'étude, dans laquelle nous présentons les données disponibles qui vont être appuyées par des travaux de terrain, pour répondre à la problématique posée. Cette partie est consacrée pour la présentation et la caractérisation de la zone d'étude dans le contexte géographique, topographique, géologique, hydrodynamique, hydrographique et morphodynamique.

**Quelques définitions :**

**1. La notion du littoral :** Le littoral se définit d'abord comme une ligne séparant le milieu terrestre et le milieu marin, il se caractérise généralement par la ligne des plus hautes eaux marines. D'un point de vue scientifique, le littoral est défini comme étant un espace soumis à l'action de la mer dans un géo système (Bousquet 1990). Il est vulnérable aux changements climatiques planétaires et aux variations météorologiques locales. De point de vue politique et juridique de l'Algérie, le littoral est défini par l'article n° 7 de la loi du 02/02 du 5 février 2002. C'est une zone comprise entre la ligne des plus hautes eaux marines et une largeur de 800 mètres à l'intérieur du domaine terrestre, en incluant toute la largeur des massifs forestiers des plaines littorales ...etc.

**2. Vulnérabilité :** fait référence à l'impact du phénomène sur la société, c'est justement l'accroissement de la vulnérabilité des enjeux qui augmente l'incidence des risques naturels. Le bureau des secours des États-Unis définit la vulnérabilité comme : "le degré de pertes d'un élément ou d'un ensemble d'éléments à risque résultant de l'occurrence d'un phénomène naturel d'une ampleur donnée. Il est exprimé sur une échelle de 0 (pas de dégâts) à 1 (dégâts totaux)". Lavulnérabilité intéresse et concerne de nombreux acteurs impliqués dans l'aménagement et la gestion du territoire ou des structures (bâtiments, etc.), elle dépend fortement de la réponse de la population face au risque.

**3. Erosion du littoral :** L'érosion du littoral est un phénomène naturel ou anthropique<sup>1</sup> qui se produit en de nombreux endroits du monde. Différents événements peuvent induire un recul du littoral non compensé par l'engraissement local : la légère montée des océans ; des phénomènes de rééquilibrage isostatique ; la disparition (à cause d'un nettoyage trop actif) de végétaux stabilisant les vases, dunes ou arrières plages ; la diminution des apports terrigènes en sable à la suite de la construction de nombreux barrages dans les bassins-versants des fleuves. Cette érosion est ainsi contrôlée par de nombreux facteurs locaux (budget sédimentaire et disponibilité de sédiments, conditions hydrodynamiques, actions anthropiques).

**4. érosions des plages :** Une plage est un milieu mobile qui correspond à des zones de dépôts et de transfert incessant de sédiments meubles. Son budget sédimentaire est défini comme la somme algébrique de l'alimentation et de l'ablation des matériaux détritiques.

Ce budget sédimentaire, fait la balance entre les sédiments entrant et sortant du système côtier. Si ce budget est positif, la plage s'élargit et la côte progresse. S'il est négatif, la plage démaigrît et la côte recule.

**5. Transport sédimentaire :** Le vent, les courants et la houle sont des facteurs de forçage majeurs pour le transport des sédiments dans le milieu côtier (Calliari et al. 2009). Mais leur intervention sur le système peut être très fortement perturbée par le niveau de l'eau. En fonction de la surélévation de l'océan par rapport au continent, l'action des houles, et autres phénomènes de forçage influe sur le prisme sédimentaire et le mécanisme de fonctionnement de l'ensemble du système côtier.

**5.1. Transport en suspension :** Les grains de sable se déplacent sans toucher en permanence le fond marin. Ce mode est favorisé par la présence des conditions énergétiques et des sédiments fins.

**5.2. Le transport par charriage :** Les grains de sédiments sont transportés en contact permanent et continu avec le fond marin. Il s'agit essentiellement des grains qui glissent, rebondissent ou roulent. Sur les côtes sableuses, ce mode sera préféré grâce à la présence des conditions de faible énergie et/ou de sédiments grossiers.

**5.3. Le transport par (Sheet flow) :** Ce mode est favorisé par la présence des conditions énergétiques intenses et de sédiments relativement grossiers. Les grains de sédiments du fond sont exposés à de très fortes contraintes et se déplacent à l'intérieur d'une couche très mince de façon non structurée.

## I. Présentation de la zone d'étude

### I. 1. Localisation de la zone d'étude

#### Baie de Zemmouri

La baie de Zemmouri (ex baie de Courbet) se situe à une soixantaine de km à l'est d'Alger, c'est une baie ouverte largement vers le nord d'environ 40 km, dont le linéaire côtier s'étale sur 17 km (voir figure 1.1).

Le rivage est orienté SW-NE, et ses coordonnées Lambert :

- 3°48'49'' EST et 36°48'50'' (Cap Matifou) ;
- 3°43'03'' Est et 36°52'35'' (Cap Djinet).

La baie de Zemmouri (ex baie de courbet) est limité par :

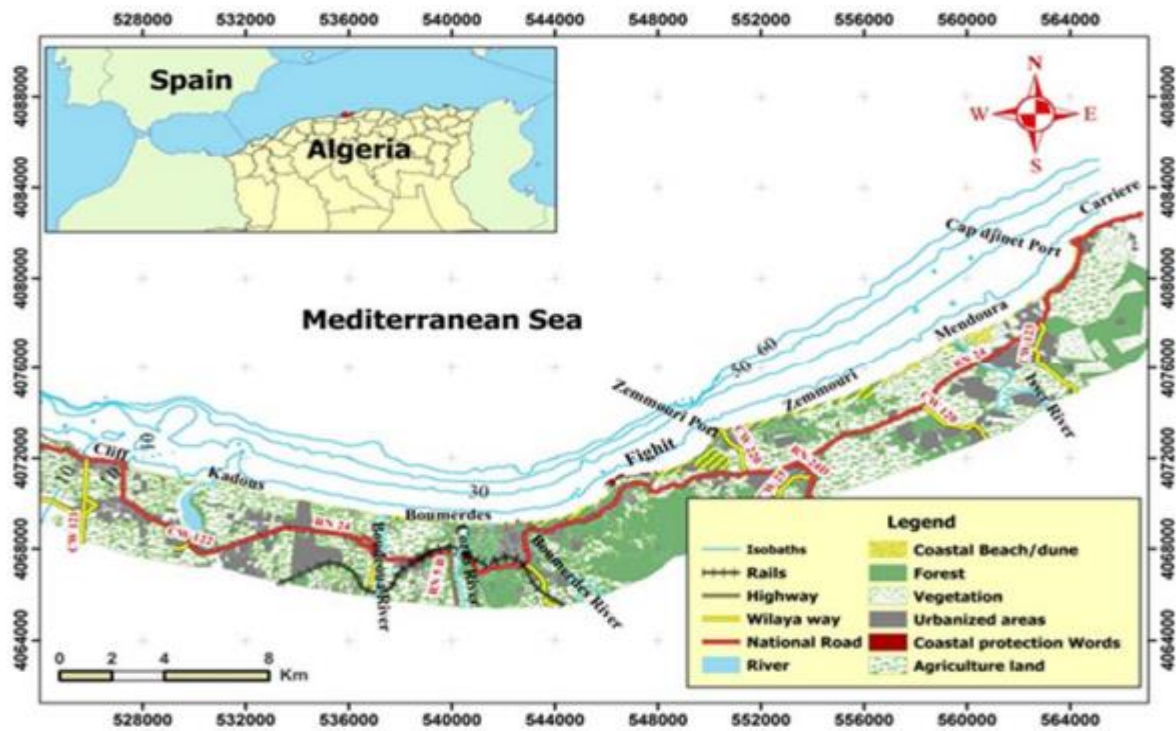
- La méditerranée occidentale au Nord.
- La plaine de la Metidja au Sud.
- Le Cap Djinet à l'Est.
- Le Cap Matifou à l'Ouest.

#### Site d'étude

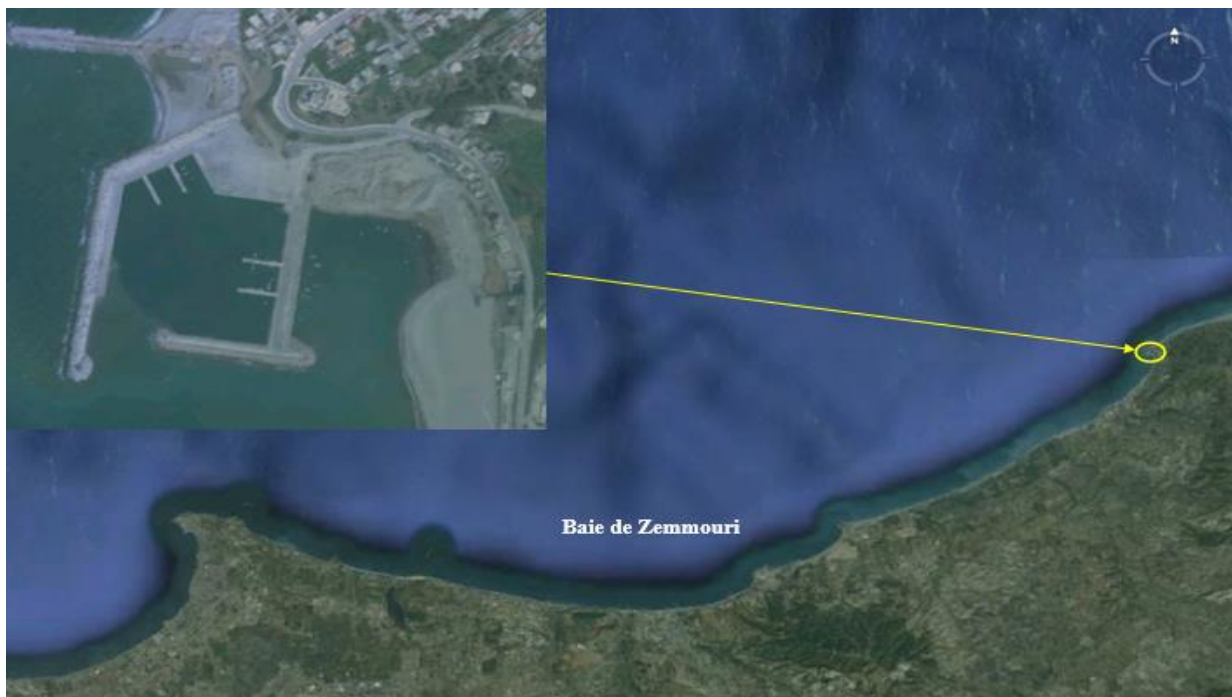
A l'extrême est de la baie de Zemmouri, se situe le port de Cap Djinet (voir figure 1.2). Réalisé en 2007 ce port mixte (plaisance et pêche) se situe à 25 km à l'Est de la wilaya de Boumerdès.

Ces coordonnées géographiques sont :

- Longitude : 03°34' E.
- Latitude : 36°48' N.

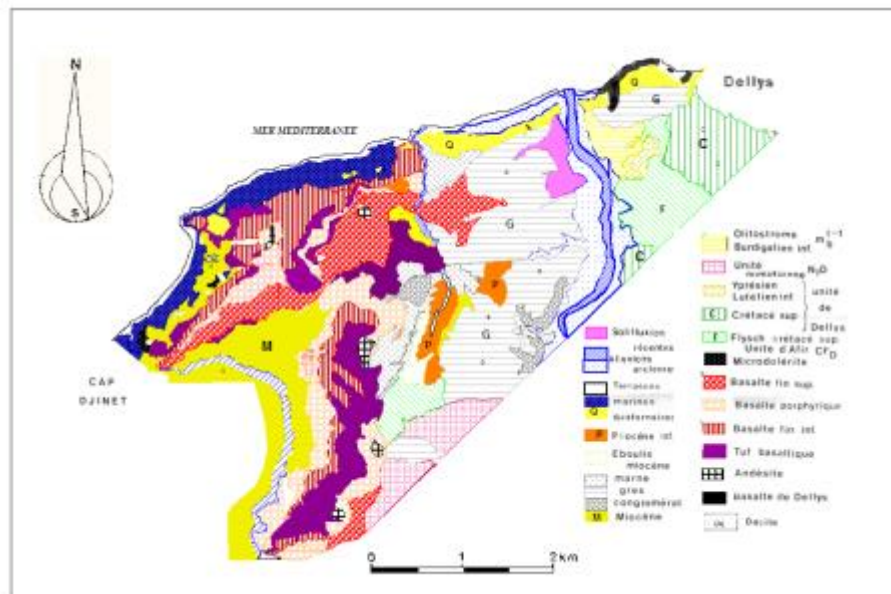


**Figure 1.** Situation géographique de la Baie de Zemmouri.



**Figure 2.** Localisation du port mixte de Cap Djinet dans la zone (Google Earth, 2013).





**Figure 4.** Carte géologique de la région de Cap Djinet d'après (Degiovanni et Raymond 1978)

### A. Domaine interne

Situées au Nord, les unités du domaine interne sont constituées par des blocs résultants de la dislocation de la plaque d'Alboran. Dans ces unités internes on distingue un socle cristallophyllien (Socle Kabyle), un paléozoïque non métamorphique et une couverture méso-cénozoïque appelée selon les auteurs, dorsale kabyle ou chaîne calcaire et les flyschs.

#### A.1. le massif de la grande Kabylie

On distingue un socle cristallophyllien (Socle kabyle), un paléozoïque non métamorphique et une couverture méso- cénozoïque appelée selon les auteurs dorsale kabyle ou chaîne calcaire.

#### A.2. la couverture nord

Kabyle Le socle kabyle est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques (Gneiss, Marbres, Amphibolites, Micaschistes et Schistes) et d'un ensemble sédimentaire écaillé allant du Paléozoïque peu métamorphique (**Ordovicien à Carbonifère**) au Tertiaire (**Monié et al. 1982**).

### A.3. la dorsale kabyle

La dorsale kabyle se présente sous forme d'écaillés d'âge Permo-triasiques à Eocène moyen (Lutétien). Du point de vue lithologique, ces formations comprennent des calcaires du Lias et de l'Eocène, des dolomies du Trias au Lias inférieur et des grès du Permo-Trias.

### B. Domaine externe

Ou domaine tellien, dont les unités du domaine externe sont structurellement les unités les plus basses qui sont développées au sud de la bande discontinue, que forment les unités internes. Les unités externes sont représentées par un ensemble de nappes allochtones pelliculaires constituées principalement de marnes d'âge crétacé moyen à néogène, et qui s'étalent sur une centaine de kilomètres vers le Sud

### Les principales formations géologiques

#### Le socle Kabyle :

Le socle kabyle est composé de massifs cristallophylliens métamorphiques (Gneiss, Marbres, Amphibolites, Micaschistes et Schistes) et d'un ensemble sédimentaire écaillé allant du Paléozoïque peu métamorphique (**Ordovicien à Carbonifère**) au Tertiaire (**Saadallah, 1992**).

#### B. Les intrusions magmatiques

Elles se rencontrent au Cap de Matifou. Elles englobent les andésites quartzitiques du Burdigalien et le socle rhyolitique du Vindobonien qui affleurent au niveau d'Ain Taya.

### C. Les formations mio-plio-quadernaire

#### C.1. Le Miocène :

Cette formation est constituée de granite, granodiorite, et l'andésite dont quelques époinements sont visibles dans les reliefs de Thénia et du Cap Djinet. ⚠Burdigalien Les dépôts burdigaliens sont formés de faciès argileux et des éléments conglomératiques pris dans une matrice gréseuse. Ces formations reposent en discordance sur le socle cristallophyllien. ⚠Vindobonien Il fait partie du Miocène moyen, il est constitué de terrains marnés argileux et marno-calcaires, ces formations sont abondantes sur le long des falaises de Boudouaou El Bahri.

### C.2. Le Pléistocène

- Le Tyrrhénien : il est représenté par une terrasse marine ancienne, constituée de sables fins, lités à passage graveleux et renfermant des fragments de coquilles (Venus, pétoncles...). Parfois, il est recouvert par les sables rubéfiés.
- Les sables rouges : ils reposent sur les terrains les plus anciens constituant ainsi les terrasses. Ils sont de caractère limoneux, rubéfiés à dragées de quartz bien roulés et représentant des stratifications bien croisées.
- Les Alluvions anciennes : sont constituées de sables roux, de galets roulés hétérogènes, et par endroits de gros blocs conglomératiques. Ces éléments dont la taille varie des graviers centimétriques aux blocs métriques, sont emballés dans une matrice argileuse.

### C.3. L'holocène

La sédimentation Holocène sur le plateau continental Algérien est matérialisée par deux dépôts successifs : le premier organogène et le second terrigène ; La phase organogène est représentée par une accumulation de coquilliers et de construction de type coralligène. A Boumerdès, ce dépôt est recouvert par des sédiments terrigènes (Bouhamadouche, 1993). De Boumerdès jusqu'à Cap Djinet, le dépôt organogène apparaît en lambeaux (Bouhamadouche, 1993). Les sables constitués, essentiellement, de débris de micaschistes et de gneiss riches en biotite et en muscovite, forment la phase terrigène grossière des sédiments. La fraction terrigène fine, quant à elle, est constituée de particules argilo-silteuses (Bouhamadouche, 1993). (Leclaire, 1972) Considère que ces deux modes de sédimentation se sont exercés dans des sites différents, avec des intensités relatives variables d'une part d'Est en Ouest (dans l'espace), et du quaternaire récent à l'actuel (dans le temps).

### C.4. Le quaternaire récent

Le quaternaire récent est représenté par des alluvions récentes et des dépôts actuels des plages.

- Les Alluvions récentes : elles sont distribuées le long des Oueds et constituées principalement de sables, de graviers, d'argiles et de vase grisâtre à noirâtre.

- Les Alluvions actuelles et les plages sableuses : elles contiennent des débris d'organismes marins. En plus de ces formations géologiques, (Ficheur, 1885) et (Chemlal, 1983) mentionnent l'existence dans la région de cinq terrasses marines (Pmages et Dunes anciennes) et sept terrasses alluviales quaternaires. Ces différentes terrasses alluviales ont été construites par l'oued Isser au cours de plusieurs mouvements de défluviations.

**Conclusion partielle :**

La zone de Cap Djinet s'insère dans le paysage nord-ouest de la grande Kabylie, elle est formée de grandes unités topographiques (chaînes de montagnes, massifs côtiers et bassins) constituant l'assiette globale des ensembles structuraux. Les grands traits structuraux du domaine interne et de l'ensemble de la région sont acquis durant la période Moi-plio-quaternaire.

La frange côtière est occupée par des roches magmatiques représentées par des roches plutoniques et des laves post-tectoniques mises en place au Miocène et recoupant les formations post-nappes. Sur cette frange côtière règne un climat de type méditerranéen à hiver doux et humide et un été chaud et sec. Elle est drainée par deux principaux oueds qui sont l'oued Sébaou à l'Est et oued Isser à l'ouest qui alimente la côte en sédiments.

### I. 3 Contexte sismique :

La région de Boumerdès est caractérisée par une activité sismique importante, qui est à une relation avec le mouvement tectonique, cependant la plaque africaine a remonté contre la plaque eurasiatique. À cet effet, notre zone d'étude a été secouée par un séisme de magnitude  $M_1=6,2$  selon le CRAAG en 2003 (Figure I.5). Ce séisme a provoqué un tsunami dans les îles Baléares et le choc principal a été ressenti jusqu'à 400 km de la zone épiscopentrale. L'épicentre se trouve en mer à environ 40 km de la côte entre les villes de Zemmouri et Cap Djinet. Ce séisme a provoqué plusieurs phénomènes géologiques entre Dellys et Bordj El Bahri, comme effondrement des falaises, glissements de terrain, la liquéfaction du sol et le retrait de la mer.

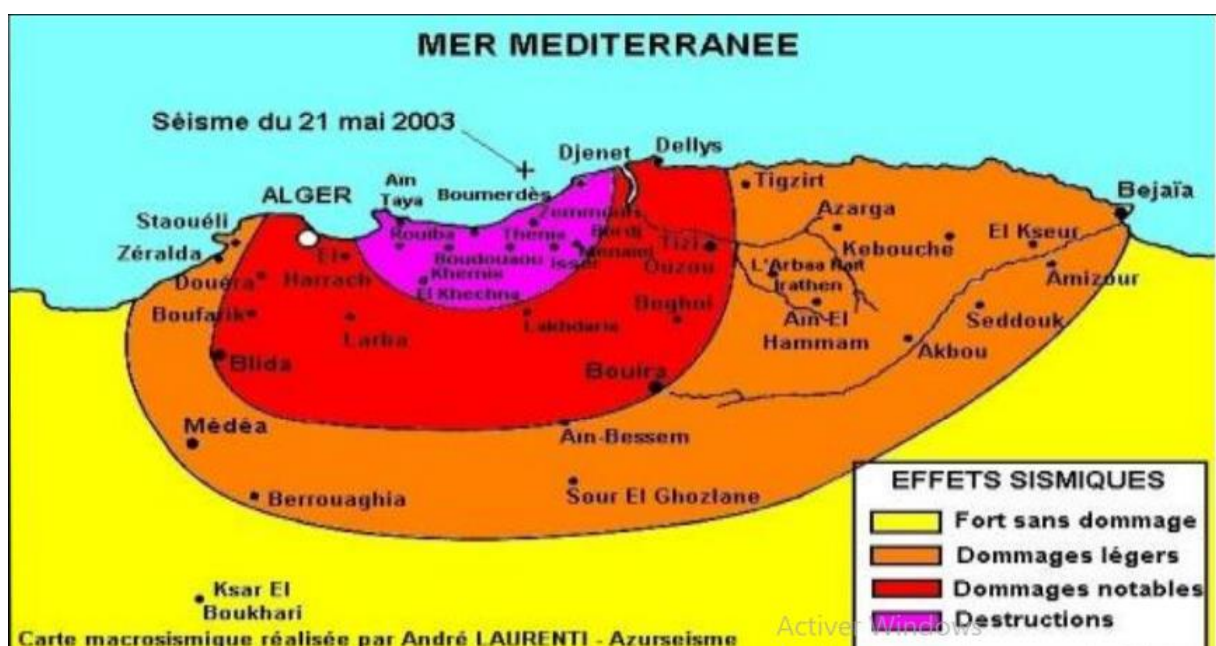


Figure 5. Séisme du 21 Mai 2003 d'Alger et de Boumerdes (CRAAG, 2003)

### I.4 .Contexte climatique et hydrodynamique

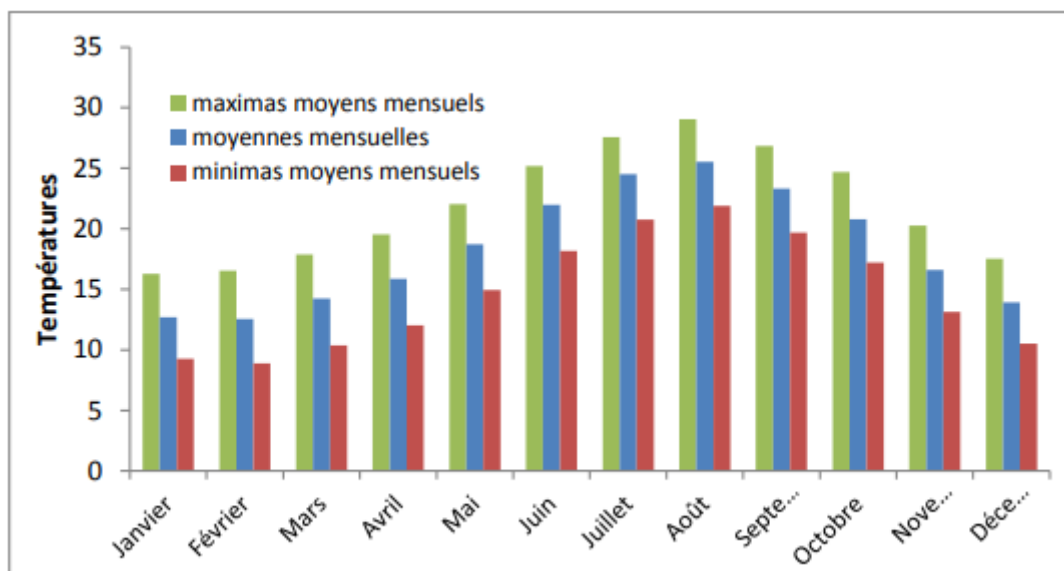
L'étude des paramètres climatiques nous permettons de mieux comprendre les processus hydro-sédimentaires, le long des côtes, qui contribuent activement dans l'évolution morphodynamique du littoral.

Le climat de la baie de Zemmouri est entièrement placé sous l'influence du bassin Méditerranéen. Qui jouit d'un climat humide et tempéré avec une pluviométrie comprise entre 800 et 900 ml /an. Les températures varient entre 8°C et 38°C, en moyenne les 25°C dans l'année (DEA, 2016).

La wilaya de Boumerdès jouit d'un climat méditerranéen, caractérisé par une saison pluvieuse allant en moyenne de septembre à mai, et par un été sec et ensoleillé, entretenu par la proximité de la mer. L'humidité relative est élevée et constante durant toute l'année (DEA, 2016).

### I.4.1. Les températures

L'étude de la variation de ce paramètre est basée sur l'analyse des moyennes mensuelles calculées à partir des enregistrements effectués régulièrement au niveau de la station marine la plus proche du site d'étude située dans le port de Delly. Ces enregistrements recouvrent une période de 19 ans allant de 1994 à 2012. Cette analyse démontre que la région d'étude est caractérisée par un climat à deux saisons : Un été sec et chaud et un hiver avec généralement des précipitations courtes et violentes (Lacri, 1980 in (Tireche, 2006)) En effet, l'allure du diagramme présentant les valeurs des températures moyennes mensuelles calculées sur la période de 19 ans (Figure6). Fait ressortir que le mois le plus chaud de l'année est celui du mois d'Aout (26°C) avec un maximum moyen de 30°C, et le mois le plus froid est celui de Février (13°C) avec un minimum moyen de 9°C.



**Figure 6.** Moyennes mensuelles des températures à la station marine de Dellys, période (1994-2012) (ONM).

### I. 4.2 Précipitations :

Les données utilisées dans ce travail ont été obtenues à la station de Dar El Beida. Les données couvrent une période de 10 ans (du 28 mai 2010 au 3 juin 2020). L'analyse de ces données chiffrées montre que notre région se caractérise par les irrégularités interannuelles et inter saisonnières sont importantes, mais les précipitations sont importantes

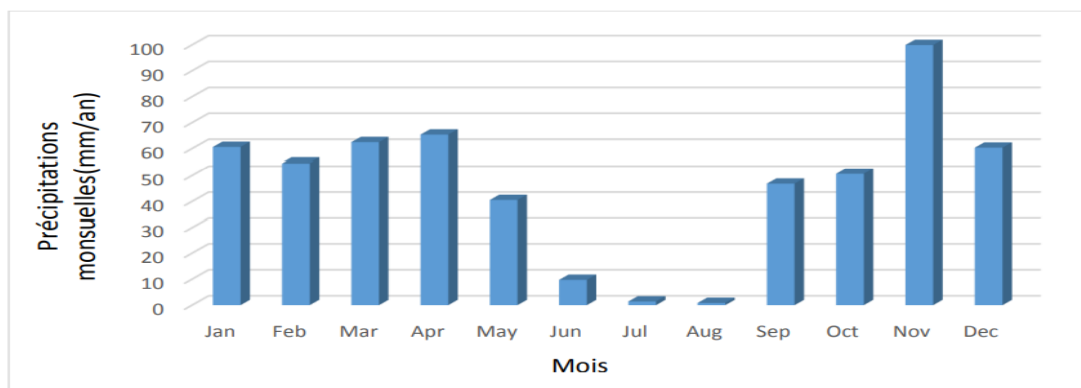
En hiver : Les précipitations sont irrégulières et relativement faibles le reste de la saison.

L'analyse des données nous permet également de générer un histogramme des changements

Précipitations mensuelles. De ces histogrammes, on distingue deux saisons : Saison des pluies de novembre à février, la moyenne mensuelle maximale atteint 100 mm, l'autre est la saison sèche qui commence en juin jusqu'au mois d'août avec un minimum de 2 mm, cependant il existe une période transitoire entre mars et mai où les précipitations moyennes varient entre 45 et 64 mm.

**Tableau 1.** Moyennes mensuelles des précipitations à la station de Dar El Beida (ONM 2010-2020).

| Mois  | Jan  | Fév  | Mar  | Avr  | Mai  | Juin | Juil | Aout | Sept | Oct  | Nov   | Déc   |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| P(mm) | 92.9 | 90.9 | 74.3 | 66.9 | 64.8 | 12.2 | 2.5  | 11.0 | 44.9 | 67.3 | 142.6 | 130.7 |



**Figure 7.** Moyennes mensuelles des précipitations de la station marine de Dellys (ONM 2010-2020).

### I.4.3 La houle

La houle est un agent fondamental des transports sédimentaires. En effet, d'une part, elles peuvent provoquer une remise en suspension et un déplacement des matériaux déposés sur les fonds et, d'autre part, elles engendrent, lorsqu'elles sont obliques au rivage, un courant littoral qui transporte des matériaux. Sur l'avant côte, après le déferlement des vagues, il s'effectue un transport dit en « dents de scie » qu'est un mode de transport fondamental pour les galets (Mezouar, 2009). La connaissance des caractéristiques de la houle au large : direction, amplitude, période, énergie... permettent de :

- Mieux analyser les constatations faites quand à l'évolution de littoral,
- Déterminer le dimensionnement des ouvrages de protection à réaliser,
- Mieux estimer le transit sédimentaire. Comme le cas des vents, deux sources de données sont utilisées pour étudier le régime général des houles et l'état de la mer dans la région de cap-Djient (Les données du MEDATLAS et de l'ONM).

#### ✚ Analyse des houles au large (Med Atlas)

Les données de houles au large sont extraites à partir de la base de données MEDATLAS sous forme de tableaux bi-variables contenant les fréquences d'apparition annuelle et saisonnière. Ces fréquences d'apparition sont calculées à partir de la série de données enregistrée entre 1999 et 2004 au niveau de la station la plus proche du site d'étude localisée à 3°E et 37°N au large de la Baie d'Alger par 250 m de profondeur.

**Tableau 2.** Fréquences annuelle et saisonnières des houles au large par direction entre 1999 et 2004 (Source MedAtlas)

|                         | Annuelle | Hiver | Eté   | Automne | Printemps |
|-------------------------|----------|-------|-------|---------|-----------|
| <b>N (0° ± 15°)</b>     | 13,57    | 19,5  | 7,2   | 15,16   | 11,93     |
| <b>NE (45° ± 15°)</b>   | 42,95    | 25,8  | 65,48 | 37,95   | 45,09     |
| <b>E (90° ± 15°)</b>    | 5,47     | 2,9   | 10,02 | 3,79    | 6,26      |
| <b>SE (135° ± 15°)</b>  | 0,4      | 0,9   | 0,3   | 0,5     | 0,3       |
| <b>S (180° ± 15°)</b>   | 0,4      | 1,4   | 0,2   | 0,6     | 0,1       |
| <b>SW (225° ± 15°)</b>  | 0,8      | 2,2   | 0     | 1,4     | 0,4       |
| <b>W (270°N ± 15°)</b>  | 27,3     | 33,7  | 12,92 | 31,1    | 28,16     |
| <b>NW (315°N ± 15°)</b> | 7,7      | 11,7  | 3,5   | 8,29    | 6,28      |

#### Résultats :

**En hiver :** Les houles d'Ouest dominent avec la majorité des amplitudes sont entre 1 et 3 m pouvant atteindre les 4m, elles engendrent des courants de retour qui entraînent les sédiments vers le large (Belkessa, 1991).

**En été :** Les houles les plus dominantes sont issues du secteur Nord-Est avec des amplitudes moins faibles, et on remarque aussi que les houles de secteur Ouest sont assez importantes, elles engendrent une dérive littorale de l'Est vers le Sud-Ouest.

#### I.4.4 Le Vent

Pour une région côtière, la connaissance des régimes des vents est une extrême importance. En effet ils sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse. Ils jouent donc un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux d'une part, surtout les côtes basses d'accumulations des régions à climat sec (Belkessa 1991) et d'autre part dans l'évolution des forçages hydro-météorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long des côtes (Belkessa 1991). Deux bases de données sont utilisées pour décrire le régime général des vents, la première au large (Données du MEDATLAS) et la seconde à la côte du site d'étude (Données de l'ONM).

L'analyse statistique de ces données nous a permis de déterminer la fréquence d'apparition du vent par direction et par classe de vitesse à deux échelles ; annuelle et saisonnières et de tracer les roses annuelle et saisonnières des vents.

##### ✚ Régime général des vents au large

La première base de données est extraite à partir de l'Atlas électronique des vents et des vagues de la mer Méditerranéenne publiée en Avril 2004, ce dernier a été mise en œuvre dans le cadre du projet MEDATLAS développé durant la période 1999-2004. Les données sont extraites sous forme de tableaux bi-variables contenant les fréquences d'apparition annuelle et saisonnière des vents calculées à partir de la série de données enregistrée au niveau de la station la plus proche du site d'étude située à 3°E 37°N au large de la Baie d'Alger à 35m de profondeur.

##### ✚ I.4.4.2 Les directions au large :

Les résultats de l'analyse statistique des données au large sont représentés sous forme de rose annuelle et saisonnière et sous forme de tableau fréquentiel par direction (**Figure 8**)

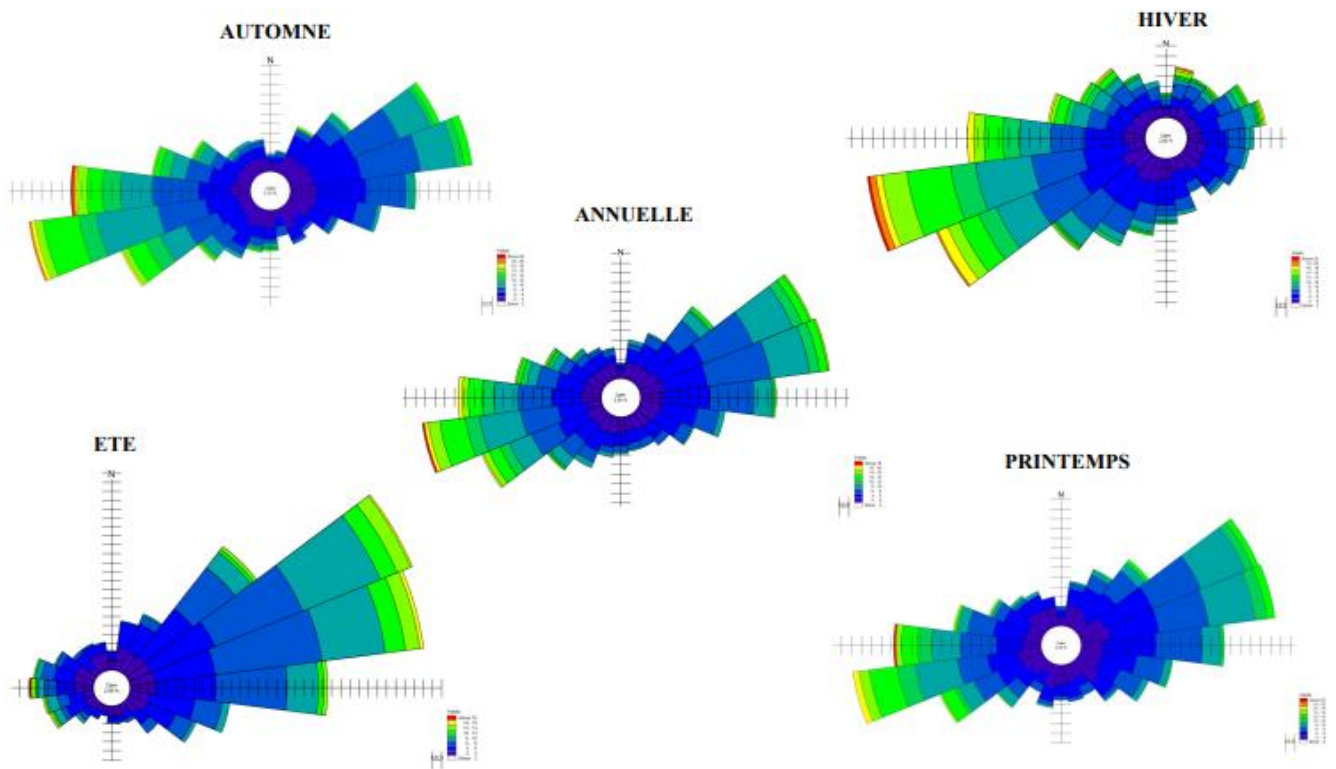


Figure 8. Roses annuelle et saisonnières des vents au large de Cap Djinet (MEDATLAS)

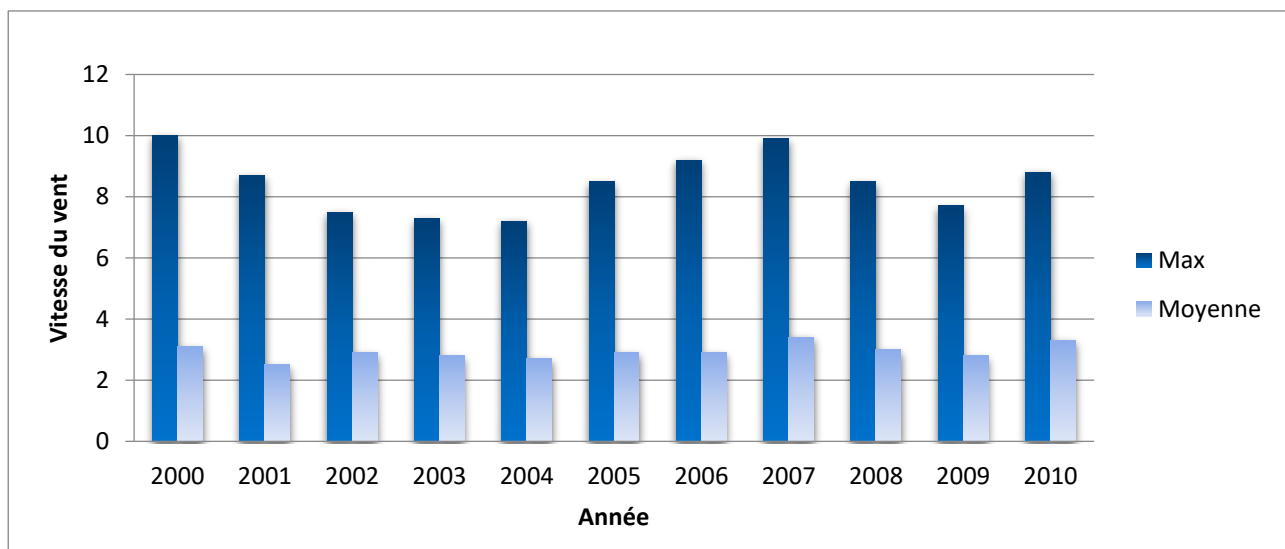


Figure 9. Régime des vents dans la zone d'étude (ONM, 2005-2010).

### I.4.5. Courants

En raison de l'absence des données sur le régime de la courantologie dans la région de Cap Djinet, nous nous sommes contentés de quelques résultats de campagnes de mesures ponctuelles des courants. Selon un rapport de L'Institut Danois d'Hydraulique (DHI), sous-traitant de T.A.M.S établi dans le cadre du projet du complexe portuaire d'Isser.

Les vitesses des courants mesurées sont supérieures à 0,01m/s avec un maximum de 0,34 m/s. 70 % des directions des flotteurs étaient dirigées vers le Sud-Ouest (SW). D'autres mesures ont été effectuées au niveau du port de Cap Djinet, durant la période allant du 16 au 20 octobre 2014 par (Khalfani and Boutiba 2019), réalisées dans le cadre de la recherche scientifique. Les vitesses des courants mesurées montrent que les valeurs ne dépassant pas 0.24 m/s.

#### Les courants de dérive littorale

Le courant de dérive littorale est un mouvement parallèle au rivage de masse d'eau sous impact des vagues, qui arrive à la côte avec un angle d'incidence entre 45 et 50%. Dans notre zone d'étude, les vents et les houles de direction Nord-Est provoquent une dérive littorale de l'Est vers l'Ouest alors que les houles et les vents de direction ouest et nord-ouest provoquent une dérive littorale de l'Ouest vers l'Est.

#### Les courants de retour

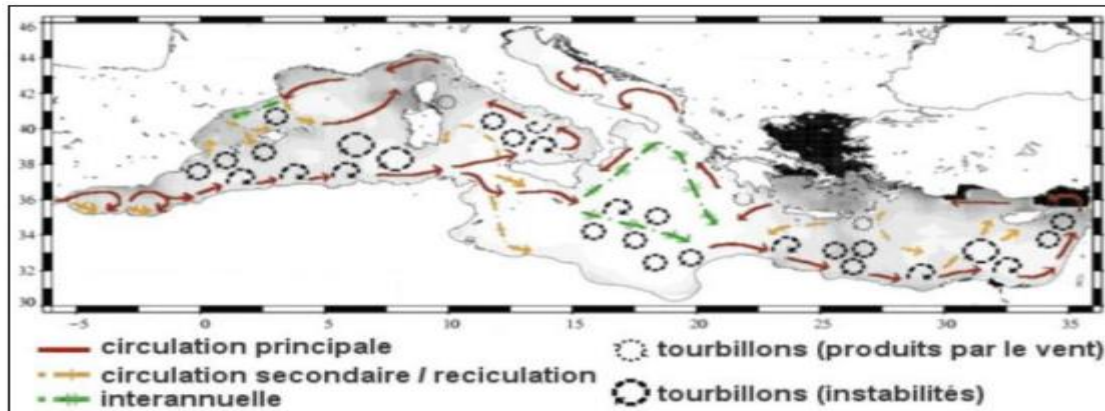
Ces courants sont générés par les houles frontales du nord et du nord-nord-est le long du Cap Djinet. En hiver, ces houles viennent de manière frontale, le déferlement se fait directement contre le pied de la falaise. Ceci conduit à l'érosion par affouillement prononcé. Les sédiments arrachés aux falaises sont enlevés par ces courants et transportés vers le large.

#### Les courants permanents

Les courants des eaux atlantiques qui rentrent par le détroit de Gibraltar sous forme de tourbillons sont dirigés de l'ouest vers l'est avec une vitesse avoisinant les 07 nœuds. Ils atteignent la côte de Zemmouri avec une vitesse de 0.5 à 2.5 nœuds. Ces courants créent un contre-courant littoral orienté vers l'Ouest dont la vitesse est inférieure à 0.5 nœud (Benzohra 1990).

#### I.4 6. Les marées

La marée est un mouvement vertical oscillatoire du niveau de la mer généré par l'attraction de la lune, et le soleil sur les molécules fluides dans les mers et les océans, néanmoins d'autres facteurs interviennent comme la force de Coriolis, le vent et la pression atmosphériques (CIRIA 2009).



**Figure 10.** Circulation générale de surface dans la mer Méditerranée (Millot and Taupier Letage 2005).

#### Conclusion partielle :

Le climat de la région est un climat type méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été. Le mois le plus pluvieux est celui de Novembre avec un bilan moyen mensuel de 98 mm, par contre le mois le moins pluvieux est celui de Juillet avec un bilan global de 2.5 mm. La moyenne mensuelle maximale atteint 100 mm, l'autre est la saison sèche qui commence en juin jusqu'au mois d'aout avec un minimum de 2 mm. Cette région appartient au climat Méditerranéen subhumide.

La variabilité interannuelle des débits liquides de l'Isser est plus importante que celle du Sébaou. L'évolution des débits pour le cas de l'Isser et Sebaou est caractérisée par la succession de 18 et 20 périodes hydro-climatiques avec une norme d'écoulement estimée à 260 millions m<sup>3</sup> et 825 millions m<sup>3</sup> respectivement. L'érosion spécifique moyenne a été estimée à 1116 tonnes/an/km<sup>2</sup> et 5606 tonnes/an/km<sup>2</sup> respectivement avec une corrélation de 0.7 avec les pluies annuelles.

Les vents dominants proviennent des secteurs Nord-Est en été, Ouest en hiver. Pendant l'automne et le printemps les vents dominants sont issus des deux secteurs Nord-est et Ouest.

Les vents dominants sont caractérisés par des vitesses oscillant généralement entre 2 et 12m/s. Les fortes tempêtes proviennent fréquemment de l'ouest (20m/s en hiver et en Automne).

Les houles les plus fréquentes proviennent des deux secteurs Ouest (27% et Nord Est avec des hauteurs comprises entre 0.25 et 2.5m. Les fortes agitations proviennent fréquemment de l'ouest avec des hauteurs significatives de houles pouvant atteindre un maximum de 7.5m en hiver. Les classes de périodes de pointes ( $T_p$ ) dominantes (3 – 9 s) à 50 % du temps

## I.5.Contexte hydrologique

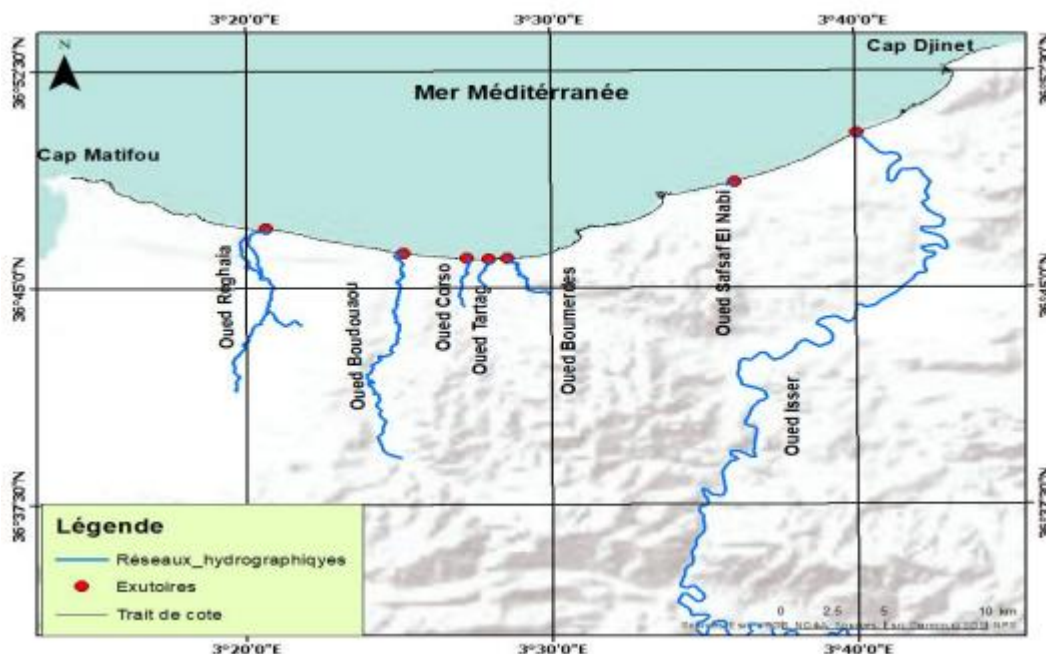
### I.5.1. Le réseau hydrographique

Le réseau hydrologique de la région représente une superficie nutritifs dans les régimes de la baie de Zemmouri et plus précisément le Cap Djinet, en particulier les régimes de plage.

Notre zone d'étude est caractérisée par plusieurs vallées sèches, leur réseau

Les bassins fluviaux drainent les bassins versants adjacents et se jettent directement dans la mer.

Parmi lesquels les Oueds : Ammara, Isser, Merdja, Sef-saf, Boumerdes, Tatareg, Corso, Boudouaou, et Réghaia (**Figure11**).



**Figure 11.** Réseau hydrographique de la zone d'étude (**modifié**)

Les oueds qui irriguent la région d'étude ainsi que l'abondance des matériaux qui arrivent en mer contribuent efficacement à l'évolution de la morphologie littorale en général et celle de la morphodynamique actuelle de la côte de Cap Djinet (Boutiba 2006).

Les principaux apports alimentant cap Djinet ont pour origine :

- ✓ Oued Sébaou à l'Est
- ✓ Oued Isser à l'Ouest.

**Oued Isser** : le plus important, prend naissance à 5 km au Sud-ouest de Tablat et dont les coordonnées de son embouchure sur la côte sont 36°50'21"N et 3°40'1"E, son bassin couvre une superficie de 4145 km<sup>2</sup>, il coule sur un lit à topographie irrégulière, constitué de bancs de sables et de graviers.

**Oued Sébaou** : second oued de par son importance après celui d'Isser, distant d'environ 13 km de notre zone d'étude et dont les coordonnées de son embouchure sont 36°54'39 "N et 3°51'17"E, d'une longueur de 110 km environ depuis sa source à l'amont dans le massif du Djurdjura à une altitude de 1837m. La superficie totale de son bassin versant est de 2510 km<sup>2</sup> avec une largeur moyenne de 23 km.

**Oued Boudouaou** il draine la partie orientale de notre région. Son bassin versant couvre une surface de 150 Km<sup>2</sup>, avec une longueur de 22 km. L'Oued Boudouaou prend naissance à partir d'oued Keddara et oued El Haddad, le volume annuel moyen de l'Oued Boudouaou est évalué à 0.21 Mm<sup>3</sup> (Tab II.6) (ANRH 2004).

**Oued Corso** La superficie de son bassin versant couvre 100 km<sup>2</sup>, son écoulement moyen annuel est évalué à 27 Mm<sup>3</sup>, son volume annuel moyen est évalué à 0.11 Mm<sup>3</sup> (ANRH 2004).

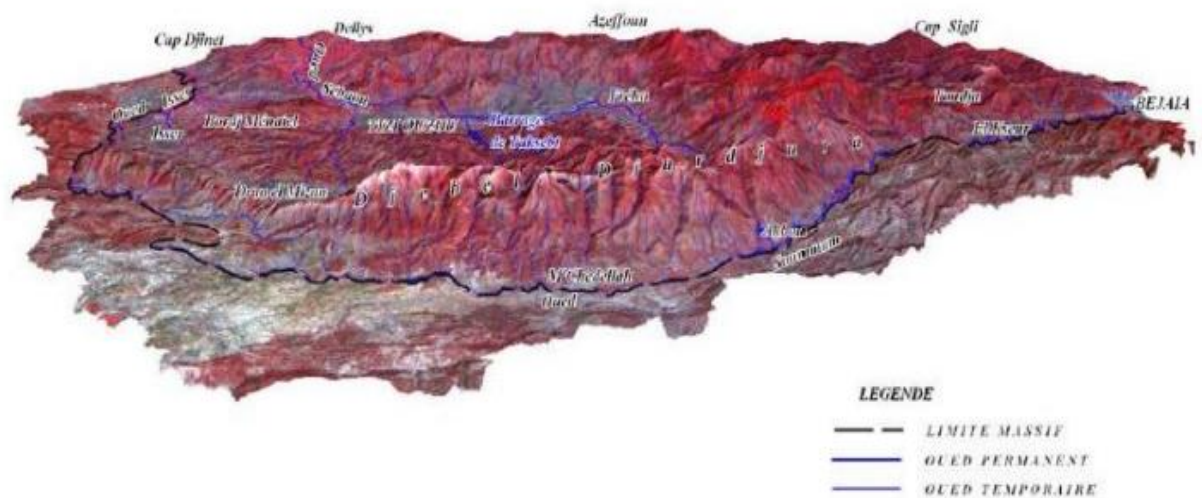
**Oued Boumerdès** Il débouche sur la plage du Rocher noir. Son débit solide annuel moyen est évalué à 0,02 Mm<sup>3</sup> (ANRH 2004).

### **I.6.Contexte géomorphologique :**

Notre zone d'étude se présente comme une baie incurvée avec un réseau hydrographique plus ou moins intense. L'étude géomorphologique a fait ressortir quatre unités morphologiques qui sont :

➤ **La zone montagnes :** Le système orographique de la grande Kabylie (ou Kabylie du Djurdjura) est compartimenté principalement en trois chaînes de montagnes en allant du Sud vers le Nord (Figure 12) :

- La chaîne du Djurdjura
- La chaîne centrale composée par les massifs Ancien kabyle, Akfadou et Taourirt Ighil.
- La chaîne littorale qui renferme le massif de Cap Djinet



**Figure 12.** Carte morpho-physique en Modèle Numérique du Terrain montrant le relief de la Kabylie du Djurdjura (MATET/CENEAR, 2008)



**Figure 13.** Carte des divers géo-systèmes de la Kabylie du Djurdjura (MATET/CENEAR, 2008) modifiée)

- **Les plaines littorales :** L'interface Terre/Mer entre l'embouchure de l'oued Isser et l'oued Sébaou comporte de nombreuses accumulations sableuses et dunaires ; celles-ci sont étalées au pied des plaines littorales destinées à l'agriculture et à l'urbanisme, au pied des collines marneuses et du massif de Djinet qui plonge très brutalement dans la mer au niveau du Cap (**Dagorne, et al., 1985**).

Les plaines littorales, limitées dans leur extension géographique, deviennent plus étroite au-delà de l'Oued Isser jusqu'à disparaître au niveau du Cap, pour reprendre à environ 5 km au Nord Est du Cap. Ces plaines littorales représentent environ 50% du linéaire côtier notamment dans les zones proches des embouchures des oueds en particulier l'oued Sébaou, tout en présentant une topographie plane.

- **Le cordon dunaire :** longe toute la partie littorale avec une végétation plus ou moins intense, ce cordon s'étend sur une longueur de 15 km environs avec une largeur de 5 à 20m selon l'endroit.
- **Les plages :** font partie de la catégorie des cotes basses, elles sont rectilignes et parallèle à la route nationale RN24, ces plages longent le Cap Djinet d'est à l'ouest

### Conclusion partielle

Le long de la côte de la zone d'étude Cap Djinet est constituée essentiellement de plages sableuses alimentées essentiellement d'Oued Isser et le Sébaou.

Le principal cours d'eau du réseau hydrographique de la région d'étude est le Sébaou. Formé par la réunion de plusieurs affluents torrentueux (Séba qui signifie sept), lesquels prennent naissance sur les versants Nord et Est du massif principal du Djurdjura, ou sur les pentes sud de la chaîne littorale qui lui est parallèle. Il coule entre la région des contreforts et la chaîne littorale et se jette dans la mer à l'Est de Cap Djinet. Ce dernier alimente toute la côte en sédiment et surtout qu'il divise directement en mer.

Notre zone représente une topographie plate constituée essentiellement de plages sableuses, à l'est et l'ouest du port.

# **CHAPITRE II : Etude bathymétrique de Cap Djinet**

## Introduction

La zone côtière est une interface complexe entre la terre et la mer ; cette complexité est due aux différents acteurs et facteurs qui interviennent dans l'évolution de cet espace. Les systèmes côtiers sont des entités en équilibre dynamique à l'égard des facteurs hydrodynamiques, sédimentaires et géomorphologiques. Toutefois, cet équilibre est fragile, comme en témoigne l'érosion côtière sévère qui affecte les littoraux des différentes régions côtières du monde.

Le littoral algérien s'étend sur un linéaire côtier de 1622 km. Il représente un écosystème fragile et constamment menacé de dégradation en raison de la concentration de la population, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière.

En outre, le littoral de cap Djinet est en particulier la région centrale, a subi une anthropisation croissante, occupation du sol, qui intervint dans la dégradation et l'érosion des plages.

La côte de Cap Djinet comme les autres côtes sont soumises à l'érosion côtière. Ce phénomène est causé par des processus naturels d'une part (tempêtes, élévation du niveau de la mer et la submersion marine...), il est accentué par des interventions humaines (occupation forte du linéaire côtier, et implantation des ouvrages de protection, etc.) (**Boutiba and Guendouz 2006**).

Ces facteurs influent sur la circulation côtière des processus hydrodynamiques. Ces agents sont importants dans la redistribution et la classification des sédiments à petite et à grande échelle.

À cet effet, l'étude de l'évolution de la bathymétrie est indispensable dans la résolution du problème lié à la fragilité du système côtier. Elle nous permet de donner un aperçu sur la classification et la typologie des plages (Hemdane 2006). La variabilité spatio-temporelle de la morphologie sous-marine de Cap Djinet est basée sur l'utilisation de trois levés bathymétriques de différentes dates.

## II.1 Étude bathymétrique

L'étude bathymétrique est une étape indispensable dans le diagnostic et la résolution du problème d'ensablement des ports. Des informations si importantes, à l'échelle spatiotemporelle, peuvent être extraites à partir d'une carte bathymétrique et d'un suivi diachronique de la morphologie sous-marine. Une vue générale sur la morphologie peut nous renseigner sur la topologie de la plage, les parcours des courants potentiels.... Ect.

La présence de méga-barres sous-marines, parallèles à la cote, dans la région de Cap Djinet (Belkessa, 1991) dont la migration cross-shore peut atteindre le port, nous a poussés à faire un suivi des profils à partir des trois levés bathymétriques. La cartographie des zones d'érosion et d'accrétion et le cubage des sédiments sont des documents très importants qui nous seront de grande utilité.

En plus de ces études, la carte bathymétrique est une donnée de base pour la modélisation de l'hydrodynamisme dans les zones côtières. L'étude topo-bathymétrique peut aussi nous être utile dans la sélection de l'emplacement et du type de la structure pour se protéger contre la dérive littorale, en utilisant, par exemple, les affleurements et les récifs rocheux.

La carte marine est un document offrant toutes les garanties pour la navigation (Signalisation des hauts fonds). C'est aussi un moyen de connaissance de la dynamique sédimentaire, ainsi elle nous permet de définir la morphologie sous-marine.

## II.2 Le mode du levé bathymétrique :

Le levé bathymétrique nécessite la mise en œuvre de différents capteurs et équipements qui consistent à déterminer les coordonnées tridimensionnelles des points du fond marin dans le système géodésique WGS84 à l'aide des équipements suivants :

- Un sondeur mono ou multifaisceaux : il émet du son qui va rebondir sur le fond et revenir au sondeur. Le temps de parcours du son donne une information sur la distance du fond.
- Un profileur de célérité : la vitesse du son étant différentes selon les paramètres du milieu (pression, température, salinité,...), il convient de mesurer cette vitesse afin de pouvoir en déduire les distances.
- Un système de positionnement dépendant du sondeur pour connaître la position (latitude, longitude, altitude) du navire dans l'espace.

- Une centrale d'attitude qui permet de connaitre précisément l'orientation dans l'espace du navire au moment de la mesure.
- Une embarcation adaptée aux contraintes matérielles et d'accès au plan d'eau.
- Une station DGPS-RTK de référence située à proximité du PORT.

II.3 Carte bathymétrique :

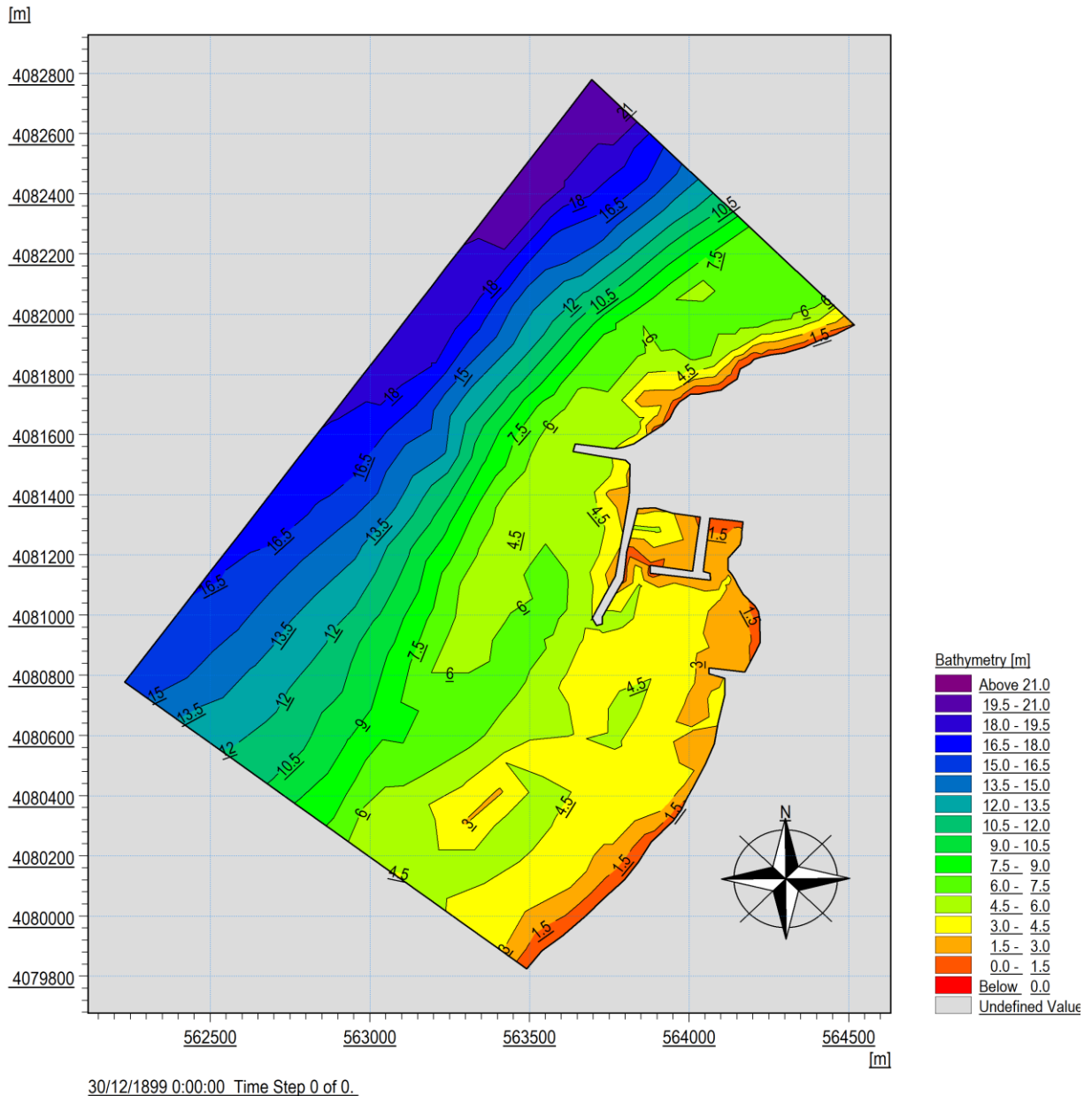
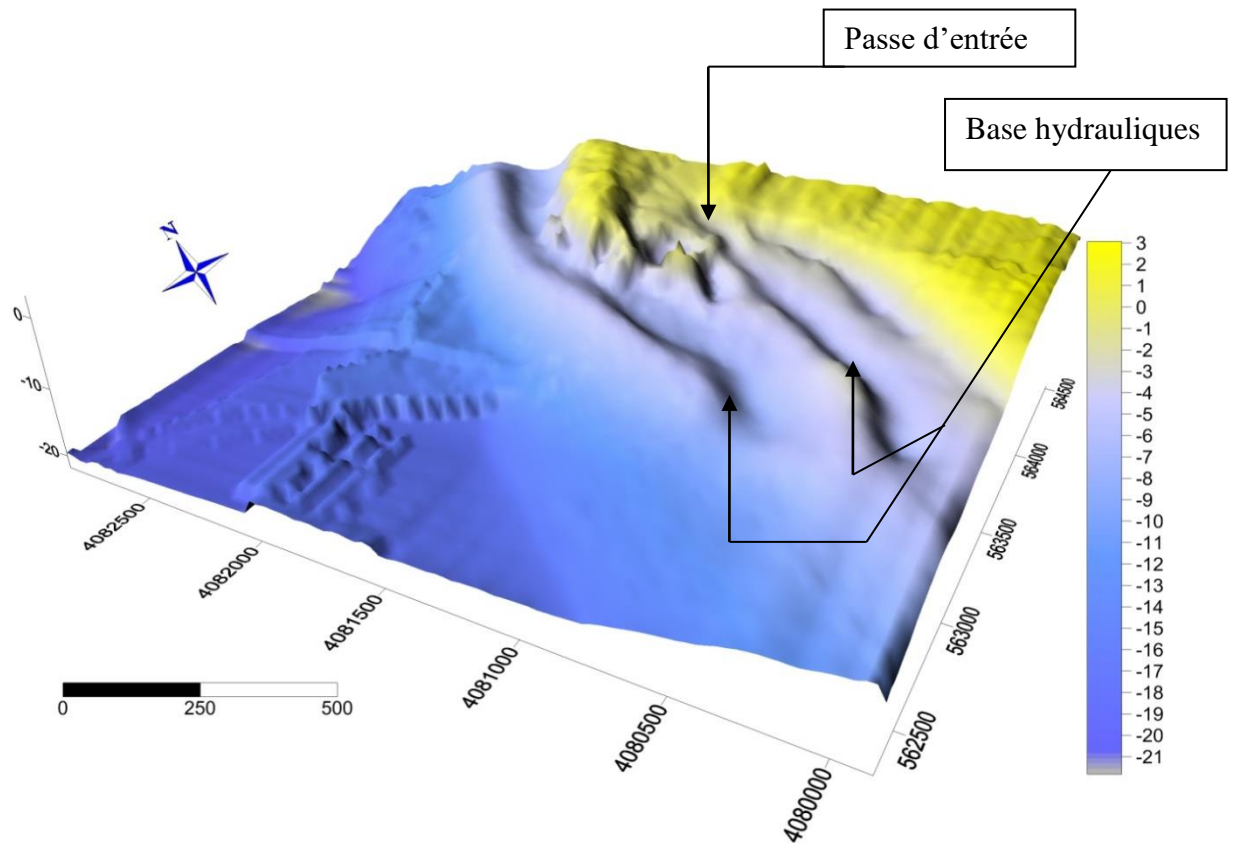


Figure 14. Carte bathymétrique de cap Djinet



**Figure 15.** Carte bathymétrique en 3D de la zone de Cap Djinet, 2009.

#### Analyse et commentaire :

Deux zones morphologiques bien distinctes sont mises en évidence,

- **La zone côtière :** qui s'étale de 1 à 6m, présente une pente moyenne de 1.9%, elle montre des isobathes généralement perturbées et une morphologie particulière caractérisée par la présence d'une ride d'avant côte discontinue, bien développée à l'approche de la côte. On remarque des isobathes serrés à l'est plus réguliers traduisant une pente plus douce près de cote.

Ce type de morphologie témoigne d'une mobilité de ces fonds sous l'action des houles. Par conséquent, cette zone est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

- **La zone au large :** Entre -6m à -16m, présente des isobathes parallèles au rivage, elles sont relativement espacées traduisant ainsi un fond régulier. Ces fonds sont moins actifs par rapport à la zone côtière. Cependant, à l'Est de Cap Djinet, les isobathes sont serrées, ce qui présente probablement un petit chenal avec une pente moyenne de 1 %.
- **À l'extérieur du bassin du port :** Les limites extérieures de l'ouvrage montrent des isobathes Relativement espacées et réguliers entre -4.5 et -10.5m traduit par une pente douce sableuse. À la plage Ouest du bassin les isobathes sont plus espacées, et suite aux apports sédimentaires d'oued Isser on remarque ainsi un fond régulier et une pente douce et qui a remplacé le piégeage de sédiment dans la plage est donc nous nous observant aucune érosion de la plage ouest et la plage Djinet familiale. À l'Est de la carte les isobathes sont plus ou moins espacées qui varie entre -1.5 et -6 m, traduisant un fond régulier et une pente douce causé par l'apport sédimentaire qui est de l'est vers l'ouest avec un piégeage des sédiments du a l'épi Nord où nous observant une zone d'accumulation traduit par une accréation de la plage Carrière.
- **A l'intérieur du bassin du port:** sur les limites intérieures de la digue principales on remarque des isobathes serrées qui varie entre -3 et -4.5 m et entre la jetée principale et la contre jetée des isobathes entre -1.5m et -3m.

#### **La formation des barres d'avant-côte:**

Les barres sableuses d'avant-côte sont des dépôts sédimentaires situés dans la zone de déferlement de la houle. Elles sont nombreuses sur les côtes sablonneuses, et plusieurs hypothèses mettent des mécanismes dans leur formation.

Ces barres tiennent un rôle fondamental dans la dynamique du littoral puisqu'elle constitue un réservoir temporaire de sédiments ainsi qu'un obstacle mobile et flexible à la houle et aux courants.

Leurs formation est en effet due à ce qu'à une certaine profondeur les vagues déferlent, mettant le sédiment du fond en suspension et le repoussant, partie vers le large et partie vers la côte. Lorsque des vagues successives déferlent au même endroit, leurs effets s'accumulent, et du côté au large se constitue une crête de sable (car il est très rare qu'une barre soit faite de galets) dont

la présence maintiendra à cet endroit le déferlement des autres vagues, même si leur amplitude ou la hauteur d'eau viennent à varier un peu. On voit par-là que ces barres, nommées à juste titre d'avant-côte, ne peuvent se former que sous une certaine profondeur d'eau, en avant du trait de côte instantané. Bien entendu, elles peuvent émerger à marée basse, si l'amplitude de la marée le permet.

Leur migration vers le rivage est le fait des houles courtes et hachées, de faible hauteur, émues par les vents locaux ; ces houles ont en effet plus de force dans le jet de rive que dans le retrait ; cette propriété est surtout marquée le long du trait de côte, et c'est pourquoi les migrations les plus rapides sont observées sur des barres découvrant à marée basse. Les barres migrent dans la même direction que les vagues, remontant la pente de l'estran, soit jusqu'à ce qu'elles atteignent le rivage et se fondent au cordon littoral, soit jusqu'à ce qu'elles s'arrêtent sur l'estran parce que les houles sont trop vite amorties pour les repousser plus loin. Dans ce cas, des barres formées successivement au large s'empilent les unes sur les autres (ou devant les autres), permettant à une flèche littorale autonome de se constituer.

#### **II.4 Morphologie sous-marine :**

Malgré le caractère tridimensionnel des plages (**Castelle et al, 2007**), l'analyse bidimensionnelle des profils de plage transversaux est un point clé de la dynamique globale (**Price et Ruessink, 2008**). Notre objectif dans cette partie est d'analyser la morphologie des barres.

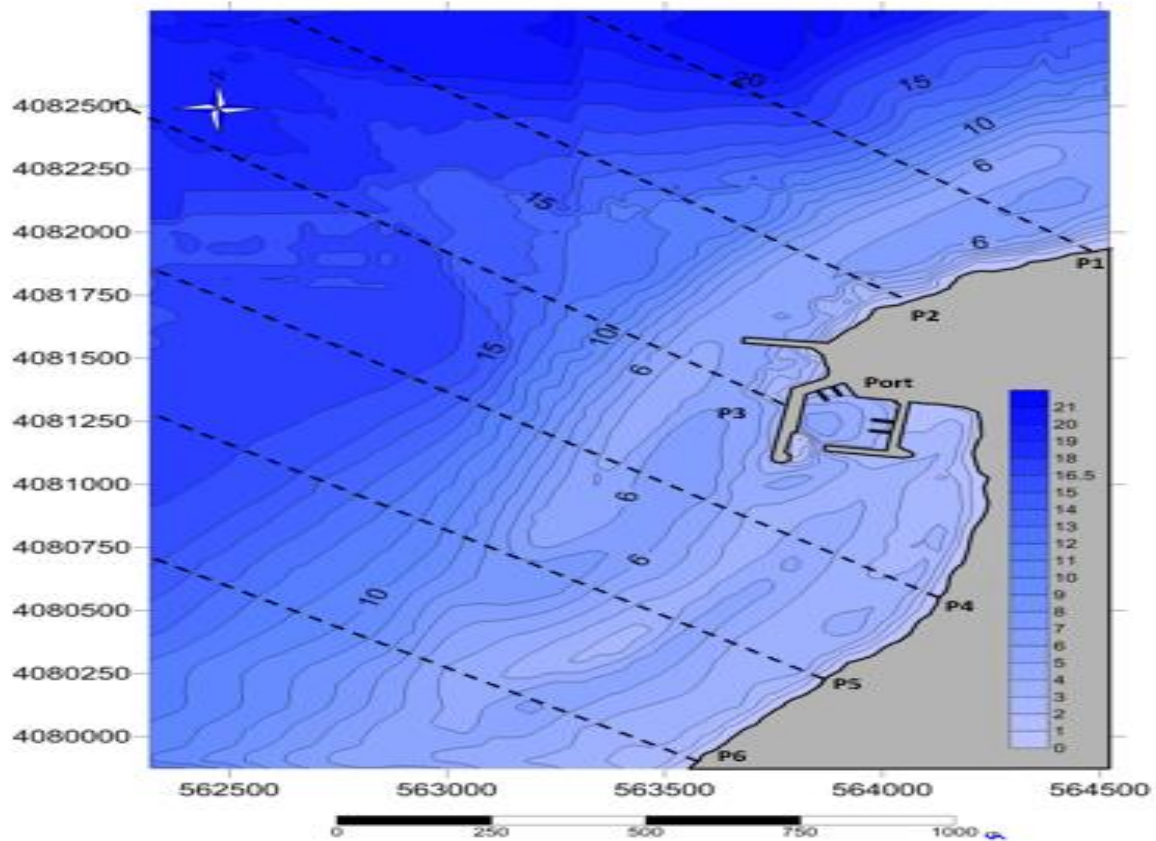
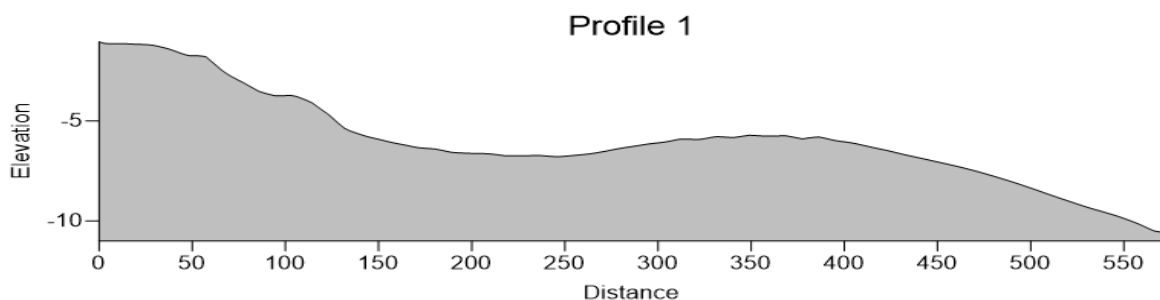


Figure 16. Profils sous-marins tracés dans la zone de Cap Djinet.

- **Profil 01 :**

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à 7 mètres de profondeur, il se stabilise entre 5 et 6 mètres, vers la zone des barres hydrauliques. Au-delà, une petite élévation suivis par une rupture de pente modérée est observée, puis le profil continue à évoluer en pente abrupte jusqu'à 10 m de profondeur.



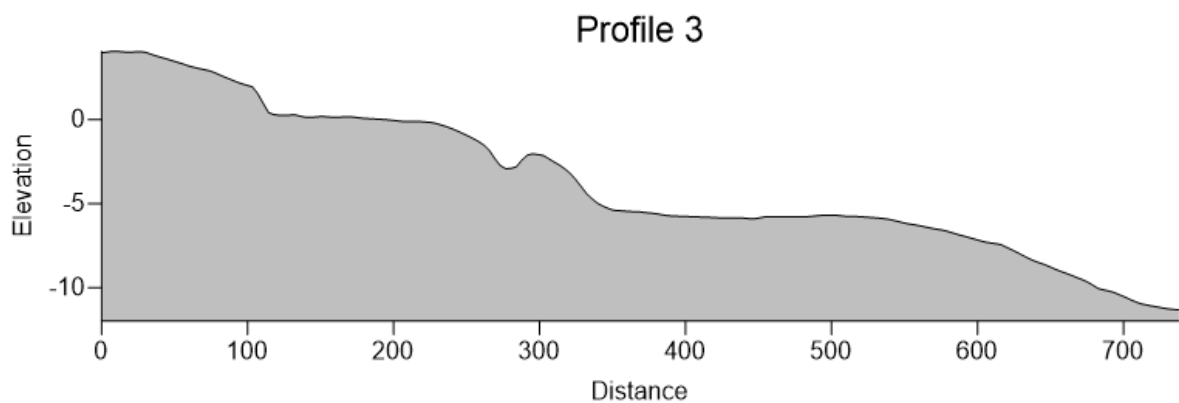
- **Profil 02**

Le profil descend en pente abrupte jusqu'à 5 mètres de profondeur, se stabilise en plateau jusqu'à -6 m, replonge jusqu'à 10 mètres de profondeur, puis entame une évolution vers le large en pente modérée jusqu'à 15 mètres de profondeur.



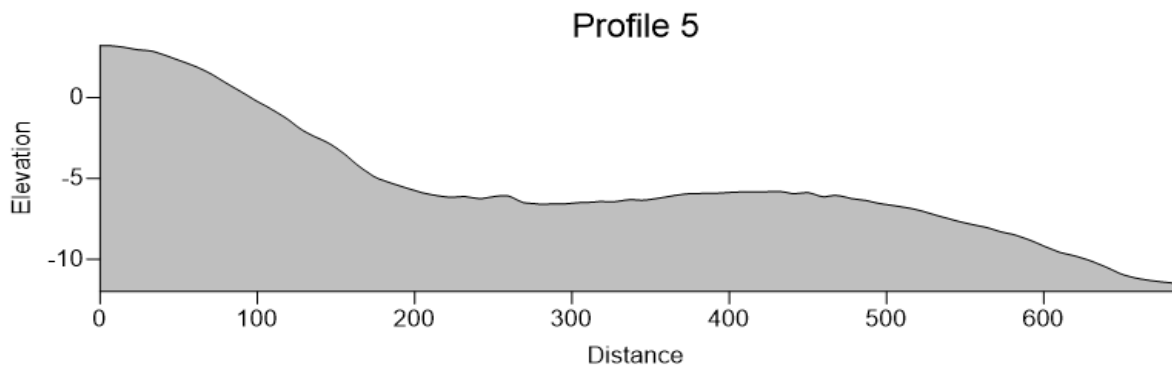
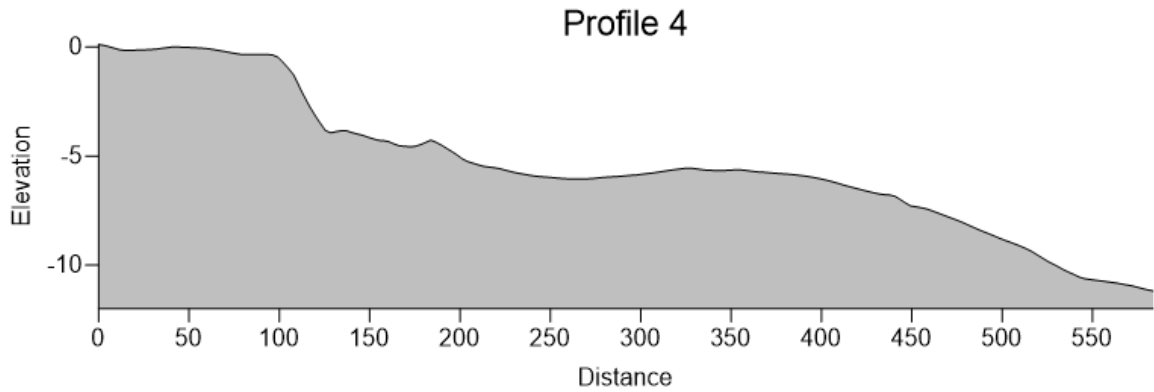
- **Profil 03**

Le profil démarre à 0 mètres au pied de la jetée principale et descend en pente modérée qui s'accroît entre -5 et -6 mètres de profondeur, avance en pente douce, puis entame une rupture de pente à -12 m de fond et continue par un replat en pente douce vers le large.



- **Profil 04 et 05**

Les profils illustrent bien la présence et la forme de barre hydraulique ; vers la zone des 0 à -6 mètres nous observons une chute de façon brutale pour forme rune barre de déferlement, vers le large, les profils ne présentent aucune morphologie particulière ; ils descendent en pente douce à modérée à partir de 7m de profondeur.



**Conclusion partielle :**

Les données bathymétriques ont été utilisées pour évaluer et étudier l'évolution des fonds marins dans le Cap Djinet. À cet égard, les résultats ont montré que l'évolution de la morphologie des petits fonds est très importante, résultant principalement par des activités anthropiques (mur de soutènement, épis, brise-lames, les ports, et la centrale électrique) et par des phénomènes naturels, comme les houles de Nord-Est et les courants de retour.

Les résultats obtenus nous ont apporté des informations et des données intéressantes sur le fond du Cap Djinet, ils nous permettent d'obtenir une vision globale sur les formes sous-marines. Toutefois, la bande côtière de Cap Djinet est caractérisée par des plages avec des pentes douces allant de 1 à 8°, le paramètre de Gourlay (1968)  $2 < \Omega < 5$  et un RTR  $< 3$  les classant dans la catégorie des plages intermédiaires de type barrées selon la classification de Wright et Short 1984.

La présence de ces structures morphodynamiques à l'avant côte de Cap Djinet témoigne de l'importance des transferts sédimentaires qui s'opèrent le long de la côte ainsi que les forçages hydrodynamiques responsables de ce transport, ces transferts sédimentaires et forçages hydrodynamiques feront l'objet des deux parties suivantes

# **CHAPITRE III: Etude**

## hydrosédimentaire

**Introduction :**

Introduction Les évènements extrêmes se caractérisent par deux aspects. Premièrement, ils sont rares par essence, au sens où leur probabilité d'occurrence est très faible (en revanche, le fait qu'un évènement soit rare n'implique pas qu'il soit extrême). Deuxièmement, ils ont d'énormes impacts, qu'ils soient humains, économiques ou financiers. C'est pour cette dernière raison qu'il est d'un grand intérêt de s'en prémunir, soit en tentant de les éviter, soit en atténuant leur impact. Dans tous les cas, cela suppose de pouvoir les prédire et d'en évaluer l'importance (Clément A., 2018). Le moyen de prédire ces évènements consiste en des prédictions probabilistes, en se basant sur un échantillon de données. L'idée est, étant donné un évènement extrême, d'en caractériser la probabilité d'occurrence. En ce sens, les mathématiques, et plus particulièrement la théorie probabiliste et la statistique en tant que discipline nous offrent des outils très puissants permettant de répondre à ces questions (Clément A., 2018). Dans ce chapitre, Nous allons nous pencher vers l'analyse statistique des houles extrêmes du large du Cap Djinet afin d'extraire les périodes de retour (annuelles, centennales et décennales), ces périodes de retour nous permettent de faire la simulation des différents modèles du MIKE21/3 FM.

Ce chapitre contiendra : Modélisation numérique des différents modèles (SW, HD, ST).

**III.1 Données de base****III.1.1 Données de la houle au large**

La connaissance des caractéristiques de la houle (direction, amplitude, période) permet d'apprécier et de comprendre les phénomènes qui se produisent dans la zone de déferlement et serviront de données d'entrée pour la quantification du transport sédimentaire ainsi qu'au dimensionnement des ouvrages maritimes. L'évaluation précise du climat des vagues est une composante essentielle dans l'étude du problème de l'ensablement des ports. La turbulence et les courants générés par les vagues représentent d'importants mécanismes de forçage pour le transport sédimentaire (Nwogu, et Demirbilek, 2001). Les caractéristiques des vagues les plus importantes pour les projets d'ingénierie côtière sont les hauteurs significatives ( $H_s$ ), les périodes ( $T$ ) et les directions. Ces paramètres sont souvent collectés au large, mais durant leur propagation, en s'approchant de la côte, les vagues changent de caractéristiques et seront ainsi la résultante de phénomènes complexes :

- Shoaling et réfraction.
- Dissipation de l'énergie après déferlement et friction du fond.
- Réflexion et diffraction près des structures.
- Interaction vague-vague.
- Interaction courant-vague.

Les mesures in situ des vagues et leur modélisation physique sont extrêmement difficiles, onéreuses et lentes. Les houlographes sont souvent loin des sites des projets et les instruments de télédétection ne fournissent pas systématiquement les données de vagues, près des côtes, à la résolution désirée. Et il n'y a pas d'instrument de collecte de données qui peut prévoir l'état de la mer, donc les informations recherchées, concernant la prévision, peuvent être obtenues à l'aide des techniques de modélisation mathématique fiable (Demirbilek et Pahang, 1998). La propagation de la houle entre le large et la côte, étudiée avec le modèle numérique SWAN (Simulating Waves Nearshore), développé par l'université de DELFT, est basée sur les données bathymétriques obtenues des cartes nautiques du SHOM ainsi qu'à la bathymétrie réalisée sur terrain

### III.1 Principe de calcul de la réfraction de la houle

Connaissant la climatologie au large, il est possible d'établir une statistique de la houle au large. Cette statistique est ensuite propagée vers la côte en utilisant des fonctions de transfert calculées suivant la bathymétrie représentée suffisamment au large, dans les fonds où les houles ne sont pas réfractées. Le coefficient de réfraction est défini de la manière suivante :

$$K_r = H_{slocal} / H_{slarge}$$

Les calculs de la réfraction de la houle entre le large et la côte sont effectués par le modèle numérique SWAN pour différentes conditions de houle au large (hauteur, période et direction). Le logiciel modélise la propagation de la houle en prenant notamment en compte les phénomènes de :

- Réfraction, sur les fonds et autour des ouvrages ;
- Frottement sur le fond ;
- Déferlement.

### III.2 Données de base

#### III.2.1 Données bathymétriques

La bathymétrie utilisée pour cette étude de réfraction est celle issue de la digitalisation de la carte publiée par le service hydrographique des Forces Navales. Alger Publication 1979 ; édition 1998 intitulée « Mer Méditerranée côte d'Algérie, de Ras Matifou à Ras Tedles - échelle : 1/120000 », ainsi que celle issue de la campagne de reconnaissances sur site réalisée au mois d'aout 2009 par le LEM dans le cadre de l'étude de l'ensablement du port de Cap Djinet.

#### IV.2.2 Données de houles au large

Les données du Summury of Synoptic Meteorological Observations (SSMO) consistent en des observations de navire sur la période allant de 1963 à 1970.

Un traitement statistique de ces données a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période.

Le choix des périodes est fait en fonction de la répartition des probabilités de dépassement d'une houle d'amplitude donnée. Les houles de fortes amplitudes (>10S), ont une probabilité d'apparition relativement faible. Les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6, 8 et 10 secondes pour les houles annuelles (**tableau 3**).

**Tableau 3.** Conditions de houles retenues dans le cadre de cette étude

| Période | Direction de la houle au large |           |           |
|---------|--------------------------------|-----------|-----------|
|         | N 315°                         | N 360°    | N 45°     |
| 6s      | Hs =1,10m                      | Hs =1,00m | Hs =1,09m |
| 8s      | Hs =2,64m                      | Hs =2,67m | Hs =2,56m |
| 10s     | Hs =4,53m                      | Hs =4,92m | Hs =5,05m |

### III.2.3 Choix du secteur angulaire

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposées, d'une part, par la configuration géographique du site d'étude, et d'autre part, par le secteur d'intérêt des houles du large.

Ainsi quatre (04) directions ont été retenues en tenant compte des tableaux de fréquence par direction des houles au large ainsi que l'incidence de ces houles par rapport à la zone d'étude (tableau n°3.1) :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (315°N)
- Deux directions de houle à incidence oblique (360N)
- La direction de (45°N) qui est plus au moins énergétique peut atteindre notre zone d'étude par réfraction.

### III. 3 Modélisation numérique

Les modèles numériques reposent sur la description des phénomènes physiques à l'aide (De systèmes) d'équations mathématiques. Celles-ci sont ensuite résolues numériquement, pour chaque paramètre étudié, par un programme informatique. De nombreux modèles numériques destinés à des applications hydrauliques comportent des équations de continuité et de mouvement ou d'énergie

Les modèles de ce type simulent par exemple le mouvement de l'eau ou l'interaction entre l'eau et les ouvrages hydrauliques.

Les estimations du transport sédimentaire doivent reposer sur des études analytiques prenant en compte le régime des houles et des courants dans le secteur d'étude à long terme et comme étant une donnée de base pour cette étude hydro sédimentaire, une carte bathymétrique demeure indispensable (Benallou I., 2020).

Dans cette partie, le but principal est faire une simulation du climat hydro-sédimentaire au niveau de notre zone d'étude, afin de mieux comprendre l'impact des événements extrêmes sur le transport sédimentaire longitudinal.

Cette étude comporte 3 étapes importantes :



### Mike 21

MIKE 21 est une suite logicielle professionnelle de modélisation numérique 2D des écoulements à surface libre, développée par DHI Water & Environnement. Il permet la simulation de l'hydraulique et des phénomènes associés dans les rivières, les lacs, les baies, les zones côtières et les océans (DHI, 2014). La modélisation de la dynamique sédimentaire en milieu côtier, doit tenir compte des courants induits par la marée et les houles. Il s'ensuit que l'approche modélisatrice doit faire appel à un système de modélisation intégré comprenant 3 modèles numériques : un modèle hydrodynamique, un modèle de houle et un modèle de transport sédimentaire de particules non cohésifs, sous l'effet de l'action combinée des vagues et des courants. Dans ce contexte, le module MIKE 21, comprend les calculs suivants (DHI, 2014) :

- MIKE21-SW (Spectral Waves Flexible Mesh);
- MIKE21-HD (Hydrodynamic model);
- MIKE21-ST

### MIKE21-SW (Spectral waves Flexible Mesh)

Il s'agit d'un Modèle spectral de vague de 3<sup>ème</sup> génération similaire au SWAN, avec certaines améliorations. Il simule : la croissance des vagues en présence du vent, l'interaction vague non-linéaire, la dissipation par le déferlement et par la friction sur le fond, la réfraction par le changement de profondeur et l'interaction vague-courant. Les calculs du modèle MIKE21-SW utilisent une grille de maillage flexible et non imbriqué (DHI, 2014). Les principales applications du modèle MIKE21-SW sont :

- Conception et optimisation des structure de défense des ports et marinas contre les vagues ;
- Etablissement du climat des vagues dans une région côtière en fonction des vagues du large ;
- Génération des cisaillements de radiations des vagues pour le calcul des courants côtiers par MIKE21/3 ;
- Couplage avec les modèles de transport de sable et de boues dans les zones littorales ;

### MIKE21-HD (Hydrodynamic model)

Le modèle traite le frottement sur le fond, l'effet des événements météorologiques (vents et pression atmosphérique), et la force de Coriolis, etc.... Il nous permet de simuler les courants côtiers dû à l'action de la houle dans la zone de déferlement. Il fournit aussi les conditions hydrodynamiques aux autres modules de ce système tel que le module MIKE 21-ST (Labdi, A., et Mandi, K. 2021).

Les équations suivantes, la conservation de la masse et la dynamique intégrée à la verticale, décrivent les variations du débit et de l'eau :

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] \\ - \Omega q - fV V_x + \frac{h}{\rho w} \frac{\partial}{\partial x} (P\alpha) = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp \sqrt{p^2 + q^2}}{c^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] \\ + \Omega q - fV V_y + \frac{h}{\rho w} \frac{\partial}{\partial y} (P\alpha) = 0 \end{aligned}$$

Les symboles suivants sont utilisés dans ces équations (DHI, 2014) :

$h(x, y, t)$  : Profondeur de l'eau (m).

$(x, y, t)$  : Variation temporelle de la profondeur de l'eau (m).

$Z(x, y, t)$  : L'élévation de surface (m).

$p(x, y, t)$  : Densités de flux dans les directions x et y (m<sup>3</sup>/s/m).

$(x, y)$  : Coefficient de Chezy.

$g$  : L'accélération de la pesanteur (m/s<sup>2</sup>).

$(V)$  : Facteur de frottement de vent.  $V, X, VY$

$(x, y, t)$  : Vitesse et composantes du vent dans les directions x et y (m/s)

$\Omega(x, y)$  : Paramètre de Coriolis (s-1 ).

$P(x, y, t)$  : Pression atmosphérique (kg/m/s<sup>2</sup>).

$\rho_w$  : Masse volumique de l'eau (kg/m<sup>3</sup> ).

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  : Composantes de l'effort de cisaillement effectif.

### MIKE 21 SW

MIKE 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale, le modèle simule la croissance, la décroissance et la transformation des vagues et de la houle générées par le vent dans les zones offshore et côtières.

Les simulations permettent de reproduire les phénomènes de réfraction, de dissipation par déferlement et/ou frottement sur le fond, de génération des vagues par le vent, d'interaction non linéaire entre les vagues et d'interaction vagues-courants et les effets de la variation temporelle de la profondeur. Le module permet d'utiliser des données de vagues au large préétablies, qui doivent alors être connues grâce à des mesures ou autres données externes, ou de générer des vagues par le vent. La deuxième approche a été utilisée pour la présente étude DHI (2014).

Le modèle est basé sur la résolution des équations tridimensionnelles incompressibles de Reynolds moyennées de Navier-Stokes, sous les hypothèses de Boussinesq et de pression hydrostatique. L'équation de continuité locale s'écrit :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S$$

Et les deux équations d'impulsion horizontale pour les composantes x et y, sont respectivement :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial \eta p}{\partial y} + \frac{\partial w u}{\partial z} = f v - g \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial x} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y} \right) + F_u + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial y} + \frac{\partial u v}{\partial x} + \frac{\partial w v}{\partial z} = -f u - g \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^\eta \frac{\partial \rho}{\partial y} dz - \frac{1}{\rho_0 h} \left( \frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y} \right) + F_v + \frac{\partial}{\partial z} \left( v_t \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S$$

Les termes de contrainte horizontale sont décrits à l'aide d'une relation gradient-contrainte, qui est simplifiée en :

$$F_u = \frac{\partial}{\partial x} \left( 2A \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

$$F_v = \frac{\partial}{\partial x} \left( A \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( 2A \frac{\partial v}{\partial y} \right)$$


---

A est la viscosité horizontale. Les conditions aux limites de surface et de fond pour u, van et w sont :

$$A z = \eta : \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \frac{\partial \eta}{\partial x} + v \frac{\partial \eta}{\partial y} - w = 0, \left( \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{sx}, \tau_{sy})$$

A z = -d :

$$u \frac{\partial d}{\partial x} + v \frac{\partial d}{\partial y} + w = 0, \left( \frac{\partial u}{\partial z}, \frac{\partial v}{\partial z} \right) = \frac{1}{\rho_0 v_t} (\tau_{bx}, \tau_{by})$$


---

Où :

pa: Pression atmosphérique,

d : Profondeur de l'eau.

η : Hauteur de la surface, f : Paramètre de Coriolis,  $f = 2\Omega \sin\theta$ .

h : Profondeur totale de l'eau,  $h = \eta + d$ , Ω : vitesse angulaire de révolution.

ρw : Densité de l'eau : Temps.

θ : Latitude géographique, ρ0 : Densité de référence de l'eau.

x, y, z : Coordonnées cartésiennes,

Sxy, Sxx, Syy : Composantes du tenseur de rayonnement

S : Amplitude de la décharge causée par des sources ponctuelles

$u, v$  : Les vitesses des courants à la profondeur moyenne sont définies par ( $u_s, v_s$ ) : Vitesses par laquelle l'eau est déchargée dans l'eau ambiante

$u, v, w$  : Composantes de la vitesse du courant dans les directions  $x, y$ , et  $z$

$\nu_t, A$  : Viscosités turbulentes verticale et horizontale, respectivement

$u, v$  : Les vitesses des courants à la profondeur moyenne.

### III.4 Approche Méthodologique

L'approche méthodologique nous a permis de recueillir les données nécessaires (bathymétrie, données des houles, granulométrie de la zone...) Afin de les introduire dans les logiciels utilisés pour notre étude afin de réaliser des simulations représentatives à la réalité.

Le modèle numérique utilisé dans le cadre de cette étude est le MIKE21-DHI, il s'agit d'un système de modélisation utile pour plusieurs simulations des phénomènes physiques (houles, courants et le transport sédimentaire), le système est efficace sur des grandes échelles avec la possibilité d'augmenter la résolution des mailles dans les endroits précis à l'aide des maillages.

➤ **L'étude bathymétrique** : L'étude bathymétrique est une étude importante pour l'interprétation de la morphologie sous-marine de notre zone d'étude afin d'obtenir des résultats fiables et précis. Pour ce faire, nous avons introduit les points bathymétriques obtenues précédemment sur le MIKE21 pour réaliser une carte bathymétrique, et pour cela, plusieurs étapes sont requises :

➤ **Création des arcs** : Utiles pour déterminer lors de la simulation les conditions des limites et la direction des houles incidentes.

➤ **Création de la Mesh** : Grace au module « MeshGenerator », on peut obtenir une présentation de bathymétrie numérique 2D détaillées, il fournit également les utilitaires pour importer les données du trait de côte ainsi que les points bathymétriques avec un système de coordonnées WGS84 de projection UTM zone 31, le maillage est composé d'éléments triangulaires dont la taille est ajustée automatiquement du large vers la cote (le maillage réduit sa taille en arrivant vers le trait de côte).

Un autre maillage a été fait au niveau de la zone d'étude pour avoir réduire la taille des triangulations afin d'obtenir plus d'informations sur la propagation des houles.

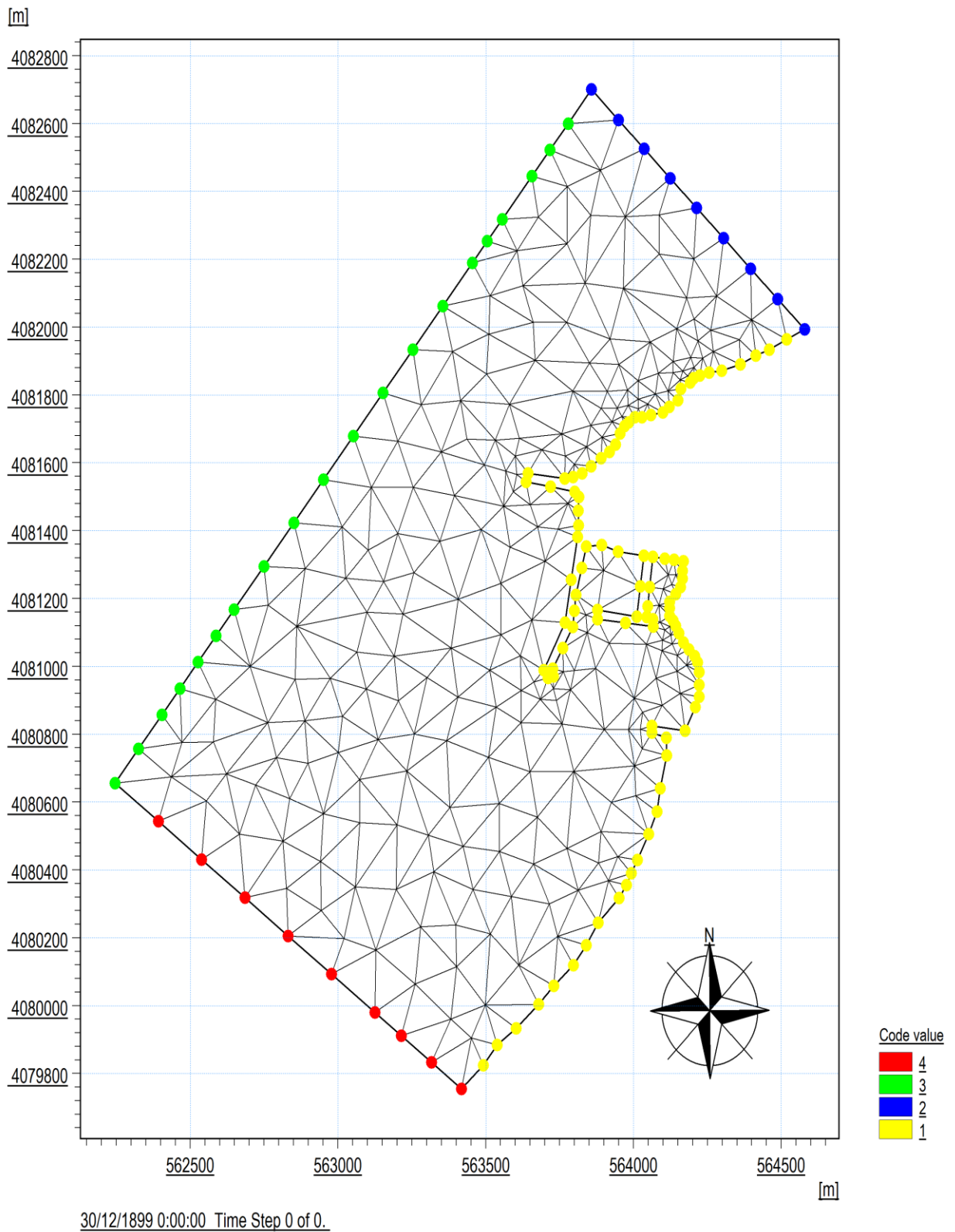


Figure 18. Maillage du modèle côtier de la zone d'étude

➤ **Exportation de la bathymétrie :** La dernière étape est de créer finalement la bathymétrie qui sera prête à être interpréter et utiliser pour la simulation.

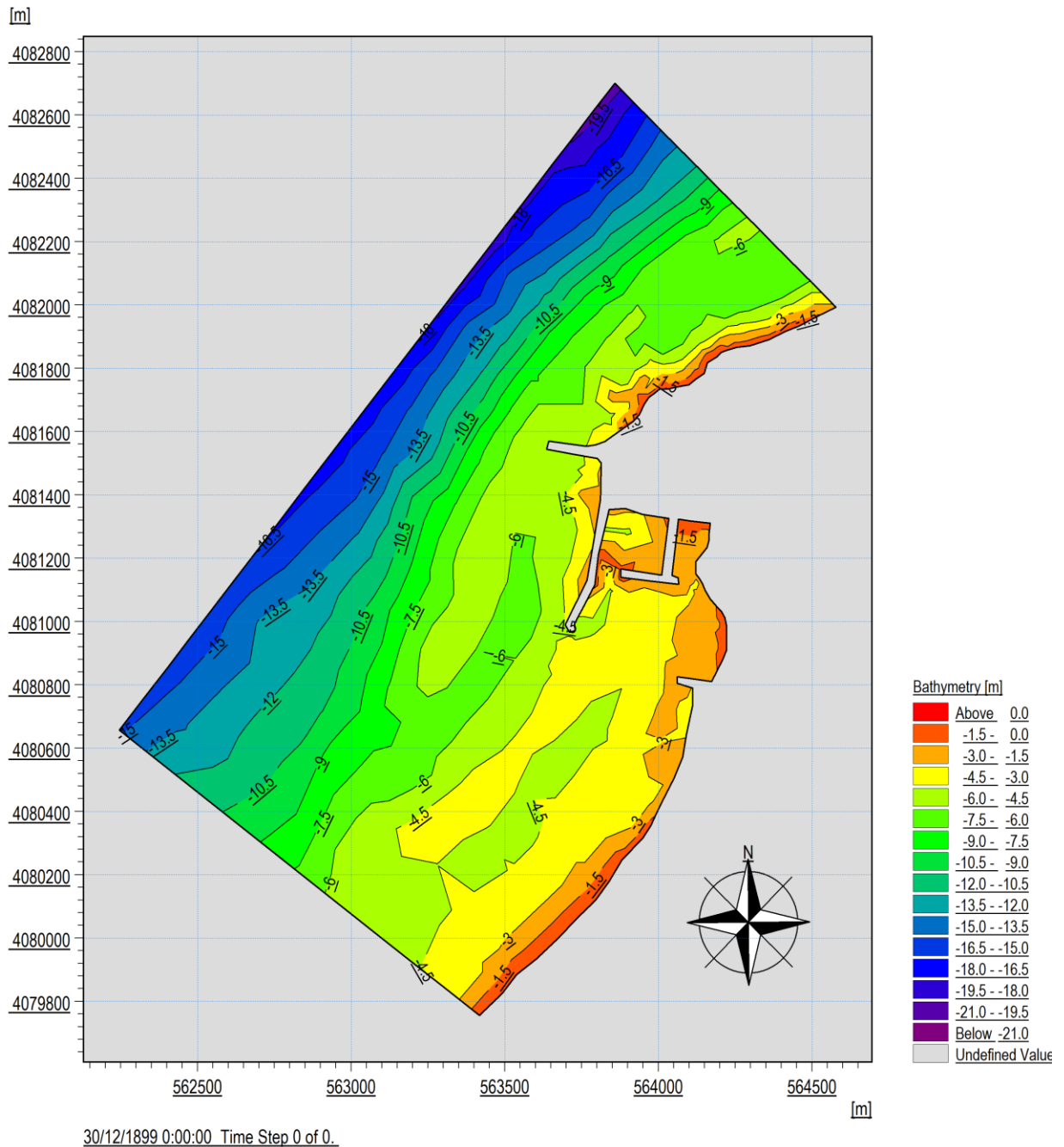


Figure 19. Bathymétrie de la zone d'étude

### Configuration du modèle de simulation « coupled model (FM) »

Dans le cadre de ce travail, l'approche consiste à englober les trois modèles : Hydrodynamique (HD), Spectral wave (SW) dans un modèle couplé MIKE 21/3 FM. a) Modèle SW et HD Il est nécessaire de prendre plusieurs types de données pour cette étude :

- La bathymétrie
- Les directions dominantes sont par rapport à la propagation des houles : Nord-Est, Nord, Nord-Ouest
- Les vitesses du vent : la direction du vent est la même que celle des houles.

### Conditions initiales des limites

Les conditions initiales imposées dans le module SW dans les limites de la zone d'étude sont les paramètres de la houle, nous avons pris les hauteurs significatives en fonction des périodes de retour afin de réaliser des simulations omnidirectionnelles.

### Le modèle SW et HD

#### Données d'entrée du model SW

Plusieurs types de données sont nécessaires pour cette étude. Celles-ci seront insérées en entrée du modèle de MIKE 21 SW. DHI (2014). Les différentes données utilisées sont mentionnées ci-dessous :

- Bathymétrie.
- Des Directions des houles dominantes ; ici on la direction Nord-Est et Nord.

**Tableau4:** données de sortie du model SW

| Non                     | Symbole       | Unité                          |
|-------------------------|---------------|--------------------------------|
| Hauteur significative   | Hm0           | Métre                          |
| Période pique           | Tp            | Seconde                        |
| Direction moyenne       | MWD           | Degrés                         |
| Ecart type              | DSD           | Degrés                         |
| Contrainte de radiation | Sxx, Sxy, Sxy | m <sup>3</sup> /s <sup>2</sup> |

**Tableau 5.** Données de sortie du model HD

| Nom                 | Symbole | Unité  |
|---------------------|---------|--------|
| U velocity          | Vu      | m/s    |
| V Velocity          | Vv      | m/s    |
| Vitesse du courant  | V       | m/s    |
| Direction de ourant | -       | Degrés |

A noter que tous les modèles sont associés à un vent constant moyen de 12 m/s, et une direction de 30°, en effet le couplage entre le vent et la période de retour conduit à des valeurs fortement surestimées et toutes les simulations sont faites avec 150 pas de temps de 200 secondes.

#### La simulation :

Lorsqu'elle s'approche du rivage, la houle déferle et perd ainsi la majeure partie de son énergie qui se dissipe lors du moutonnement des brisants ou par frottement des particules d'eau. Cependant, une fraction de l'énergie demeure mécanique et transmet au fluide un courant de masse. L'énergie de ce courant de houle se dissipe quant à elle par frottement latéral et sur le fond. Un régime permanent est atteint lorsque la totalité de cette énergie a été dissipée. (Longuet-Higgins, et al., 1964) ont montré que les forces motrices du courant de houle étaient dues aux variations du flux des quantités de mouvement induites par la houle.

Schématiquement, dans le cas d'une plage rectiligne, la composante de cette poussée parallèle à la côte engendre une dérive littorale tandis que sa composante normale induit une surélévation du niveau moyen.

La définition des contraintes de radiation par (Longuet-Higgins, et al., 1964) marqué la naissance de la modélisation des courants littoraux et de leur répartition dans la zone de déferlement. (Bowen, 1969) montre que le long d'une plage de pente constante, une houle monochromatique ne crée une force motrice pour le courant qu'à l'intérieur de la zone de déferlement. C'est le mélange latéral qui permet l'extension de ce courant au large de la ligne de déferlement

Bowen montre par ailleurs que la largeur de la zone de déferlement et l'intensité du courant augmentent avec la hauteur de houle, et propose un profil de vitesse du courant littoral montrant une bonne correspondance avec les mesures

➤ Direction Nord 360°

SW – Direction Nord360° (période de retour annuelle)

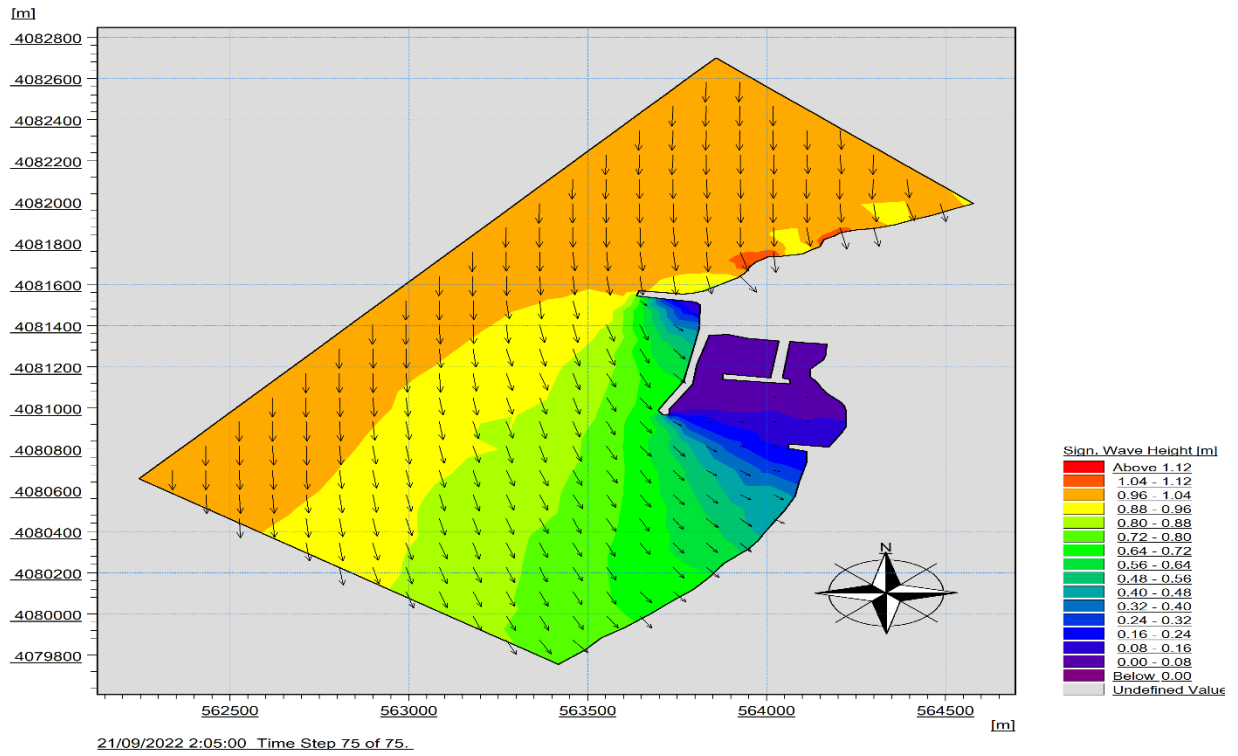


Figure 20. Champs des houles dans Cap Djinet ( $H_s = 1,00\text{m}$ ,  $T_p = 6\text{s}$ ,  $U_{10} = 12\text{ m/s}$ )

SW – Direction Nord 360° (période de retour annuelle)

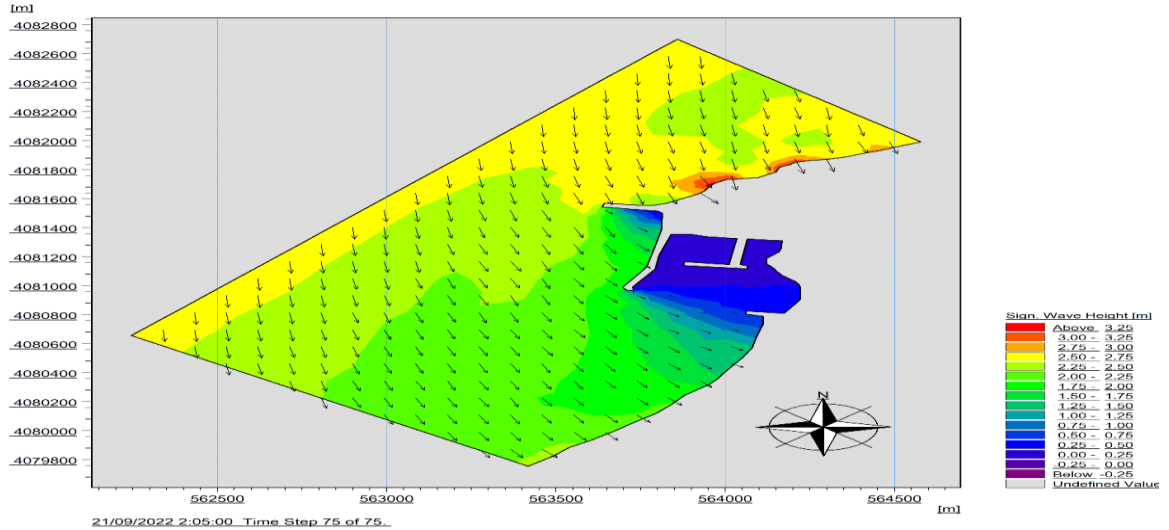


Figure 21. Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 2,67\text{m}$ ,  $T_p = 8\text{s}$ ,  $U_{10} = 12\text{ m/s}$ )

SW – Direction Nord 360° (période de retour annuelle)

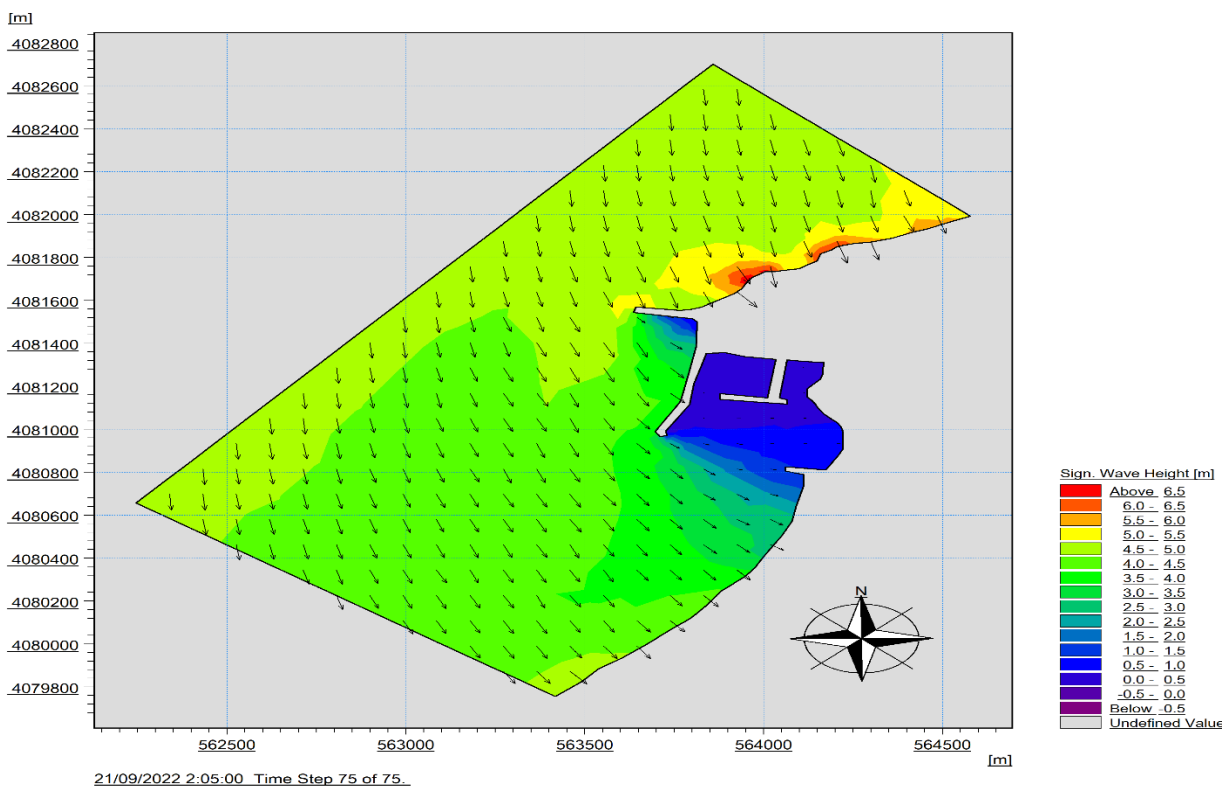


Figure 22. Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 4,92\text{m}$ ,  $T_p = 10\text{s}$ ,  $U_{10} = 12\text{ m/s}$ )

HD – Direction Nord 360° (période de retour annuelle)

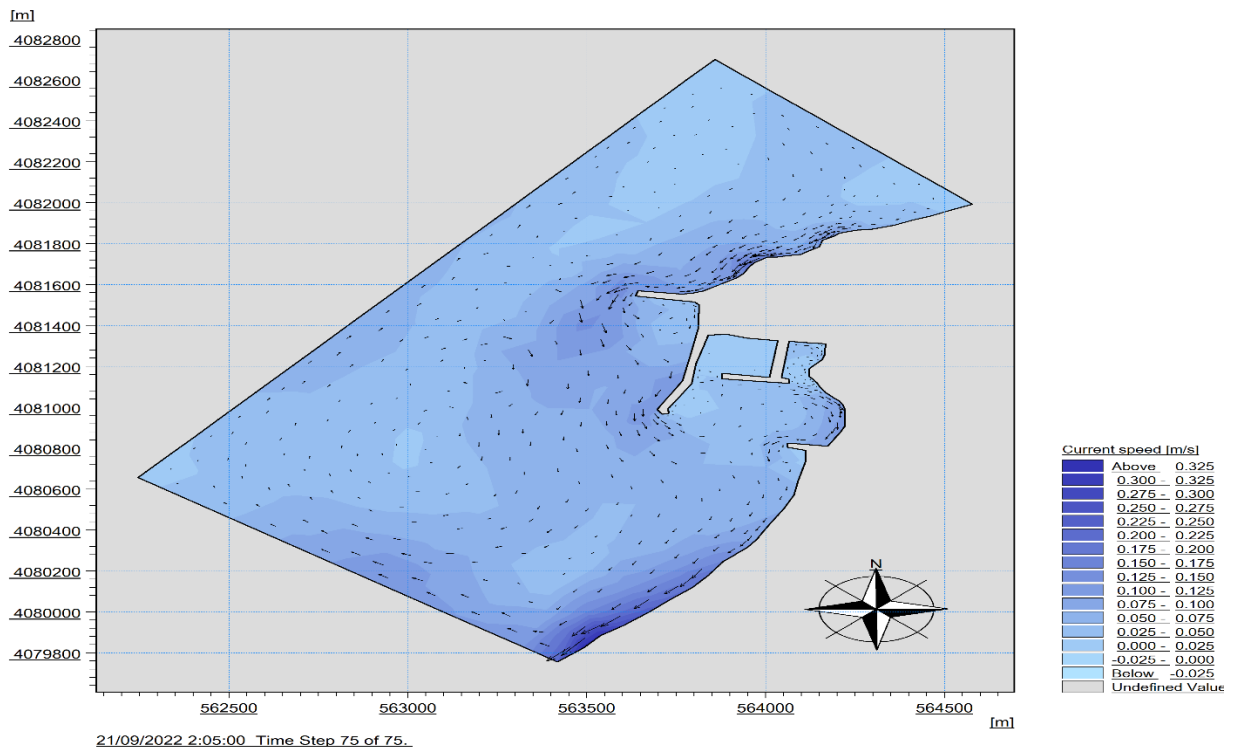


Figure 23. Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet

HD – Direction Nord 360° (période de retour annuelle)

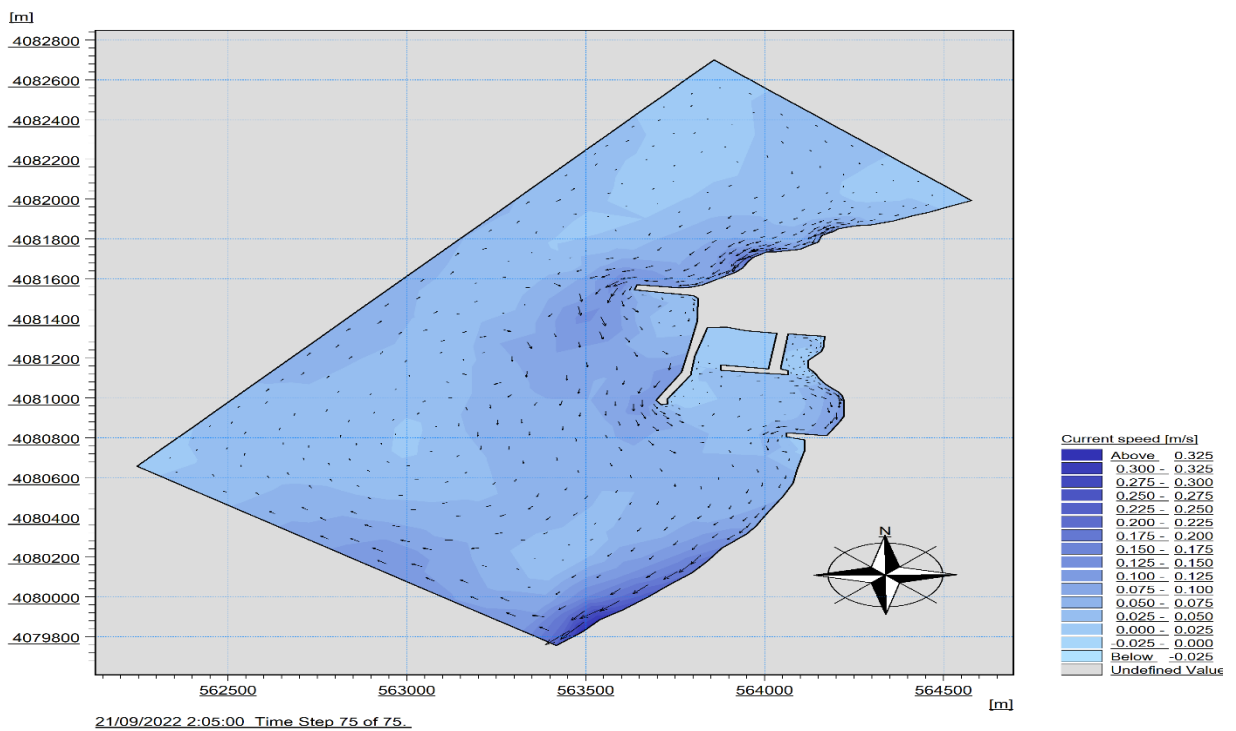


Figure 24. Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet

### HD – Direction Nord 360° (période de retour annuelle égale à 10s)

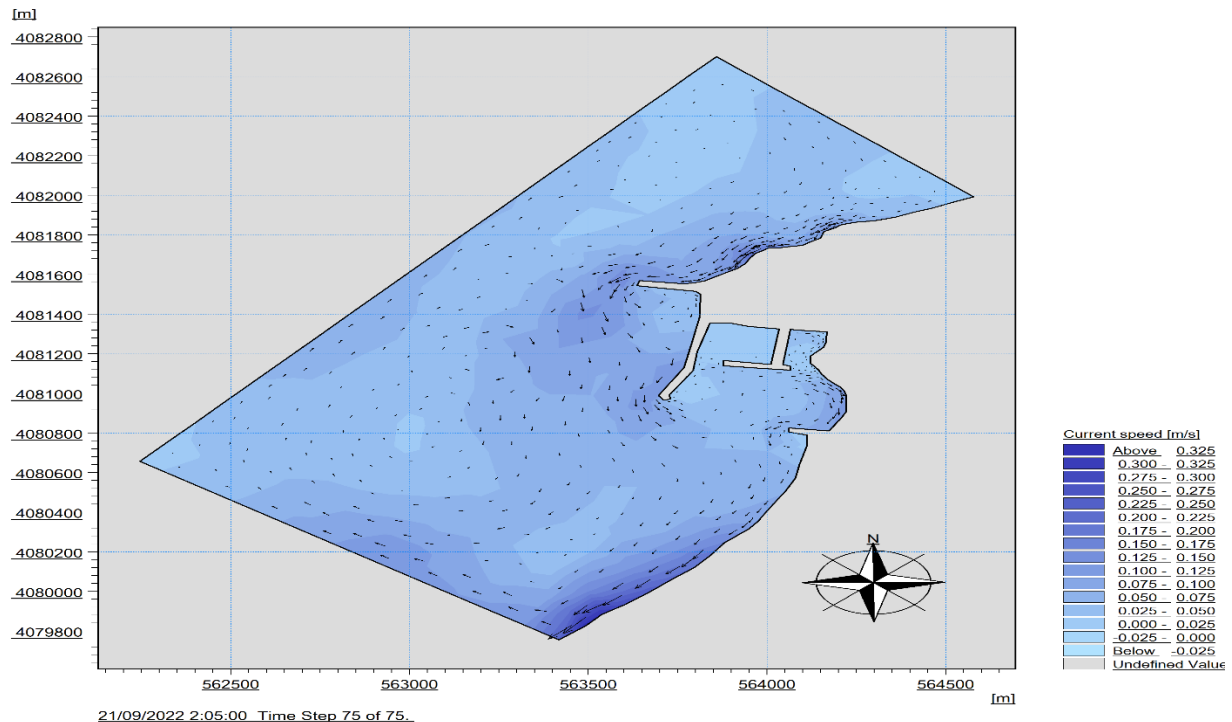


Figure 25 . Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet

### Interprétation des résultats de simulation pour chaque période de retour, direction Nord 360° :

Les houles de directions 360°N se réfractent vers l'Est dans le sens des aiguilles d'une montre avec des angles de déviation oscillant entre 2 et 50°. Ceci dit ce type de houle contourne le Cap.

Pour une période de **6s**, Leur propagation au large varie entre 1.12 m mais en approchant du rivage ces dernières ne perdent pas beaucoup de leur énergie et arrivent vers la zone d'étude avec une valeur de 0.64 m dans la plage Djinet Familiale et 0.96 m dans l'autre plage (carrière).

Pour une période de **8s**, la propagation au large se fait à 2.5 m et entre 2 m et 1.75 m auprès de la cote.

A une période de **10s**, les houles propagent d'une hauteur entre 4.50 et 4 m du large vers la cote sans perdre leur énergie.

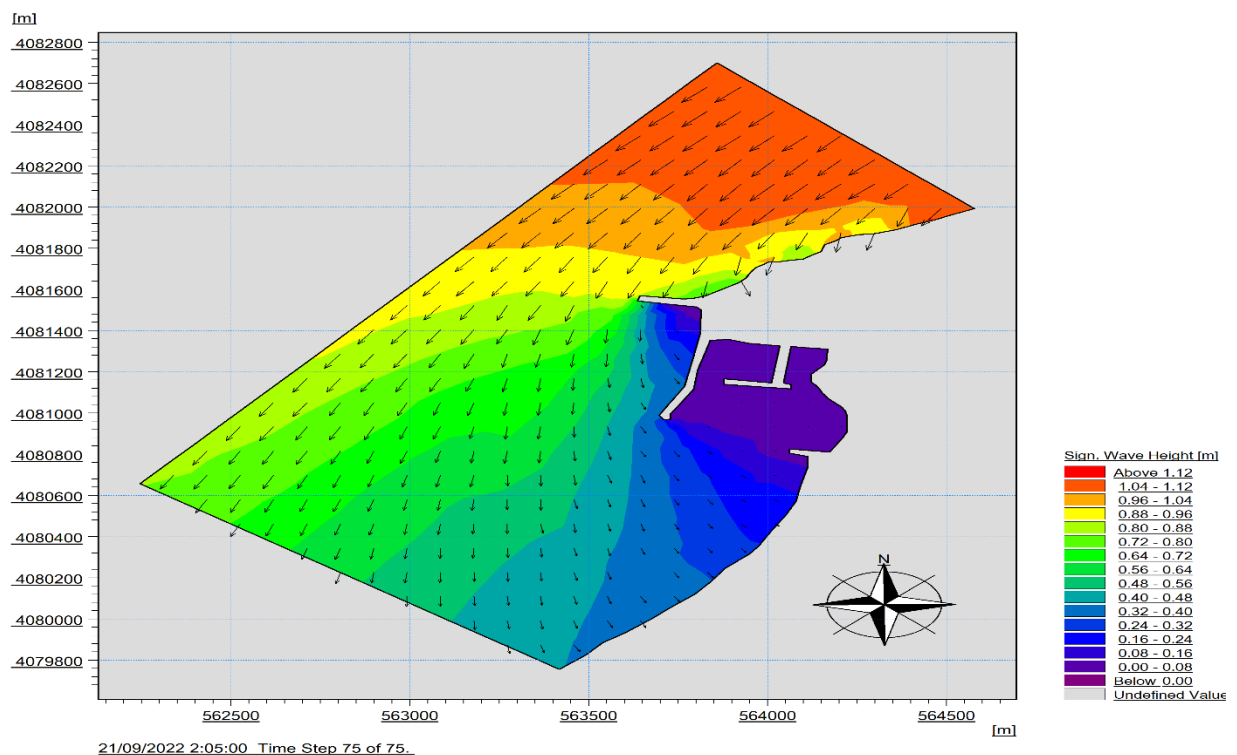
Le bassin portuaire est très faiblement touché par les houles du secteur Nord de 0.5m

On remarque également que le courant de dérive est important aux trois périodes de retour (6s, 8s et 10s), il se concentre principalement aux deux plages : carrière et plage Ouest, et aussi il contourne les deux épis Nord et Sud ainsi que la jetée principale.

Sa propagation est d'une vitesse moyenne égale à 0.250 m/s cela va engendrer un transport sédimentaire de secteur Est.

➤ **Direction Nord 45°**

**SW – Direction Nord 45° (période de retour annuelle)**



**Figure 26.** Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 1,09\text{m}$ ,  $T_p = 6\text{s}$ ,  $U_{10} = 12\text{ m/s}$ )

SW – Direction Nord 45° (période de retour annuelle)

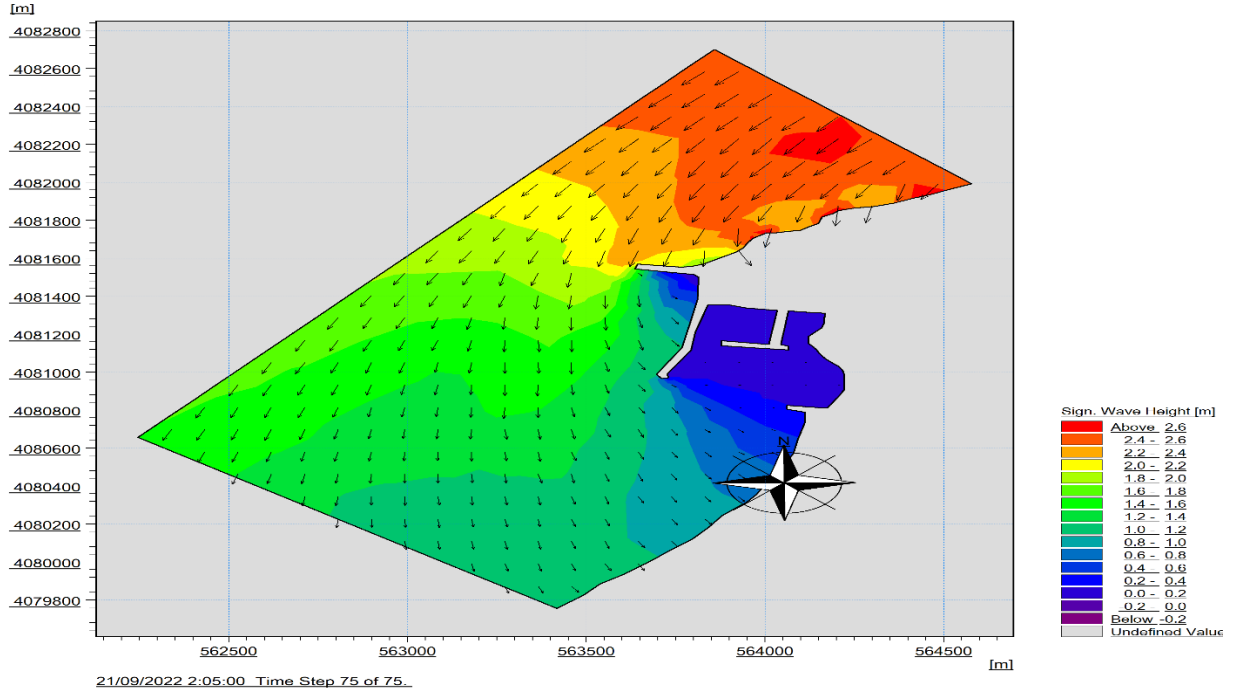


Figure 27. Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 2,56\text{m}$ ,  $T_p = 8\text{s}$ ,  $U_{10} = 12\text{ m/s}$ )

SW – Direction Nord 45° (période de retour annuelle)

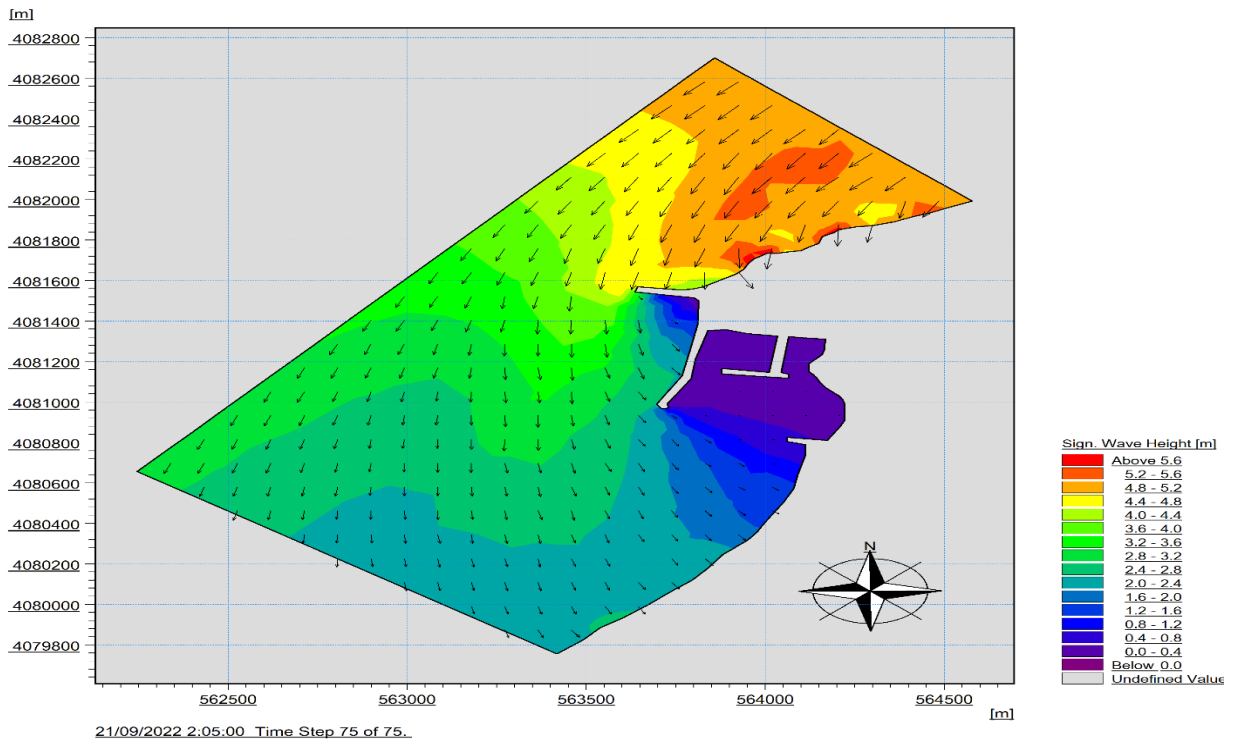
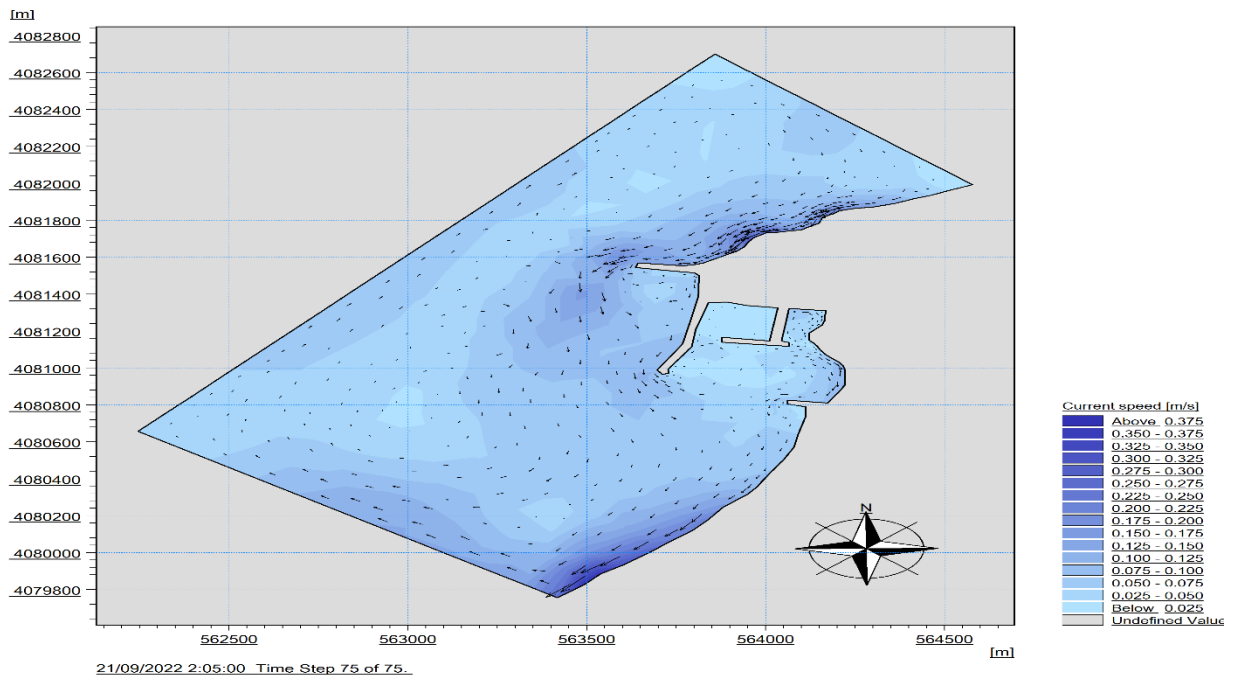


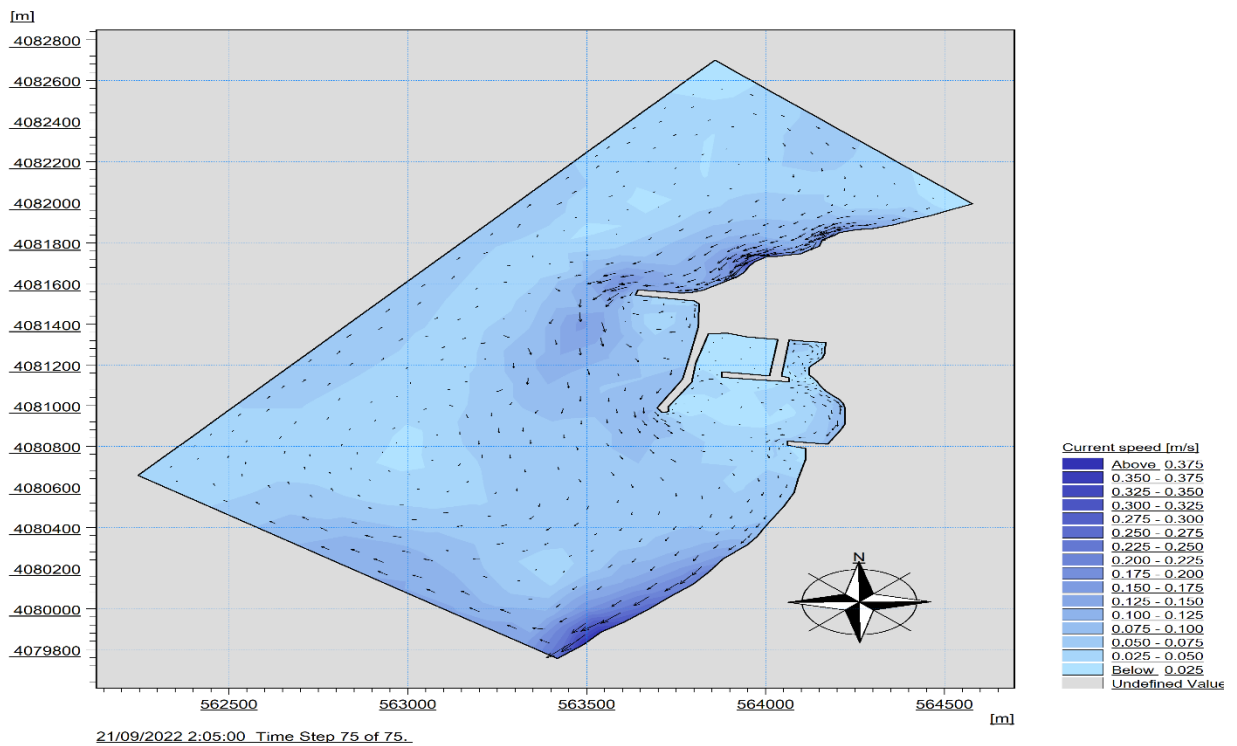
Figure 28. Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 5,05\text{m}$ ,  $T_p = 10\text{s}$ ,  $U_{10} = 12\text{ m/s}$ )

**HD – Direction Nord 45° (période de retour annuelle)**



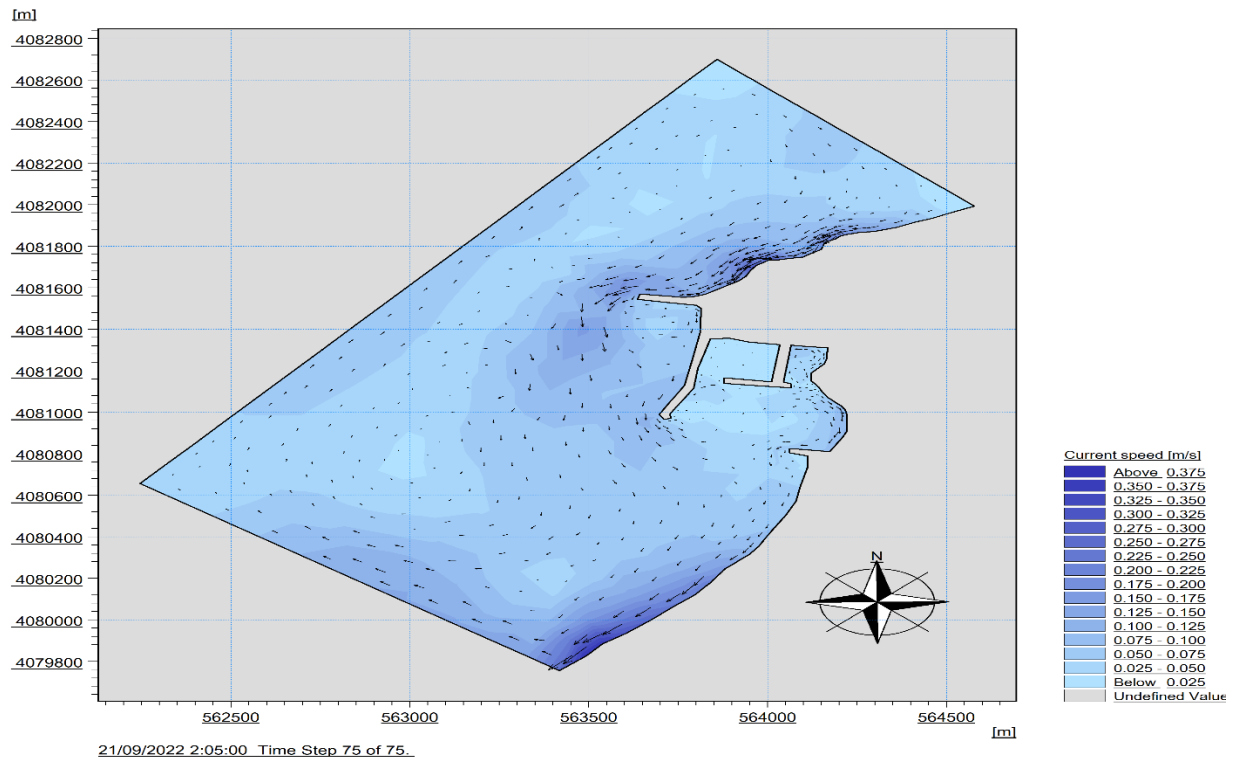
**Figure 29.** Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet

**HD – Direction Nord 45° (période de retour annuelle)**



**Figure 30.** Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet

### HD – Direction Nord 45° (période de retour annuelle)



**Figure 31.** Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet

### Interprétation des résultats de simulation pour chaque période de retour, direction Nord 45° :

Les houles de direction (45°N) sont très peu réfractées, les angles de déviation sont presque nuls elles propagent de 1.2m à l'Est du cap et 0.64m à l'Ouest.

Pour la direction Nord-Est, les houles commencent à ressentir le fond en arrivant vers la cote, malgré la présence du Cap qui peut freiner la propagation des houles, leurs hauteurs diminuent jusqu'à ce qu'elles atteignent 0.88 m et 0.96 m dans la plage Carrière et 0.16 m dans la plage Djinet familiale et 0.32 m au niveau de la plage Ouest pour une période de retour annuelle égale à 6s.

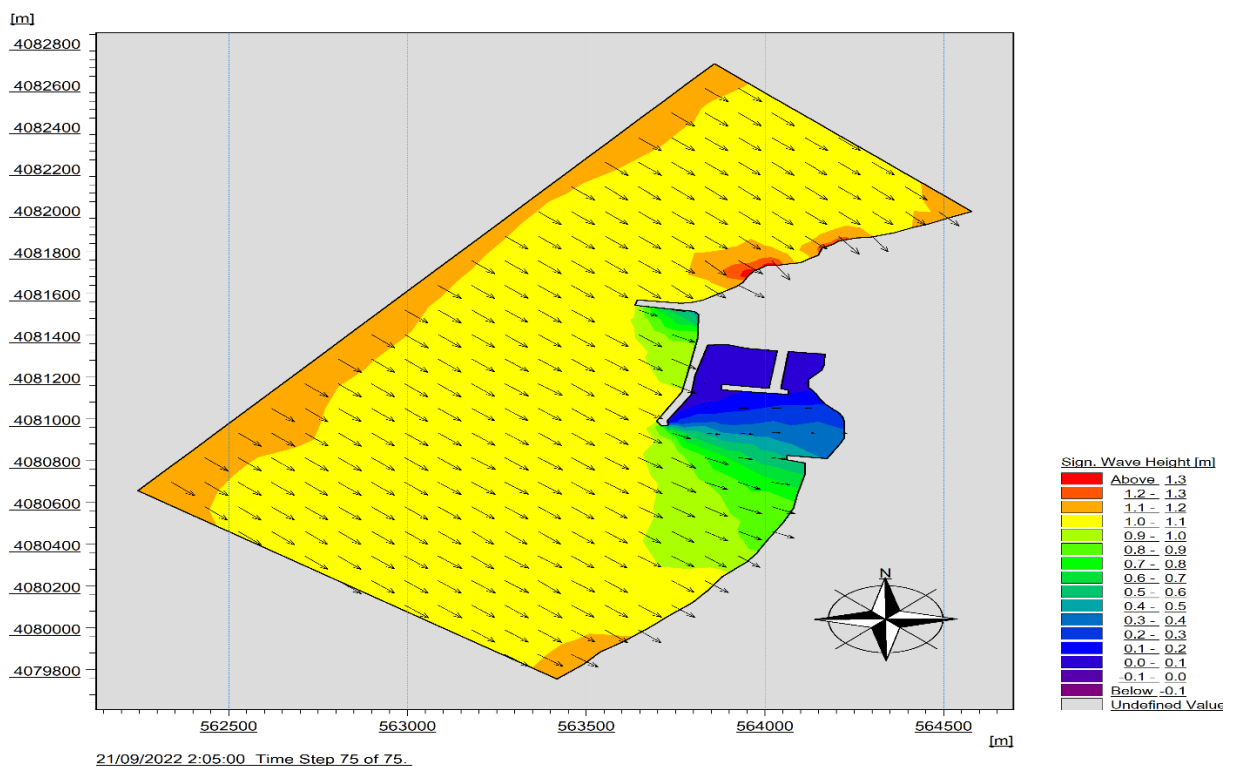
Pour une période de retour égale à 8s, la propagation des houles au large se fait de 2.6m à 1.6m de l'est vers l'ouest, on remarque une dissipation et une déviation vers la cote de ces dernières et arrivent de 1m vers le rivage.

La période de houle annule **10s** enregistre des hauteurs assez importante où la propagation au large se fait à une hauteur de 5.6m alors deux fois plus que les périodes précédentes (6 et 8s).

La vitesse du courant de dérive est donc de 0.35 m/s qui engendre un transport sédimentaire vers la plage Ouest, et la plage carrière, il est souligné que cette direction **favorise énormément** le transport longitudinal de l'Est vers l'Ouest de la cote.

➤ **Direction Nord 315°**

**SW – Direction Nord 315° (période de retour annuelle)**



**Figure 32.** Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 1,10\text{m}$ ,  $T_p = 6\text{s}$ ,  $U_{10} = 12\text{ m/s}$ )

SW – Direction Nord 315° (période de retour annuelle)

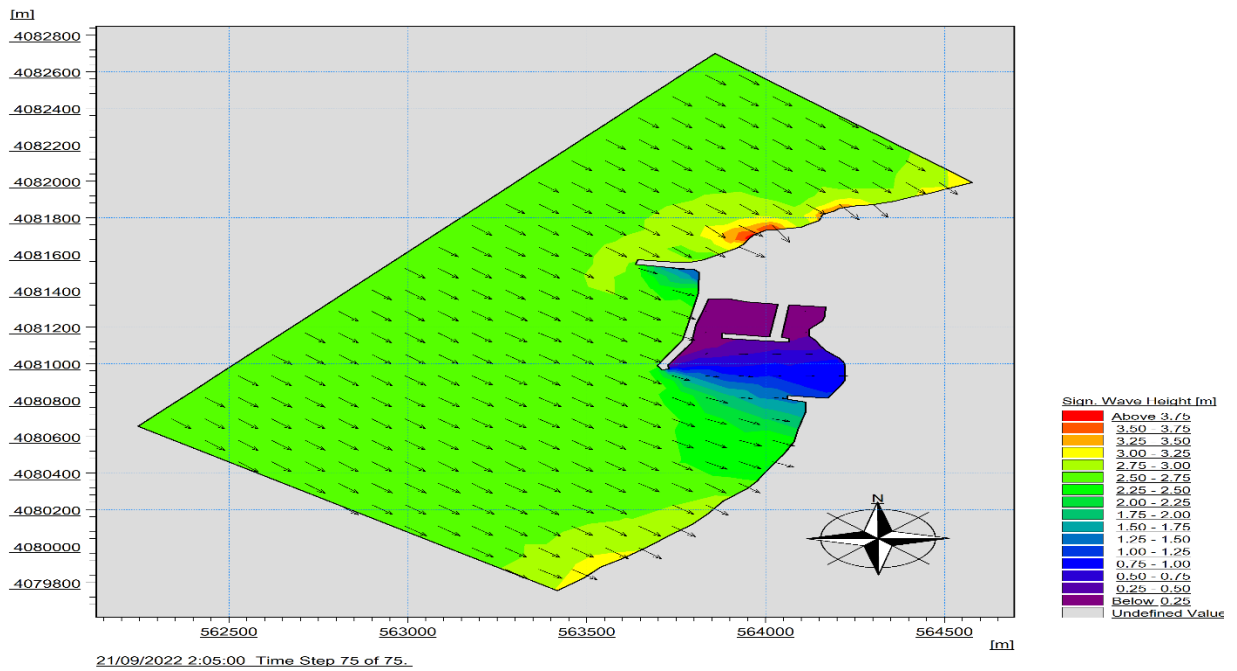


Figure 33. Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 2,64\text{m}$ ,  $T_p = 8\text{s}$ ,  $U_{10} = 12 \text{ m/s}$ )

SW – Direction Nord 315° (période de retour annuelle)

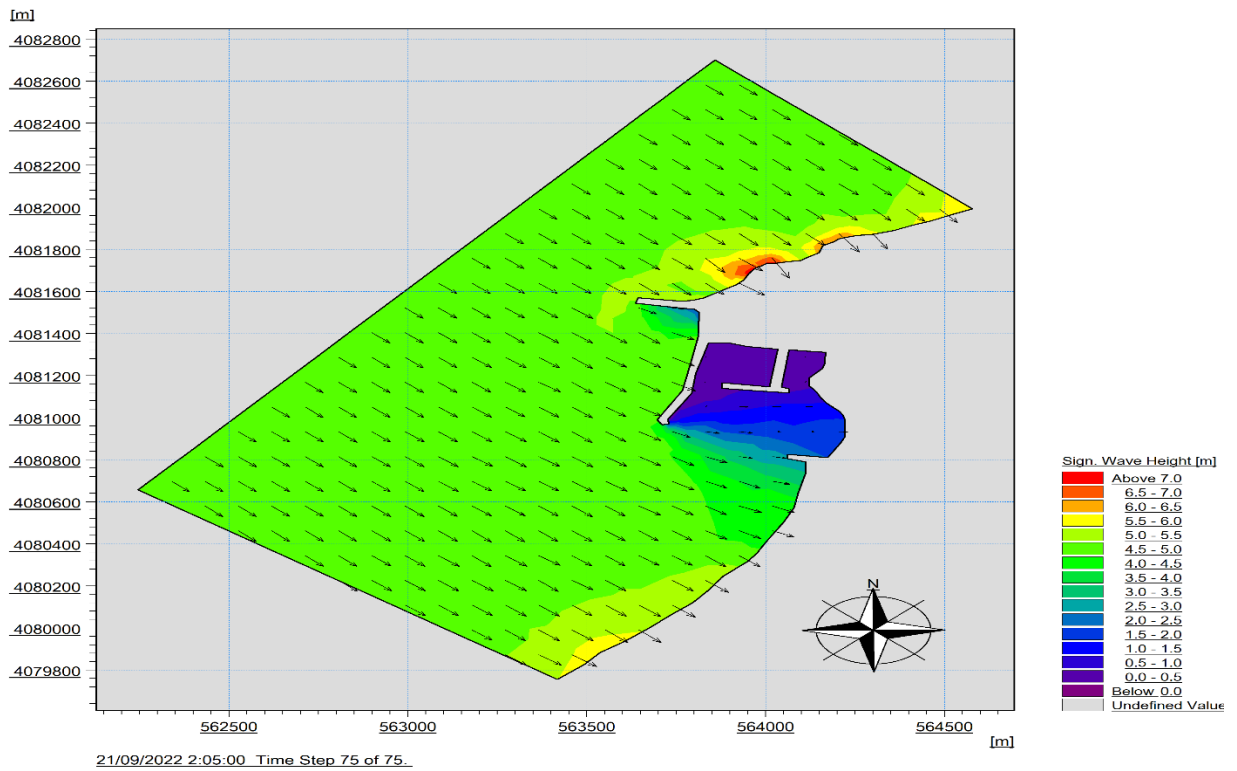
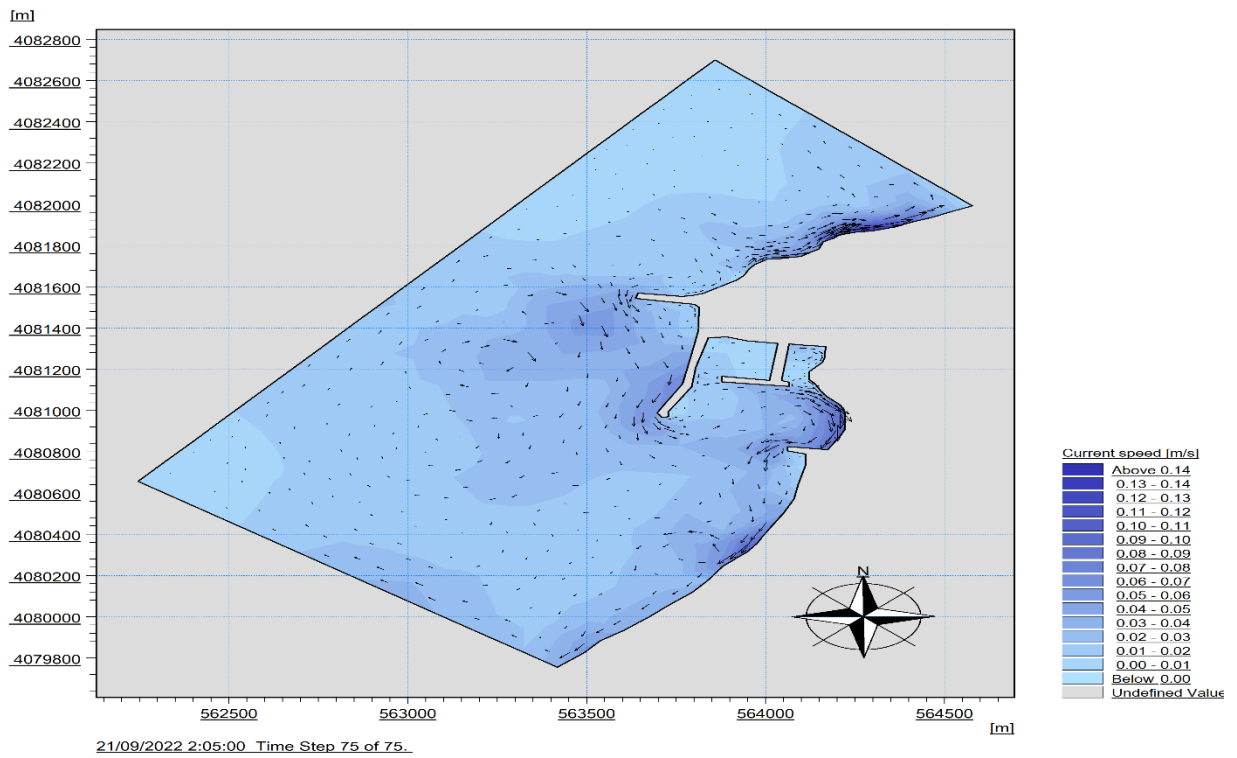


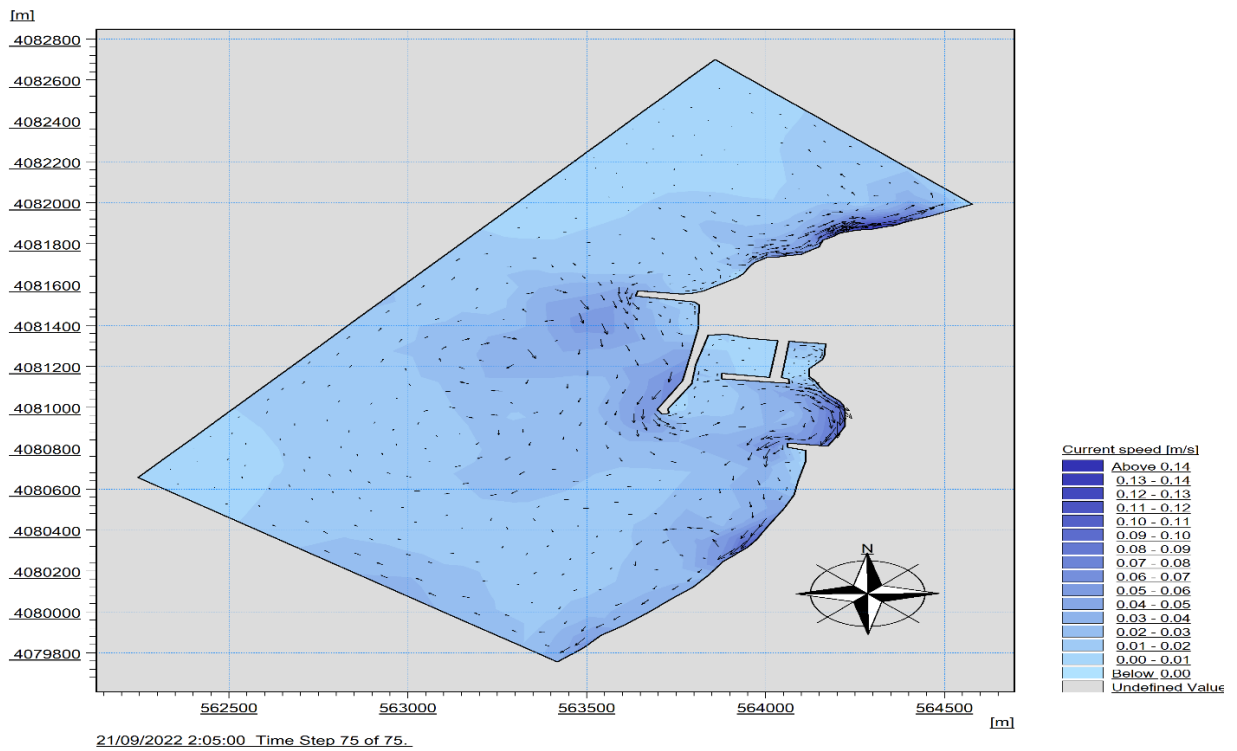
Figure 34. Champs des houles dans le Cap Djinet ( $H_s = 4,53\text{m}$ ,  $T_p = 10\text{s}$ ,  $U_{10} = 12 \text{ m/s}$ )

**HD – Direction Nord 315° (période de retour)**



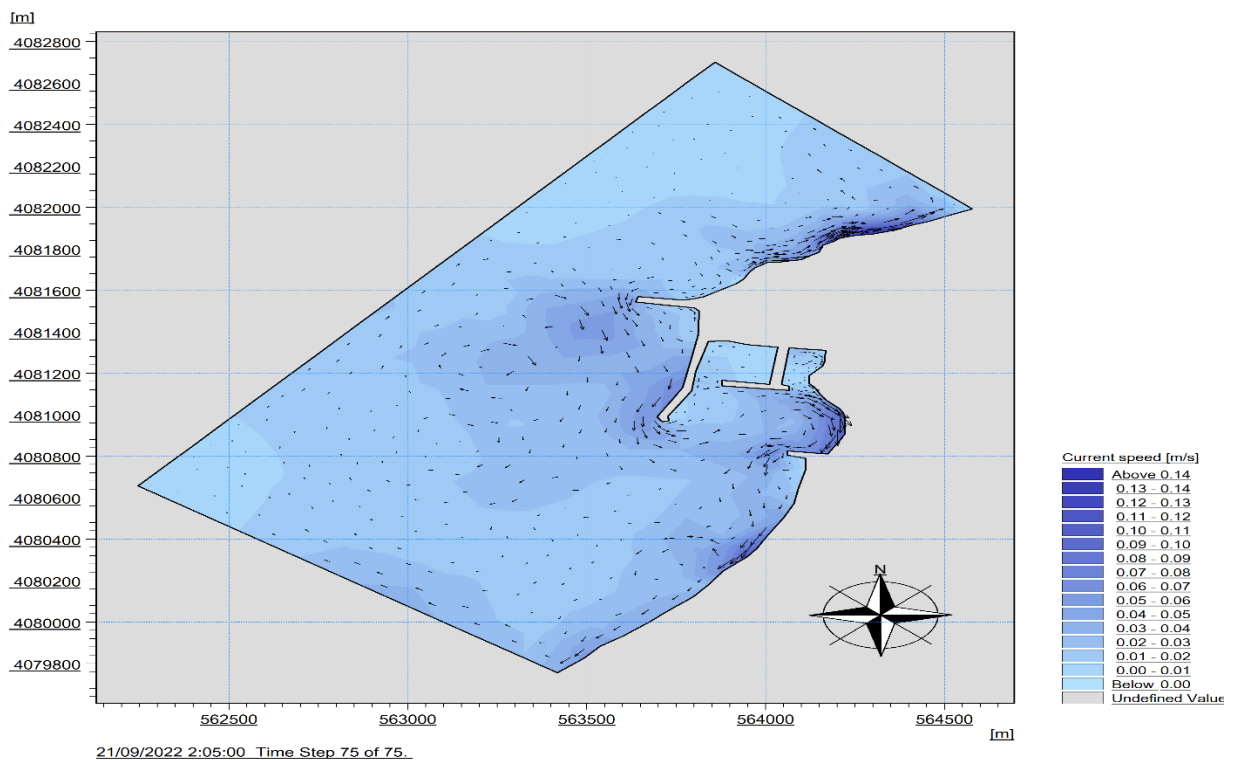
**Figure 35** Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet

**HD – Direction Nord 315° (période de retour annuelle égale à 8s)**



**Figure 36.** Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet à 8s

### HD – Direction Nord 315° (période de retour annuelle égale à 10s)



**Figure 37.** Champs des courants au voisinage du Port Cap Djinet à 10s

### Interprétation des résultats de simulation pour chaque période de retour, direction Nord 315° :

Les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur **Nord-Ouest** et de différentes périodes, la propagation semble se faire de façon **perpendiculaire**.

La houle ne perd que très peu de son énergie, les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage, ces données font de cette houle la plus menaçante pour la zone d'étude.

Pour une période de **6s**, la propagation au large se fait à 1.2m et entre 0.9 m et 1 m auprès de la cote.

A une période de **8s**, les houles propagent de 2.50 m du large vers la cote sans perdre leur énergie.

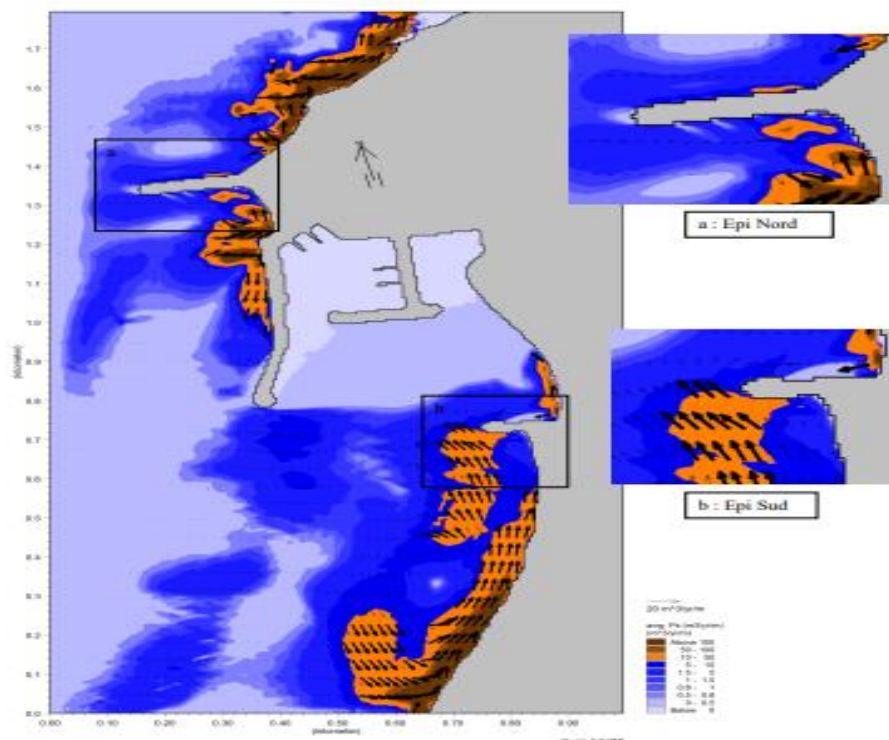
Pour une période de **10s**, la propagation est même que celle de la période 8s sauf que la hauteur est **plus importante** de 4m à 4.4 m

La vitesse du courant de dérive est donc de 0.14m/s qui engendre un transport sédimentaire vers l'est, On remarque l'importance du courant de dérive particulièrement au voisinage de la plage carrière et la plage Djinet familiale (avant l'épi sud).

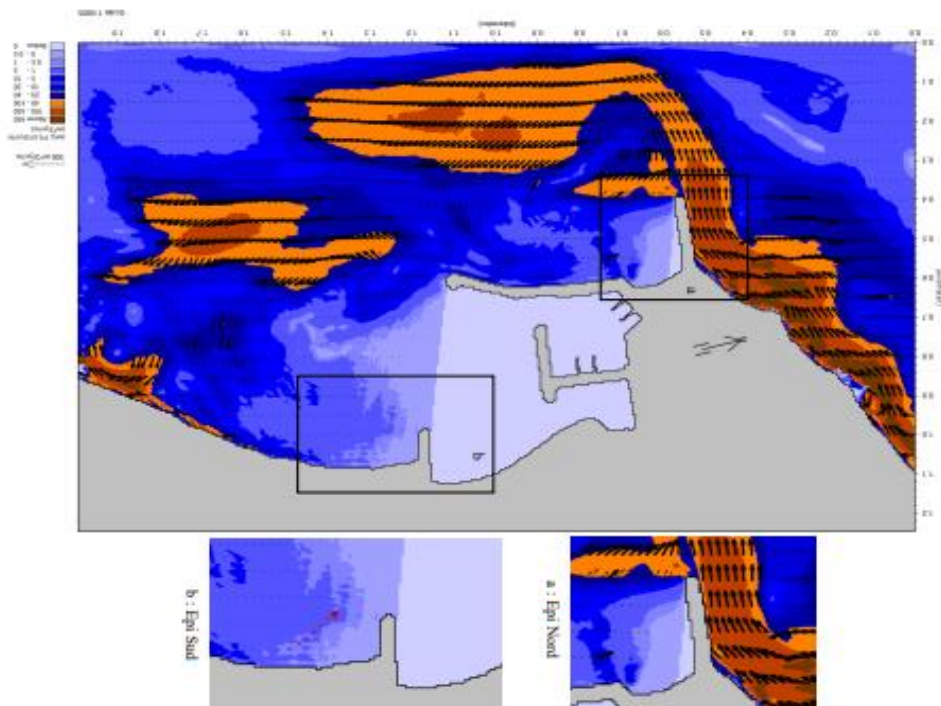
### ✚ Le modèle ST

C'est un modèle de transport de sédiment non-cohésif (sable). Ce modèle est couplé au modèle hydrodynamique MIKE21/3-HD et au modèle de vagues MIKE21/SW. Grace au MIKE21-SW, on obtient des formulations pour le calcul du transport sédimentaire : la formulation de Bijker (courants seuls) et la formulation STP du DHI (courant et vagues). Ce modèle peut être appliqué à tous les endroits où les courants et les vagues déplacent le sable. Quelques applications du modèle MIKE21/3-ST :

- La gestion du littoral.
- L'optimisation de l'entrée d'un port ou d'une marina.
- La conception des ouvrages de protection côtière.
- L'étude de la stabilité des passes d'entrée tidales.
- L'étude de la morphologie côtière et fluviale.
- La conception des plages artificielles.



**Figure 38.** Carte de simulation du transport sédimentaire généré durant la période allant du 15 au 17 Octobre 2014 - Houles de secteur Ouest (**khalfani, 2014**)



**Figure 39.** Carte de simulation du transport sédimentaire générée durant la période allant du 22 au 26 Octobre 2014 - Houles de secteur Nord-Est (**Khalfani, 2014**)

### Interprétation :

La modélisation du transport par les codes de calcul du Mike 21 nous ont permis d'élucider la dynamique sédimentaire dans les alentours du Cap Djinet sous l'effet des houles et des courants.

L'étude de propagation des houles du large vers la côte nous a permis de mettre en évidence une déviation des angles d'incidence vers le Nord-Ouest. Ceci est responsable sur la génération de courants littoraux qui charrient des taux importants de sables dans les deux sens du Nord vers le Sud quand les houles proviennent du Nord-Est et du Sud vers le Nord quand les houles sont de secteur Ouest, qui sont à l'origine de l'ensablement du port et de la fermeture de la passe d'entrée peut être donnée en se basant sur le processus de l'alimentation de la barre intermédiaire.

Cette courantologie entraîne en l'occurrence les sables vers l'épi Nord à partir des deux secteurs Nord et Sud en permanence quel que soit la direction de provenance des houles Nord-Est ou Ouest. Ce qui nous laisse suggérer que l'implantation de l'épi Nord a entraîné la formation d'une zone de piégeage très importante qui reçoit les sables des deux plages situées en amont et en aval de l'épi. Cette hypothèse doit être confirmée avec une expérimentation sur le terrain durant laquelle des mesures de courant et des flux sédimentaires doivent être effectuées afin d'affirmer ou annuler cette hypothèse.

En effet, les flux sédimentaires Sud-Nord contournent l'épi sud, par contre les flux sédimentaires du secteur nord sont très faibles c'est-à-dire il descend vers la côte puis remonte vers le prolongement de la digue principale du Port et fonctionne dans le sens des aiguilles d'une montre c'est-à-dire il se dirige parallèlement à la côte vers l'épi sud ensuite monte vers le prolongement de la digue principale du Port.

#### **Conclusion partielle :**

La modélisation des champs de courants (dus aux houles et aux vents) et des transports sédimentaires par les codes de calcul du Mike 21 nous ont permis d'élucider la dynamique sédimentaire dans les alentours du Cap Djinet sous l'effet des houles et des courants.

Les houles de secteur Nord-Est sont responsables sur la génération de courants littoraux qui charrient des taux importants de sables du Nord vers le Sud quand les houles proviennent du Nord-Est.

Dans la plage Nord la hauteur des vagues a atteint les 3m au large gonflant en raison des fonds importants qui sont à l'origine du gonflement des houles lorsqu'elles atteignent le rivage, Contrairement à la plage Sud possède un caractère dissipative qui absorbe l'énergie des houles avant -4 m de profondeur.

En résumé, les vagues arrivant dans la zone d'étude au niveau de la plage nord dépassent légèrement leur hauteur au large sous l'effet Shoaling par contre dans la plage sud, les vagues atteignant la côte sont complètement atténuées car elles déferlent assez loin du rivage à cause des faibles profondeurs de l'eau sur leurs trajectoires d'approche.

Cette courantologie nous laisse déduire que l'implantation de l'épi Sud a induit la formation d'une zone de piégeage de sédiments qui sont charriés du secteur Sud par les houles en provenance de l'Ouest, du secteur Nord et du secteurs Nord-Est.

Les différents scénarios de simulation de la propagation de la houle nous ont permis de constater que le Cap constitue une zone de convergence des orthogonales, ce qui atteste l'existence de cellules hydrosédimentaire le long du Cap.

Enfin, la direction Nord-Ouest est considérée comme la direction la plus favorable à l'érosion des deux plages qui conduit à l'entraînement des sédiments vers le large, ce processus est accentué également par l'oued Isser qui transporte des débits solides de manière importante lors des conditions hydrodynamiques extrêmes.

**CHAPITRE IV :**  
**Evolution spatio-**  
**temporelle du trait de**  
**côte de Cap Djinet**

**Introduction :**

Les littoraux sont aujourd'hui des espaces très attractifs et de nombreux enjeux y sont présents. Les aléas côtiers, c'est-à-dire l'érosion du trait de côte et la submersion marine, y sont une composante importante. Dans un contexte de changements climatiques, les événements tendent à être plus fréquents avec des conséquences plus élevées. Pour une meilleure gestion, il faut connaître ces aléas et le passé.

Par ailleurs l'évolution du trait de côte est par nature un phénomène qui n'est pas linéaire : les reculs consécutifs à un événement extrême peuvent être brutaux tandis que la période de reconstruction qui peut lui succéder peut s'étaler sur plusieurs années. Sur une période de suivi trop courte, il devient alors difficile de distinguer un engraissement du trait de côte qui fait suite à une tempête d'une progression liée à un contexte global qui est susceptible de se maintenir sur le plus long terme. La résilience du trait de côte ou son aptitude à retrouver sa position initiale à la suite d'un événement extrême et le rythme de ces évolutions sont aussi des paramètres importants car ils conditionnent les impacts que pourront avoir des conjonctions hydro-météorologiques de moindre ampleur mais rapprochées dans le temps.

L'objectif principal de ce chapitre s'articule, d'une part sur la théorie d'érosion côtière, et d'autre part sur l'analyse de l'évolution du trait de côte. Dans ce chapitre, l'objectif spécifique est d'établir une analyse de l'évolution de l'érosion de la côte meuble du cap Djinet après 1980 en se basant sur une étude diachronique, ensuite pour avoir une information complémentaire sur le déplacement des sédiments, et les dynamiques morphologiques côtières.

**IV.1 Définition du trait de côte :**

La définition du trait de côte peut être variable selon son usage. Lorsque l'objectif est d'étudier ses fluctuations et leurs impacts sur les enjeux environnementaux, sociaux et économiques des littoraux, le trait de côte constitue moins une ligne qu'une bande côtière de largeur variable, qui intègre des facteurs à la fois humains, climatiques, géologiques, écologiques, socio-économiques mais aussi historiques et culturels.

Cette notion de bande côtière, qui s'étend du domaine marin au domaine continental, permet de mieux rendre compte de la diversité des environnements littoraux

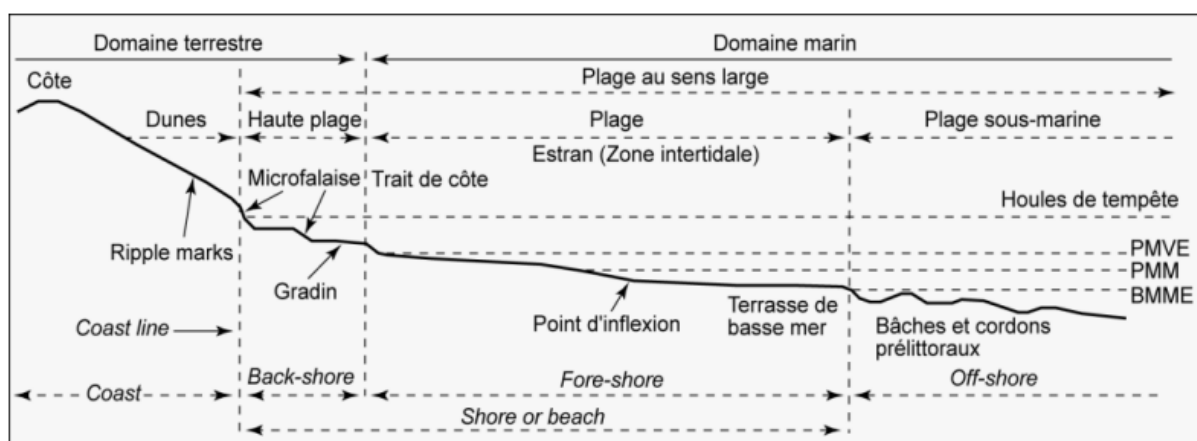
Dans les documents sur la reconnaissance côtière, "littoral" et « le trait de côte » est souvent considéré comme synonyme, mais certains chercheurs estiment qu'il est nécessaire de les distinguer. (Lam and Qiu 1992) considéraient que la côte représentait la limite

dynamique entre la terre et la mer, une ligne continue, souvent irrégulière, qui comprend de nombreuses criques et pointes mettre l'accent sur.

La définition du trait de côte est tout aussi délicate que son espace reste dynamique. Dans la littérature existante, on peut retrouver autant de définitions que d'auteurs sur la question. Baulig (1996) se démarque des autres comme Boak et Turner (2005). En effet, pour lui, la limite est très mouvante d'autant plus qu'il s'agit de celle entre la côte et le rivage qui se déplace en fonction de l'état de la mer et de la marée. Il qualifie donc la marée de facteur déterminant dans la définition du trait de côte

Par conséquent, le trait de côte pourrait se définir simplement comme la limite entre la terre et la mer. Cependant selon le type de côte considéré et sitôt que nous cherchons à tracer cette « limite », la notion de trait de côte devient plus complexe et peut se caractériser de différentes façons (Figure), à l'aide de plusieurs marqueurs et en fonction des données disponibles :

- la limite de végétation ;
- le pied ou le sommet d'une falaise (rocheuse ou sableuse) ;
- la ligne d'intersection de la surface topographique avec le niveau des plus hautes mers astronomiques (définition du Shom) ;
- un ouvrage de protection construit le long du littoral ;
- etc...



**Figure 40.** Profil schématique d'une côte sableuse et terminologie anglo-saxonne équivalente d'après SHEPARD (1973) In BONNOT-COURTOIS et LEVASSEUR (2002)

## IV.2 Choix de la ligne de référence :

### IV.2.1 Les marqueurs de position du trait de côte :

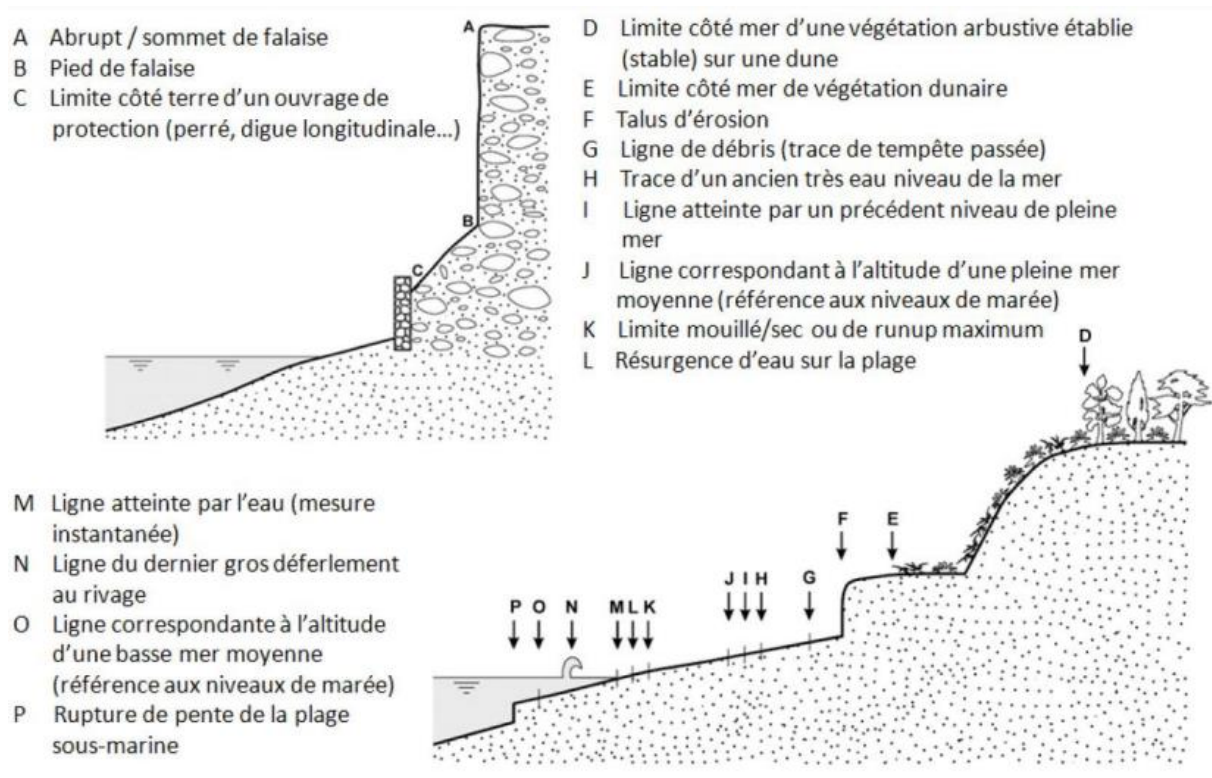
Beaucoup de facteurs qui influencent de manière temporaire sur le positionnement du trait de côte, telle que : la variation de l'amplitude des marées liée au cycle lunaire, les vagues au moment de la collecte des données et les vents locaux. Mais aussi il est détecté par d'autres marqueurs naturels.

La détermination d'une ligne de référence du trait de côte est difficile, par ce que la question de choix de la ligne de référence (indicateur) du trait de côte fait encore largement des débats (**Boak and Turner 2005**).

(**Boak and Turner 2005**) ont recensé 45 indicateurs du trait de côte figurant dans environ quatre-vingts publications, certaines reposent sur des éléments géomorphologiques ou sur la limite de végétation, d'autres sur la limite d'humectations (Figure 2).

Certains de ces marqueurs s'appuient sur des éléments géomorphologiques ou sur des considérations altimétriques voire hydrodynamiques (limite de déferlement), d'autres sur la présence de végétation (botanique) ou de débris (laises de mer)... Sur cette base, une typologie des principaux marqueurs du trait de côte recommandés et classés par type et par milieu a été proposée dans le rapport BRGM de **Mallet et Michot, 2012**. Ces marqueurs permettent de localiser le trait de côte choisi, et doivent être caractéristiques de l'évolution du site, en fonction des contextes géomorphologique et dynamique de la côte.

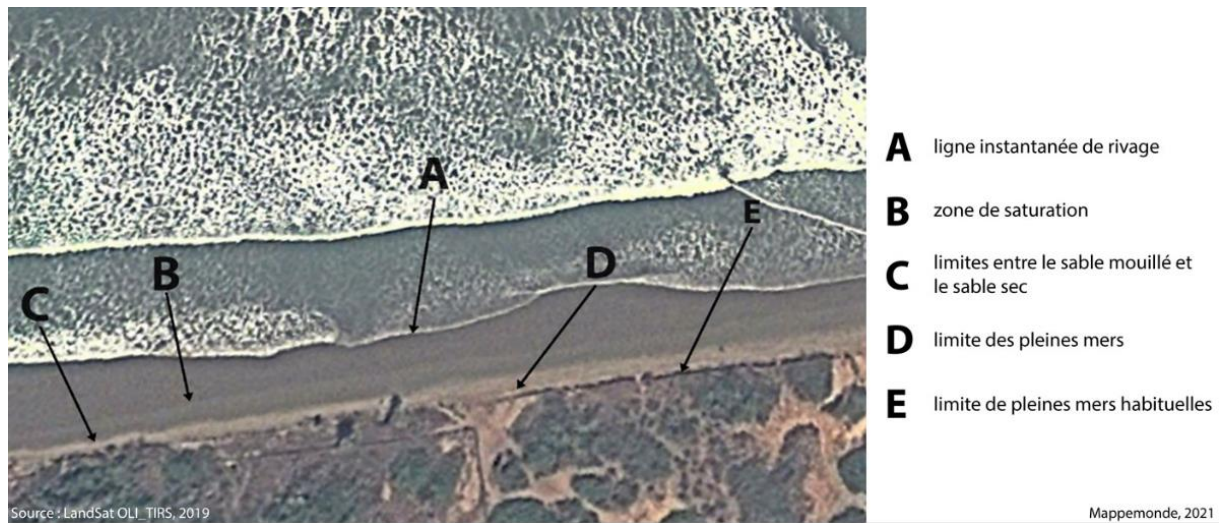
En réalité, les scientifiques combinent plusieurs marqueurs pour appréhender la dynamique du trait de côte le long d'un littoral donné. Par exemple la limite de végétation de la dune, obtenue par l'interprétation de photographies aériennes historiques ortho-rectifiées, peut être combinée avec le niveau moyen des plus hautes mers mesuré tous les mois. Ce croisement permet d'appréhender d'une part, les évolutions temporelles et, d'autre part, les variabilités saisonnières et interannuelles du trait de côte, résultant des variabilités climatiques qu'elles soient naturelles ou pas (**Castelle et al., 2017, 2018**)



**Figure 41.** Exemples de marqueurs du trait de côte (adapté et traduit par le BRGM, à partir de **Boak et Turner (2005)**)

#### IV.2.2 Les limites d'humectation et les lignes instantanées de rivage :

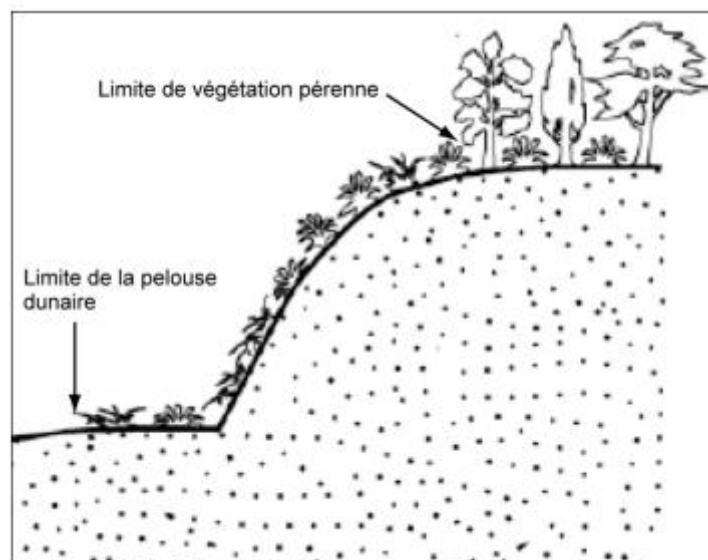
La limite du trait de côte est définie comme l'interface terre /mer (Delga 1969), cette limite est facilement identifiable sur les photos aériennes puisqu'elle représente la limite sable mouillé/sable sèche (sur les photos aériennes, elles apparaissent en gris foncé). Elle représente la limite du jet de rive à marée haute. Il y a deux méthodes les plus utilisées pour l'extraction manuelle du trait de côte.



**Figure 42.** Les lignes de référence marégraphique (LandSat OLI\_TIRS, 2019)

### I.2.3 La limite de végétation pérenne, les Oyats :

Cette limite constitue l'indicateur le plus fréquemment employé. En effet, les oyats sont des plantes qui ne supportent pas les submersions marines. La limite d'expansion de l'oyat est donc un très bon indicateur de la position du trait de côte pour un suivi sur du très long terme (Durand-Delga et al. 2000)



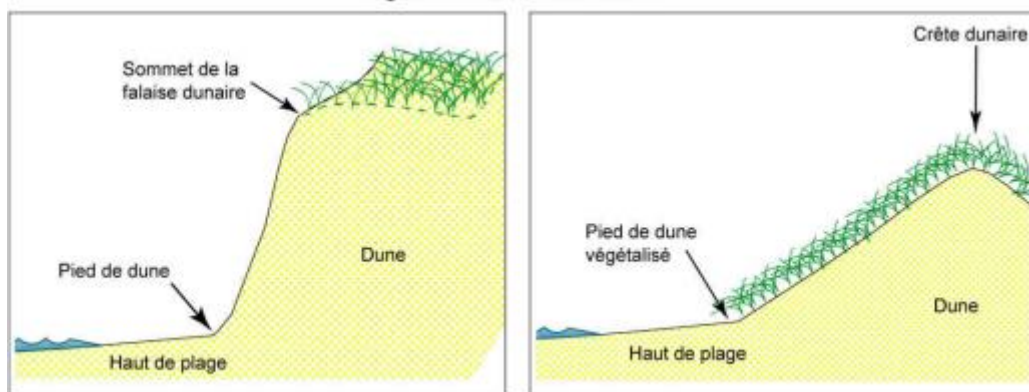
**Figure 43.** Représentation schématique de la limite de végétation dunaire et pérenne (BOAK et TURNER, 2005 ; modifié)

#### IV.2.4 La laisse de haute mer la plus haute et la plus visible :

L'accumulation de débris organiques lors de chaque marée est un bon indicateur du niveau d'eau. La laisse de mer la plus haute donne la limite atteinte par les plus hautes mer. Cependant cette limite est très variable dans le temps à court terme et elle est parfois impossible à repérer.

#### IV.2.5 La morphologie de pied de dune :

Pour les plages bordées de cordons dunaires, trois lignes de référence géomorphologiques sont utilisables : le pied de dune, le haut de la dune et la crête de dune (Figure 49). Le pied de dune (dune foot, dune toe) marque la limite supérieure de la haute plage. Il est localisé à la jonction entre la pente relativement abrupte du front dunaire et celle de la haute plage qui est beaucoup plus douce (GUILLÉN et al., 1999).



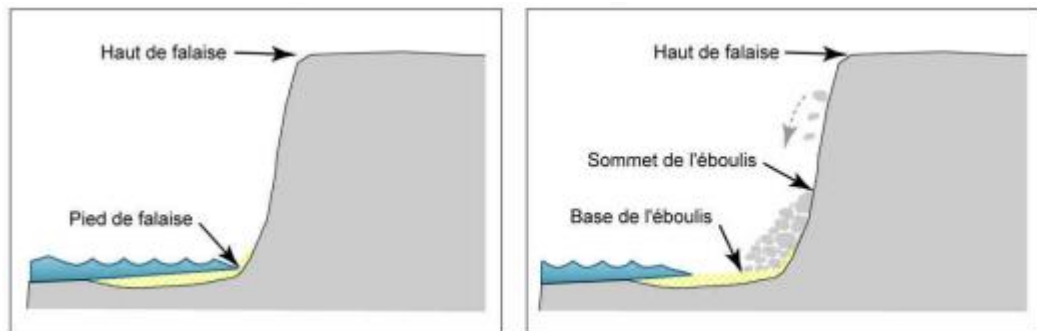
**Figure 44.** Représentation schématique de quelques exemples de lignes de référence géomorphologiques (cas des dunes)

#### IV.2.6 La falaise dunaire :

La falaise dunaire signale la position du trait de côte. En revanche, si des oyats se trouvent en avant de la falaise, il faut prendre la limite de végétation car cela signifie que la portion de plage entre l'oyat et la falaise n'a pas été submergée depuis un certain moment.

Cependant, Lorsque la falaise est affectée par des mouvements de masse (effondrement, éboulement), la ligne de référence peut-être placée au «contour de la cicatrice

d'arrachement»(Robin 2002), au sommet de l'éboulis (Priest, 1999) ou au pied de l'éboulis (Bonnot-Courtois et Levasseur, 2002 ; 2003).



**Figure 45.** Représentation schématique de quelques exemples de lignes de référence géomorphologiques (cas des falaises)

#### IV.2.7 Les aménagements anthropiques :

La construction de barrages de retenue d'eau bloque les sédiments issus des bassins versants les empêchant de rejoindre la mer et alimenter le littoral. Les extractions de sable ou de sédiments, désormais interdites, ont impacté de façon irréversible le stock sédimentaire.

Enfin, toutes les opérations d'artificialisation telles que l'arasement de dunes bordières, l'aménagement du front de mer, les travaux portuaires, la construction de digues, la pose d'enrochements peuvent avoir un impact sur le trait de côte.

#### IV.3 Logiciels utilisés

##### • Google Earth Pro

Google Earth est un logiciel SIG qui permet de voyager dans le monde via le globe virtuel et d'afficher des images satellitaires de grande résolution, ces images sont mises à jour au fur et à mesure et sont issues de plusieurs satellites (SPOT, QUICKBIRD, IKONOS,).

##### • ArcGIS 10.8

ArcGIS est un logiciel permettant de traiter des informations géographiques, il s'agit d'un système qui sert à collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser ces informations géographiques, le logiciel offre également de nombreuses potentialités pour la manipulation et la gestion des données spatiales.

• **Aperçu de l'extension DSAS** Un outil de mesure des écarts entre les traits de cote d'une même série mais aussi de calculer les statistiques des taux de changement pour une série chronologiques des données vectorielles du littoral (en m/an). Les méthodes utilisées peuvent être décrite comme suite :

a) NSM (Mouvement net des rivages) : qui indique la distance entre les traits de cote les plus anciens et les plus récents pour chaque transect.

b) EPR (End point rate) : un taux calculé en divisant la distance du changement de trait de côte par me temps s'écoulant (nombre d'années) entre le trait de côte le plus anciens et le plus récent.

$$EPR = NSM / \text{Durée entre l'ancien et le récent}$$

A partir du paramètre EPR, on peut classer la progression d'érosion ou d'accrétion selon le résultat obtenus par le paramètre :

**Tableau 6.** Classification des valeurs changement du trait de côte à partir du paramètre EPR (Nassar K et al., 2018).

|   | Taux de changement de trait de côte (m/an) | Classification        |
|---|--------------------------------------------|-----------------------|
| 1 | > -2                                       | Erosion très élevée   |
| 2 | > -1 à <-2                                 | Erosion élevée        |
| 3 | > -1 à <-0                                 | Erosion modérée       |
| 4 | 0                                          | Stable                |
| 5 | > 0 à <+1                                  | Accrétion modérée     |
| 6 | > +1 à <+2                                 | Accrétion élevée      |
| 7 | > +2                                       | Accrétion très élevée |

#### IV.4 Méthodologie :

##### IV.4.1 Les opérations de pré calculs

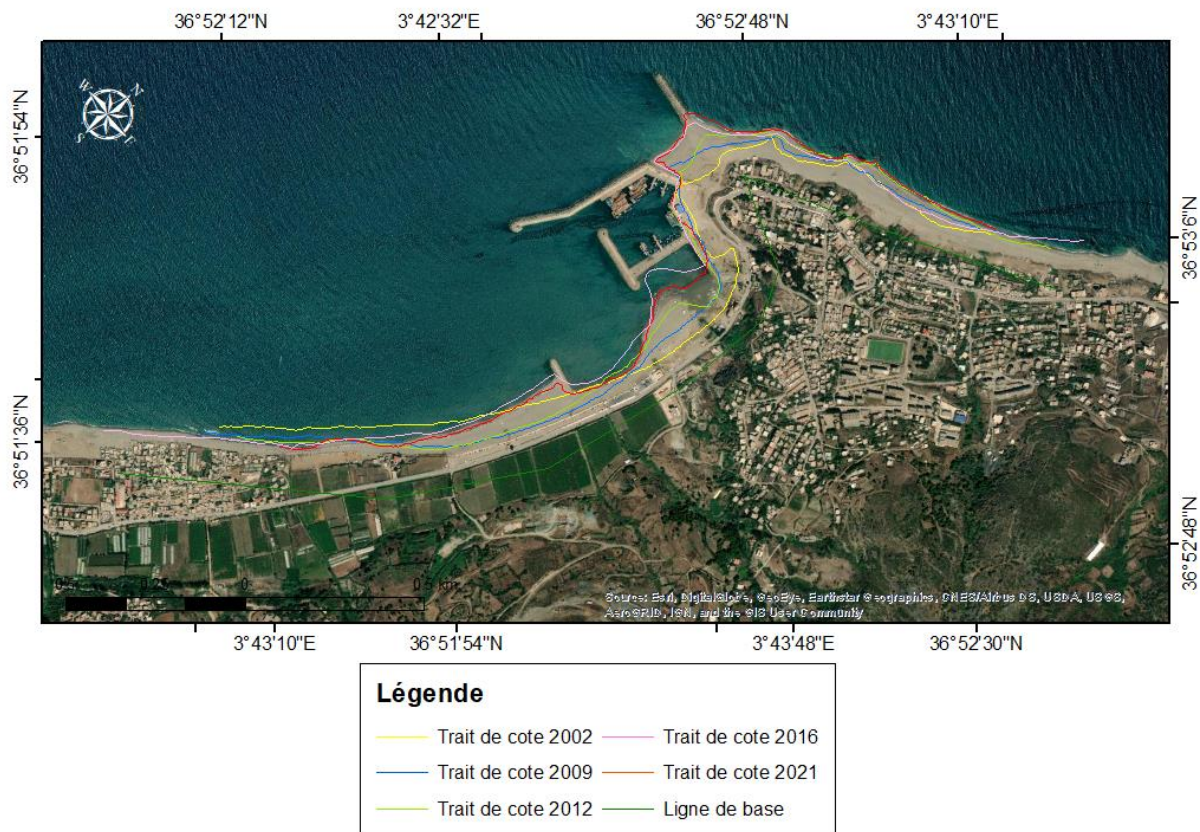
Il s'agit de créer au début une Géodatabase personnelle composée essentiellement de deux entités : une première entité contenant plusieurs lignes de références nommées baseline et une seconde entité constituée de traits de cote déjà numérisés sur ArcMap nommée shorlines.

➤ **La Baseline** : Il s'agit de numériser une ligne de base imaginaire à partir de laquelle DSAS crée des transects qui coupent les différents traits de cote. Ainsi, les transects sont perpendiculaire à cette Baseline qui doit être parallèle au rivage digitalisé dans la limite de la végétation.

➤ **Les shorlines** : Les shorlines représentent les traits de cote déjà numérisés dans la Géodatabase. Il s'agit en effet, des traits de cote auxquels, la Baseline doit être parallèle et devant servir de mesure dans l'environnement de DSAS. Ainsi, pour pouvoir effectuer un calcul d'indices (EPR, LRR). Les shorlines doivent être au minimum de deux entités de date ou encore d'heures différentes.

#### IV.4.2 Digitalisation

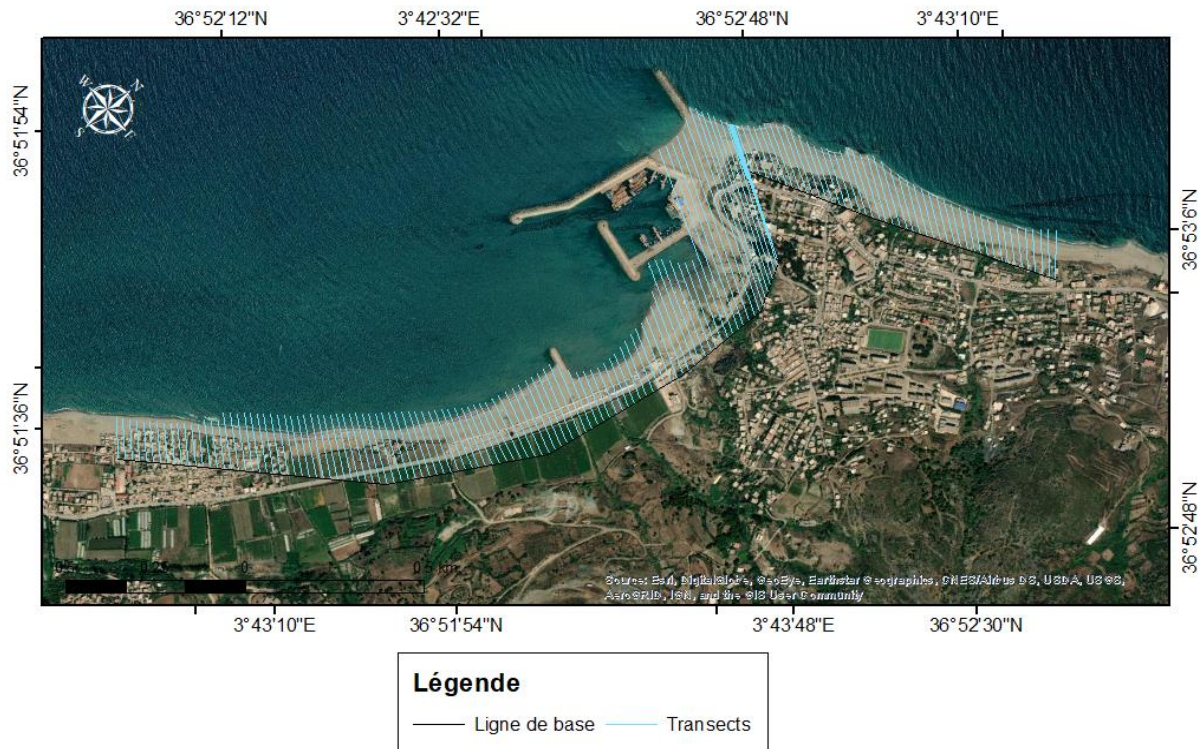
La digitalisation a été faite sur douze images satellitaires géoréférencées des dates différentes entre 2002 et 2021.



**Figure 46.** Digitalisation des traits de cote selon différentes périodes entre 2002 et 2021

### IV.4.3 Génération des transects

L'analyse de l'évolution spatio-temporelle entre 2002 et 2021 de la position du trait de côte du port Cap Djinet délimitées par deux plages, plage carrière à l'est et la plage Djinet familiale à l'Ouest.



**Figure 47.** Position des transects au niveau de la ligne de cote entre 2002 et 2021

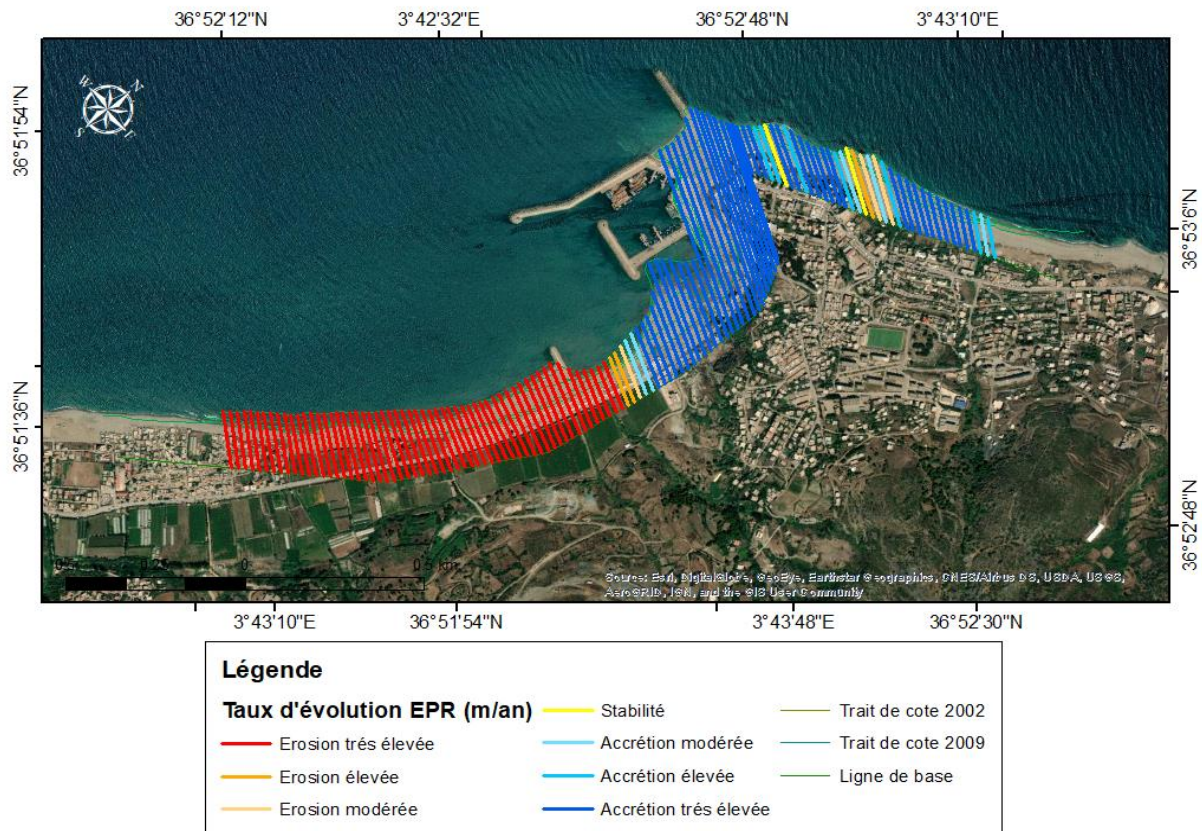
### IV.4.4 Calculs statistiques

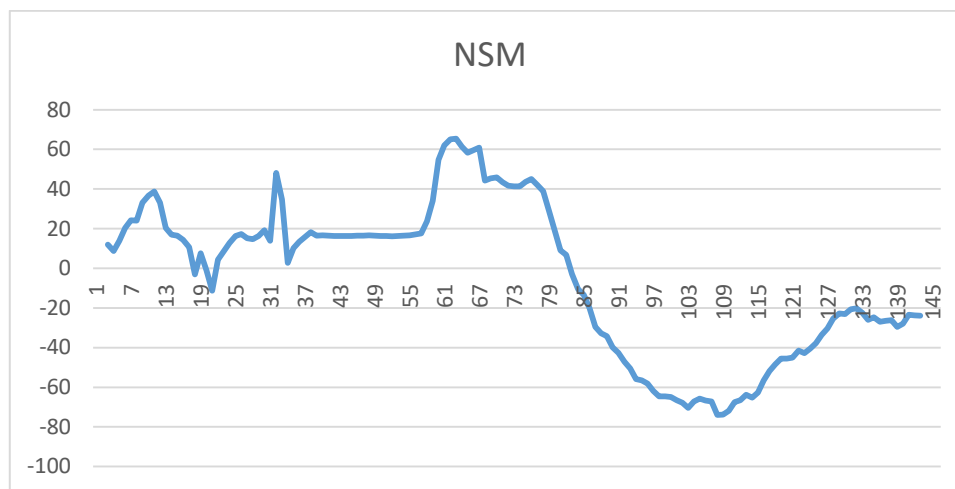
Le calcul statistique consiste, en fonction des indices considérés, à faire ressortir les données tabulaires calculées automatiquement par DSAS, En effet, c'est l'analyse automatique de tous les transects qui permet de définir des secteurs d'évolution et d'en calculer les valeurs moyennes.

Afin de bien comprendre l'évolution diachronique du trait de côte à partir des différentes années selon l'échelle spatio-temporelle, on a calculé les paramètres du DSAS pour but d'obtenir ces **données statistiques tel que le EPR, et LRR**

IV.5 Résultats et discussions

- ✚ **Le taux de point final (EPR)** Pour bien comprendre l'évolution de ces traits de cote selon l'échelle spatio-temporelle, on a projeté le support statistique du taux de point final (End Point Rate) pour élaborer une carte représentative.
- ✚ **Calcul du mouvement net des rivages (NSM)** Le calcul du mouvement net des rivages (NSM) est important pour évaluer l'évolution de la distance et non la vitesse en fonction du temps, nous avons calculé ce paramètre afin d'élaborer une carte représentative de notre site d'étude





**Figure 48.** Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2002 et 2009

### Interprétation de l'évolution du trait de côte entre 2002 et 2009

La figure 53 nous renseigne sur la distance de déplacement du trait de côte sur chaque transects entre 2002 et 2009 du site d'étude. Cette période est caractérisée par la construction d'ouvrages transversaux (épis), on note durant la période de 2002 à 2009, la construction du port été mis en place. Cette infrastructure portuaire a eu un impact remarquable sur l'évolution du trait de côte, il s'agit d'une accrétion à l'est du Cap et une érosion à l'ouest. Les débits solides interviennent également dans la morphologie du trait de côte en prenant en considération les conditions hydrauliques incidentes sur la cote. On constate une variation irrégulière du trait de côte, de la limite Ouest et la limite Est.

- Une accrétion progressive atteignant un pic de 3,72m/an au niveau du transect 63, cela correspond à un avancement remarquable du trait de côte de 62.5 m, cette accumulation est à cause de la construction du port.
- Ensuite, une érosion forte est remarquée à partir du transect 85 jusqu'au transect 145 avec un pic de recul de -4,87m/an, cela correspond à un recul de -72.3m. Cette érosion est due à la mobilité du transit sédimentaire durant toute cette période.

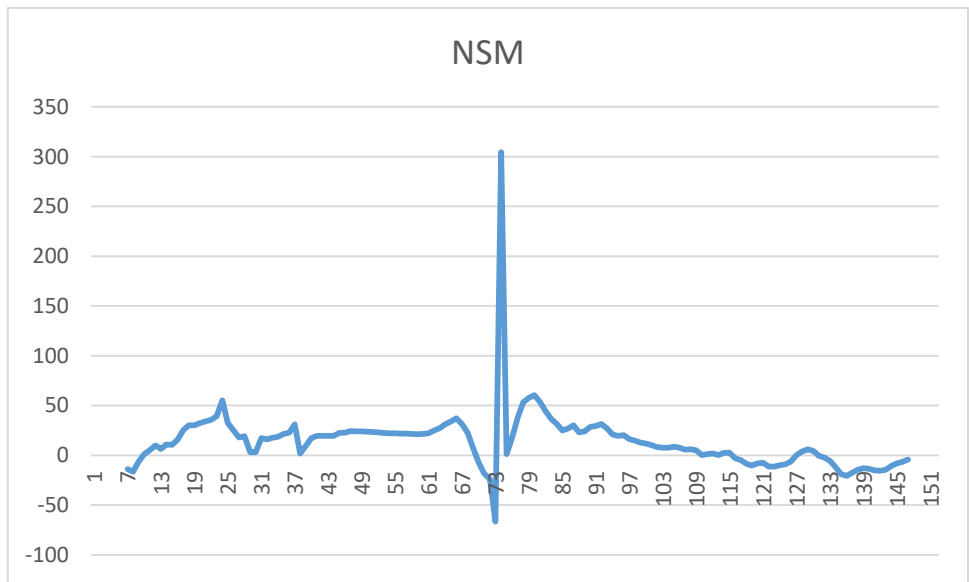
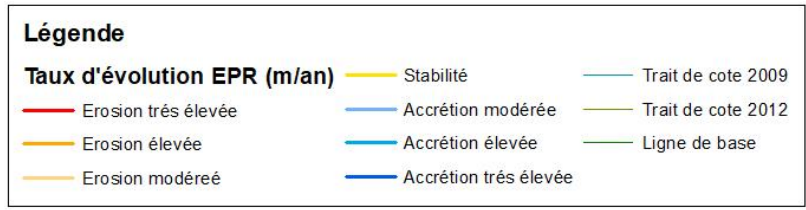
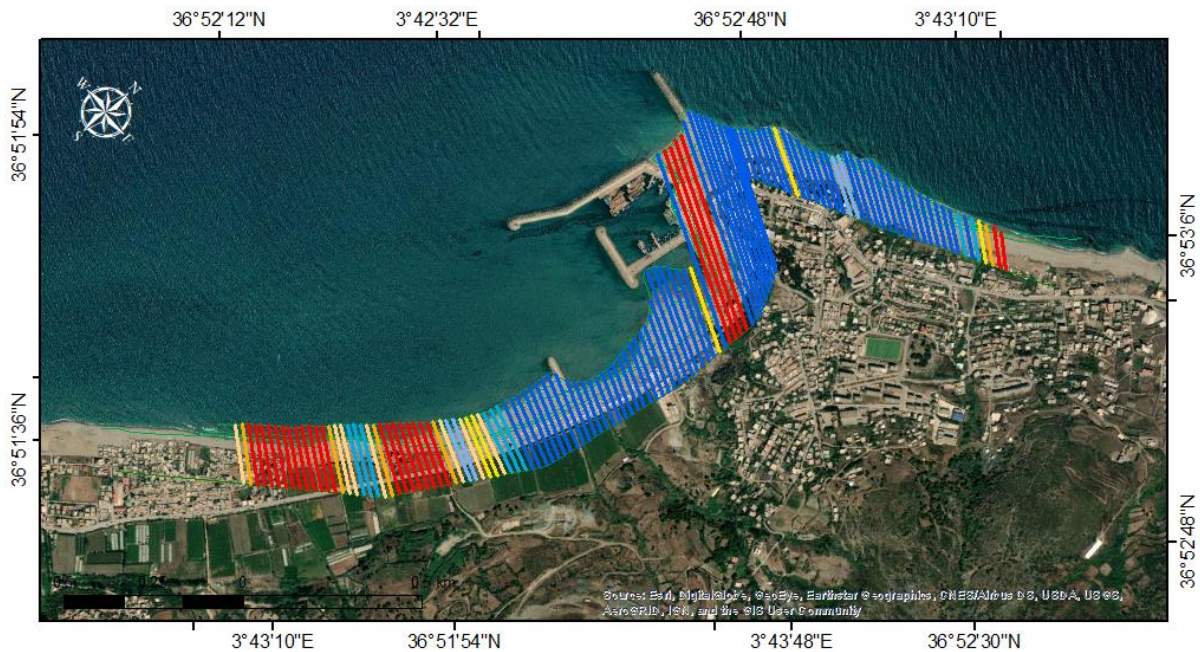
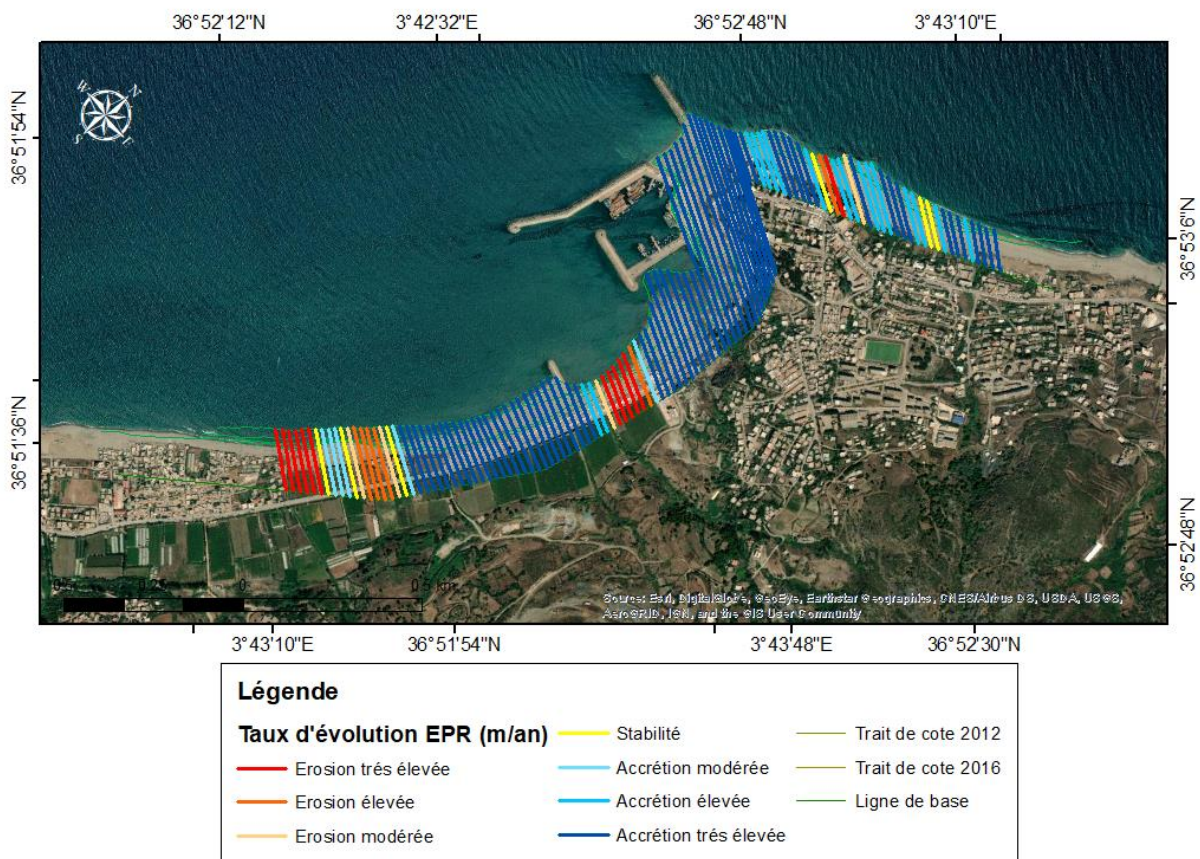


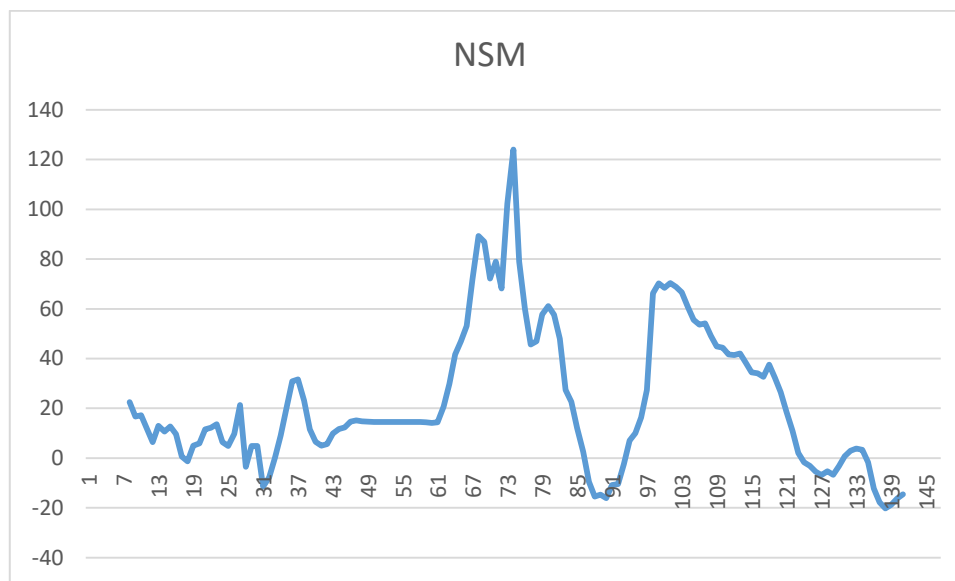
Figure 49. Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2009 et 2012

**Interprétation de l'évolution du trait de côte entre 2009 et 2012**

La figure 54 nous renseigne sur la distance de déplacement du trait de côte sur chaque transects entre 2009 et 2012 du site d'étude. Cette période est caractérisée par l'implantation de l'épi nord et l'extension de la jetée principale du port.

- c'est la période au le cap Djinet subit une accrétion assez importante avec un pic de 14,20 m/s et avec un élargissement de plage qui atteint les 300m au niveau du transect 73.
- A partir du transect 151 vers 145, une présence d'irrégularités dans l'évolution du trait de côte, l'érosion est très faible dans l'extrémité Ouest atteignant -0.41m/an, l'érosion de 9 m est due à la présence d'un épi qui bloque le transit sédimentaire de secteur Est.





**Figure 50.** Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2012 et 2016

#### **Interprétation de l'évolution du trait de côte entre 2012 et 2016 :**

La figure 55 nous renseigne sur la distance de déplacement du trait de côte sur chaque transects entre 2012 et 2016 du site d'étude. Dans cette période la zone Cap Djinet est marquée par un taux d'érosion important le long de la plage Familiale Djinet et la plage ouest juste après l'épi sud.

- Aux alentours de l'épi sud on remarque une accumulation en amont de l'ouvrage (dans le sens du transit sédimentaire) et une érosion en aval du transect 85 à 94, la variation du niveau de rivage autour de ce dernier se balance de 60m à -18m.
- Une accrétion progressive atteignant un pic de 3,72 m/an au niveau du transect 76, cela correspond à un avancement remarquable du trait de côte de 124.2 m..

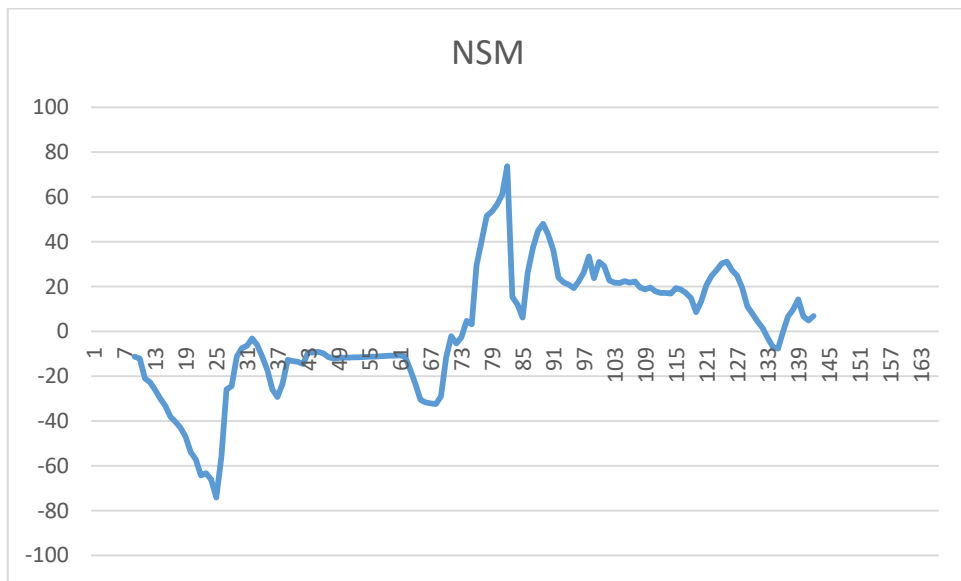
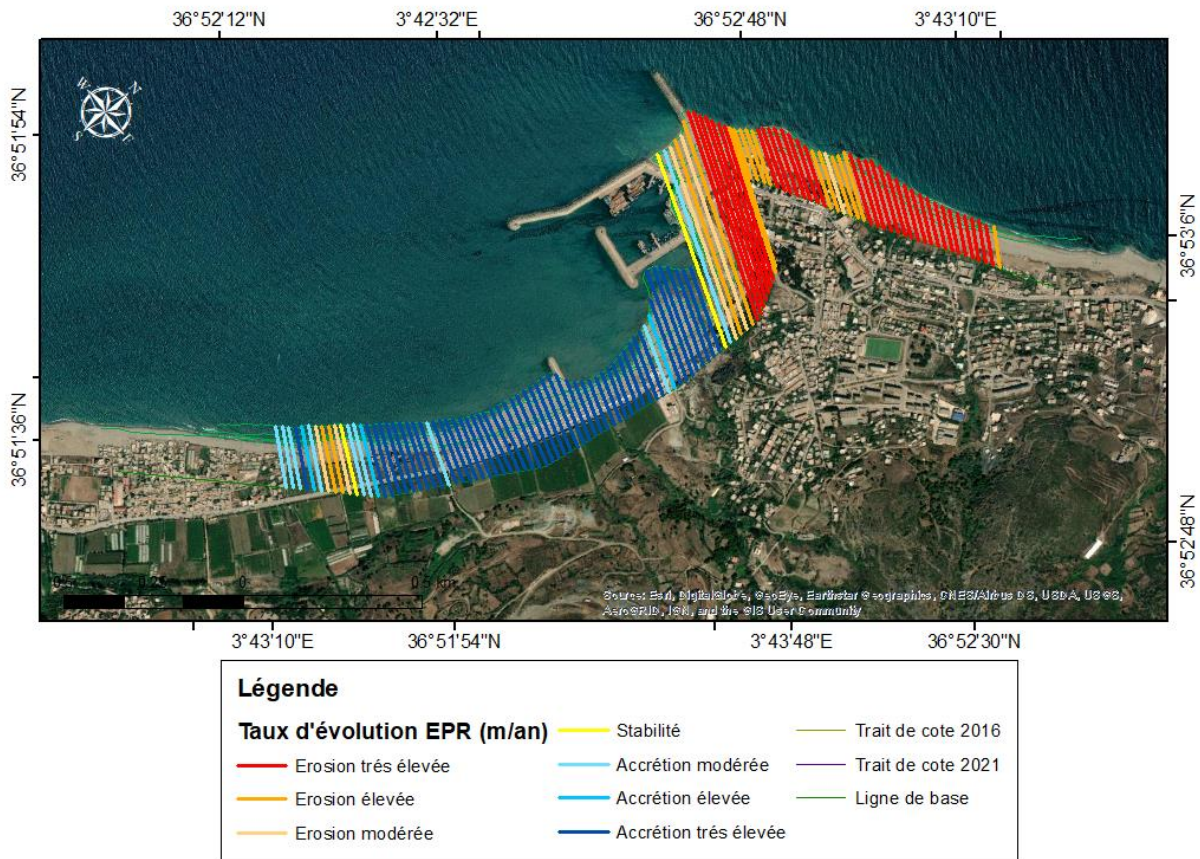
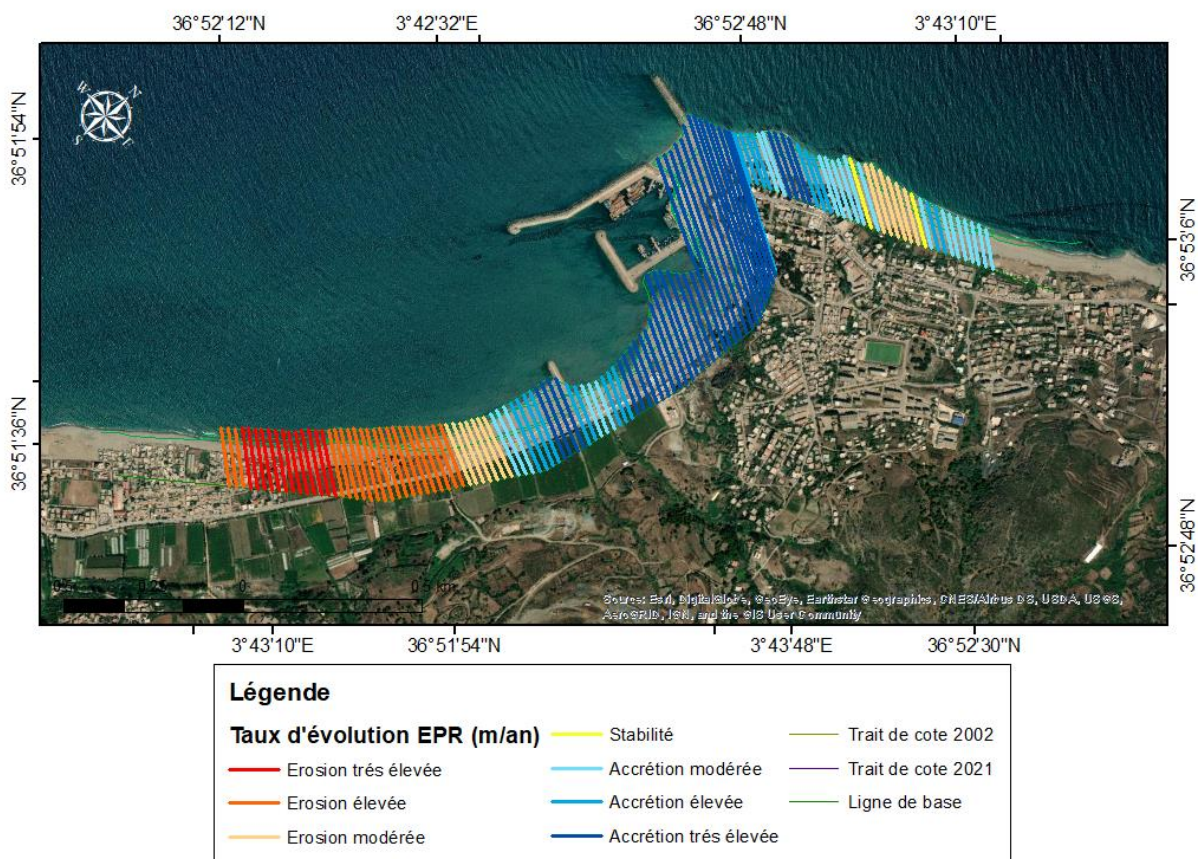


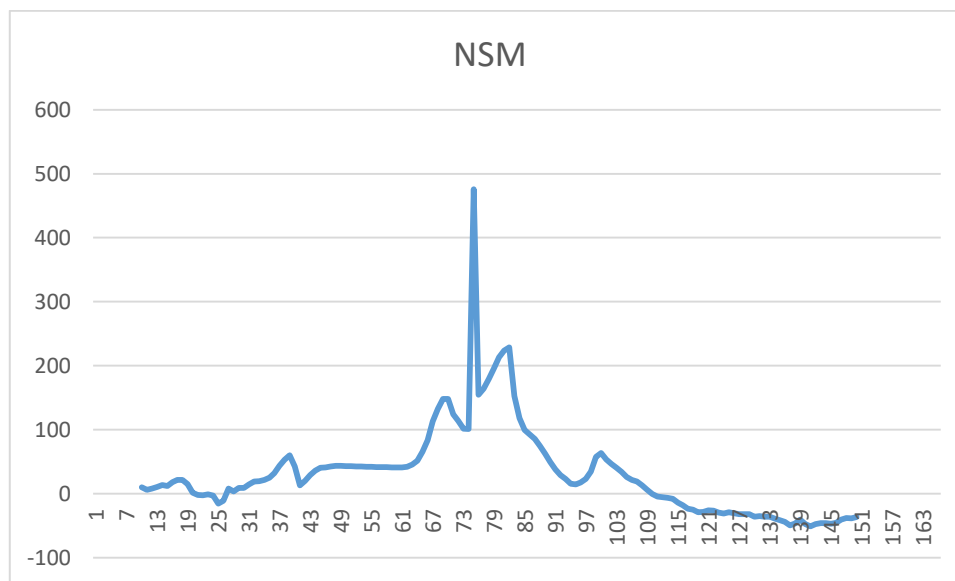
Figure 51. Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2016 et 2021

**Interprétation de l'évolution du trait de côte entre 2016 et 2021**

La figure 56 nous renseigne sur la distance de déplacement du trait de côte sur chaque transects entre 2016 et 2021 du site d'étude.

- Une accrétion progressive atteignant un pic de 2,72 m/an au niveau du transect 83, cela correspond à un avancement remarquable du trait de côte de 78.6 m, cette accumulation est remarquable au niveau de la plage Djinet familiale et la plage Ouest et aussi due au blocage du transit sédimentaire du secteur Ouest par la jetée principale du port et l'épi Nord.
- Ensuite, une érosion très forte est remarquée à partir du transect 8 jusqu'au transect 73 avec un pic de recul de -5,24m/an, cela correspond à un recul de - 75.8 m. Cette érosion est due au blocage des sédiments par les deux épis (Nord et Sud).





**Figure 52.** Evolution spatio-temporelle du trait de côte entre 2002 et 2021

### Interprétation de l'évolution du trait de côte entre 2002 et 2021

Cette évolution nous a conduit à obtenir les résultats de l'analyse diachronique qui montrent que notre zone d'étude est soumise à une forte érosion, cela nous a aidé à confirmer la dynamique du trait de côte de la plage Djinet familiale, la plage Ouest et Carrière par les points suivants :

- la plage Ouest subit une érosion, d'après les résultats chapitre précédents, le transport sédimentaire longitudinal au niveau de la plage faible due au blocage du transit sédimentaire. Il faut noter également que l'effet érosif provoqué par la direction Nord-Ouest est plus intense par rapport à la plage Djinet.
- L'accrétion au niveau de la plage Djinet est plus importante que celle de Carrère, ceci a été confirmé par les calculs empiriques en fonction des houles extrêmes.
- Nous concluons que notre site d'étude est soumis à des tempêtes rares qui sont à l'origine de la dynamique complexe du trait de côte. Le transport sédimentaire longitudinal est fortement présent dans la zone, ce qui prouve la forte accumulation au niveau des deux épis Nord et Sud.

## IV.5 Variation de la ligne de rivage



**Figure 53.** Evolution of the coastline of Cap Djinet from 2002 to 2016 (google earth)

**Commentaire :****Evolution de la position du trait de côte entre 2002 et 2016**

L'analyse de l'évolution de la côte de cap Djinet durant les périodes 2002 et 2016 se caractérise par une grande variabilité (Figure 58). Ces résultats montrent que la zone côtière a subi à une érosion relativement rapide que l'accrétion. Ce qui provoque des changements sur toute la baie de cap Djinet se traduisant comme suit :

**Phase 1 : 2002 - 2009**

C'est la phase la plus sensible dans l'histoire du cap Djinet, parce que c'est là où la morphologie du cap a changée à cause de la construction du port.

Cet aménagement a engendré une perturbation du fonctionnement hydro-sédimentaire de cette zone du fait qu'ils aient fait obstacle aux mouvements sédimentaires longitudinaux. Ce qui explique une accrétion au niveau de la plage de Carrière et la plage de Djinet familiale 1 (Figure 59) et une érosion dans la plage ouest.

### Phase 2 : 2009 - 2012

Après la mise en place des derniers aménagements, la cote à continuer de changer de morphologie.

La plantation de l'épi du nord traduit une érosion au pied de l'épi récemment installé. Il est à signaler que la zone de l'épi Nord subit une évolution assez rapide en matière d'engraissement du fait qu'elle constitue un obstacle du transit sédimentaire.

### Phase 3 : 2012 - 2016

La mise en place de l'extension de la jetée principale du port a perturbé le transit sédimentaire ainsi que le débit déposé par les courants et toute action hydrodynamique. Ainsi que l'implantation d'un épi qui sépare la plage Djinet 1 et la plage ouest, qui a provoqué une forte accrétion au niveau de la première au voisinage de la jetée secondaire. (Figure 59)



**Figure 54.** Bilan surfacique de la cote (plage Djinet Familiale –plage Carrière 2) durant la période 1980-2017

**Discussion :**

L'analyse de la variation du changement du rivage au cours de ces dernières années (1980-2017) montre que le Cap Djinet est soumis soit, à l'accrétion avec un pourcentage soit, à l'érosion. La dynamique spatio-temporelle du rivage dans cette zone côtière peut être liée à des facteurs naturels tels que : (la géomorphologie des plages, les houles, les courants et les tempêtes ou des facteurs humains tels que (l'urbanisation, les installations touristiques, les activités économiques sur la côte et l'extraction du sable). La baie de Cap Djinet par sa morphologie, son orientation et sa largeur du plateau continental s'ouvre sur le Nord-Ouest. Les études portant sur la réfraction de la houle montrent que la zone d'étude est plus exposée aux houles Nord-Est que les houles nord et Nord-Ouest (Bouhmadouche and Hemdane 2016). Dans la partie orientale et dans les conditions naturelles normales, les vagues de NW transportent les sédiments de l'Oued Isser et elles se déposent sur la plage est de Mendoura. Dans le cas des vagues NE, les sédiments sont transportés et déposés sur la plage de la carrière et auprès de la jetée principale du port de Cap Djinet.

Ces conditions ont été provoquées après la construction du nouveau port du Cap Djinet et l'installation de la centrale électrique (Figure 60). L'aménagement de l'extension du port de Cap Djinet a engendré une perturbation du fonctionnement hydro-sédimentaire de cette zone du fait qu'ils aient fait obstacle aux mouvements sédimentaires longitudinaux. Ce qui explique une accrétion au niveau de la plage de Carrière et la plage de Djinet familiale (Figure 59) et une érosion dans la plage de Djinet familiale 2.



**Figure 55.** Centrale électrique du Cap Djinet.

**Conclusion partielle :**

Les résultats de l'analyse de variation du trait de côte nous a apporté que les phénomènes d'accumulation et d'érosion dans le Cap Djinet dépendant aussi de la dynamique morpho-hydro sédimentaire dans les petits fonds marin.

Les zones qui ont subi à un recul sont en effet, ceux qui relèvent également à un abaissement dans les fonds marins et contrairement les zones en accrétion sont en effet, ceux qui relèvent également à un exhaussement dans les petits fonds. A cet effet, les zones en accrétion sont particulièrement localisées près de port du Cap Djinet, notamment dans la plage de Carrière et la plage de Djinet familiale. Et les zones en érosions sont ceux loin du port et c'est le cas de la plage ouest.

La jetée principale de ce port est devenue un obstacle au transit sédimentaire, Ceci permet d'expliquer l'accumulation des sédiments dans cette partie. Toutes ces approches permettent d'obtenir des résultats cohérents, qui illustrent clairement les corrélations entre l'évolution du littoral à différentes échelles et l'évolution du fond marin et des actions anthropiques sur la zone.



# **Chapitre V : Impact des ouvrages sur la zone d'étude**

**Introduction**

Le problème d'envasement et/ou d'ensablement du port de Cap Djinet est un phénomène naturel, évolué dans le temps et dans l'espace. Le but de ce chapitre est de souligner Cette évolution, après avoir élucidé ses causes.

Les zones côtières présentent toujours un grand intérêt dans le monde entier. Aujourd'hui, les écosystèmes littoraux sont exposés à une pression continue due aux facteurs anthropiques et naturels. Plusieurs indices témoignent de la pression exercée sur ces écosystèmes ; nous citons : l'implantation des aménagements portuaire et les ouvrages de protection qui modifient toute la morphologie du littoral.

À cet effet, les zones côtières fortement urbanisées sont très vulnérables à plusieurs aléas tels que: la modification de morphologie, l'ensablement, l'érosion côtière, et la déviation du transit sédimentaire etc...

La vulnérabilité des zones côtières, la diversité des intérêts qui s'y expriment et Les problèmes qui en résultent rendent difficile toute intégration harmonieuse des projets côtiers dans leur environnement.

Les gestionnaires d'infrastructures portuaires doivent maintenir les niveaux de service portuaires S'efforcer de répondre aux exigences de ses utilisateurs. Par conséquent, ils sont guidés pour définir planifier et effectuer des travaux d'entretien, de réparation ou d'amélioration, c'est peut être un travail parfois très lourd (dragage, rechargement manuel, etc.) et a souvent un impact direct et considérable sur la zone environnante.

### V.1 Définition des ouvrages de protection

Le Cap Djinet est fortement artificialisé, et subit une modification morphologique après l'implantation de l'infrastructure portuaire et les ouvrages de protection...

Il est de tradition de confier à des ingénieurs la protection des littoraux contre l'attaque de la mer. Cette agression est vue par eux comme un défi de la nature qu'il convient de relever en fortifiant les rivages. Aux états unis, c'est un corps d'ingénieurs de l'armée qui est chargé de la défense des côtes et, dans un texte publié en 1964 par cet organisme, il est significatif de lire que « la campagne contre la mer doit être menée avec autant de détermination que celle qui pourrait être conduite contre tout autre ennemi menaçant une frontière ». Les ingénieurs dimensionnent et positionnent des ouvrages qui réussissent souvent à mettre à l'abri des aménagements menacés par les vagues, mais en général ils se préoccupent peu des effets induits qui risquent de perturber irrémédiablement les équilibres dynamiques précaires des milieux côtiers et donc de dégrader l'environnement de façon irréversible. (Paskoff, 1992).

La côte de Cap Djinet (au sud du port) a connu dans les années 90 une érosion remarquable de la plage menaçant par endroits l'intégrité de la route nationale RN 24. Une étude de protection du site a été élaborée en 1992.

La solution de protection du rivage recommandait la mise en place de deux épis et un brise-lames, mais la côte a eu de nombreux problèmes d'érosion localisés surtout du côté Sud-Ouest du site. Des travaux de protection ont été entrepris localement par la mise en place de murs de soutènement en gabions et en béton.

Ces techniques de protection regroupent :

- Les ouvrages longitudinaux, qui visent à fixer le trait de côte, constitués le plus souvent de pierres maçonnées et d'encrochements
- Les ouvrages transversaux, qui favorisent la retenue des sédiments, tels que les épis, les structures en géotextiles, ou les brise-lames

Tant dis que les ouvrages de protection du littoral sont parfois considérés comme un facteur aggravant le déséquilibre des systèmes côtiers. Les impacts les plus largement reconnus en zone intertidale sont la modification des conditions hydrodynamiques et du transport sédimentaire. Par exemple, le phénomène d'affouillement peut éventuellement déstabiliser l'assise des structures ou causer leur affaissement graduel, en engendrant des coûts substantiels d'entretien. Certains environnements sont donc jugés inadéquats pour la mise en place de structures rigides, alors que d'autres sont jugés acceptables.

La connaissance des milieux porteurs et l'évolution des environnements anthropisés revêt donc une importance bien tangible.

### V.1.1 Les ouvrages longitudinaux

Les digues, murs de défenses, enrochements ou perrés sont des ouvrages de protection disposés sur la plage parallèlement au trait de côte. L'objectif principal de ces ouvrages est d'empêcher que la mer ne gagne des terrains en amont, soit par érosion progressive, soit par submersions marines lors de tempêtes. Il s'agit ainsi de fixer la position du rivage afin d'empêcher tout recul.

Les ouvrages longitudinaux représentent l'une des techniques de protection les plus répandues sur le littoral : d'une efficacité immédiate, ces ouvrages garantissent en effet à court terme, la protection des enjeux situés derrière eux.

L'ouvrage est la plupart du temps disposé à proximité immédiate de l'enjeu à protéger, c'est-à-dire en haut de plage. Il est donc positionné entre la limite du trait de côte et la limite du terrain ou du bien que l'on souhaite protéger. Il arrive parfois que ces deux limites se confondent lorsque le recul a déjà été très important et qu'il ne reste pas une grande marge de manœuvre pour protéger une propriété. Les ouvrages longitudinaux de protection des côtes sableuses.

Les enrochements, murs et digues verticales sont conçus pour empêcher l'effet d'arrachement des vagues sur l'estran sableux, le pied de dune ou le pied de falaise. Ils fonctionnent en fait par absorption et réflexion de l'énergie des vagues qui, au lieu de se dissiper sur le littoral en érosion, va se heurter à l'ouvrage.

Selon le type d'ouvrage utilisé, l'action produite sur les vagues sera différente :

- Les enrochements ou « perrés » sont composés de blocs de pierres ou de béton non liés entre eux. Ils absorbent ainsi une partie de l'énergie de la houle qui s'engouffre dans les vides de la structure. La partie de l'énergie non absorbée est réfléchiée en amont de l'ouvrage.
  - ✓ La taille, la nature et la disposition des blocs doit être réfléchiée pour convenir à l'intensité et à l'exposition aux vagues.
  - ✓ Les enrochements sont souvent plus adaptés à une exposition modérée
- Les murs, ou digues verticales sont maçonnés et constituent une barrière dense et intégrale face aux vagues. Souvent érigés sur les fronts côtiers très exposés ou urbanisés, ils réfléchissent la totalité de l'énergie des vagues.

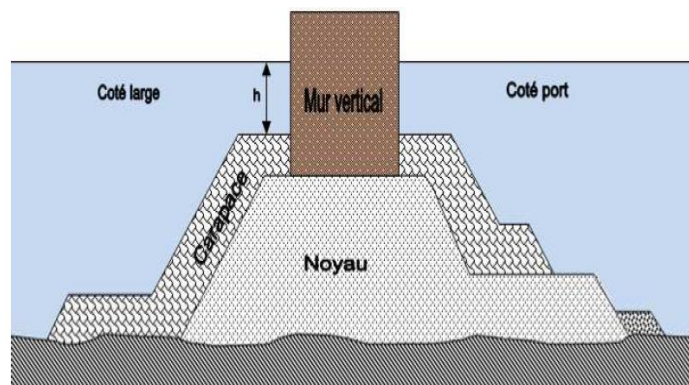


Figure 56. Schéma d'une digue verticale

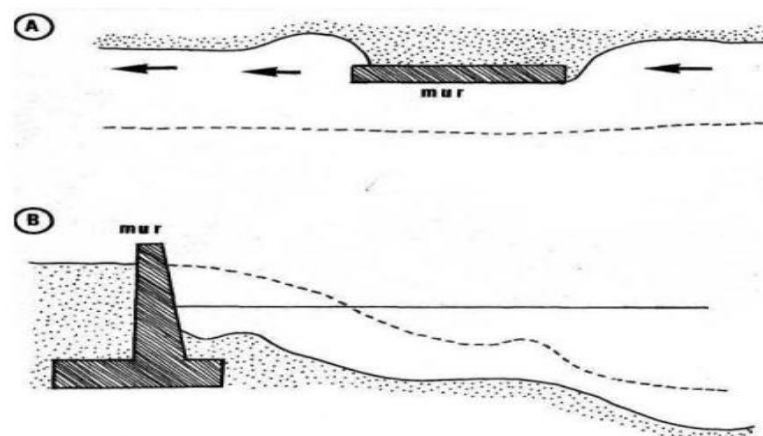


Figure 57. Effet d'un mur de protection sur une plage (Paskoff, 1992)

A- Le trait de côte interrompu marque la position du trait de côte à l'origine. La Flèche Indique la direction de la dérive côtière majeure. Nous voyons que le mur ne s'arrête pas  
Retraite de la plage. En aggravant l'érosion au-delà de ce mur dans le sens de l'écoulement  
Dérive, elle appelle à en construire une autre.

B- Le trait de côte intermittent reflète le profil latéral de la plage

Construction du mur. Cela n'a pas arrêté l'abaissement du niveau de *plage*. Il a même Aide à accélérer les choses.

Plus il se produit de l'affouillement, plus la plage s'abaisse. La quantité d'eau susceptible de rencontrer le mur devient alors plus importante.

### VI.1.2 Les ouvrages transversaux

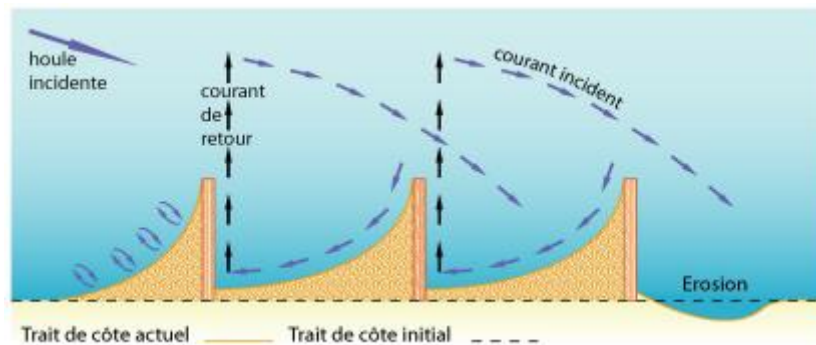
Les ouvrages perpendiculaires au rivage, généralement appelés les ouvrages transversaux, ont pour fonction de réduire, voire d'interrompre, le transit hydrosédimentaire.

#### a. Les épis

Les épis sont des dispositifs placés sur l'estran, de manière transversale par rapport au trait de côte. Ils jouent le rôle de barrière plus ou moins perméable, capable de piéger une partie des sédiments en transit. Ces sédiments forment alors généralement une accumulation en amont de l'ouvrage (dans le sens du transit sédimentaire) et une érosion en aval. L'accumulation peut permettre de lutter contre l'abaissement topographique de la plage ou d'augmenter l'espace récréatif.

Les épis peuvent être soit isolés ou soit implantés « en batterie ».

Il existe une grande diversité de géométries (droite, courbe, en "L", "T", "Y"... ) et de matériaux (enrochements, maçonnerie, bois, matériaux géosynthétiques, etc.).



**Figure 58.** Principe de fonctionnement d'une batterie d'épis

Mais ils présentent également des inconvénients :

- ☒ Inefficacité si l'érosion est dominée par le transport dans le profil
- ☒ Protection uniquement locale
- ☒ Ouvrages peu attractifs
- ☒ Coûts importants lors de construction en eau relativement profonde.

En résumé, les épis produisent une accrétion du côté amont du transport solide résultant et une érosion du côté aval du transport solide résultant, c'est le cas de l'épi implanté au niveau de la plage Djinet familiale.

La mise en place d'épis modifie donc la ligne de rivage qui tend à se présenter, entre deux épis, perpendiculairement aux crêtes des houles dominantes.

### **b. Brise-lames**

Les brise-lames sont des dispositifs orientés parallèlement au trait de côte (ouvrages longitudinaux), mais non rattachés à celui-ci, conçus pour diminuer l'énergie de la houle incidente en créant un déferlement en amont du trait de côte.

Cette perte d'énergie en arrière de l'ouvrage permet aux sédiments en transit de s'accumuler, créant parfois un tombolo artificiel. Le tombolo permet d'accroître l'espace récréatif d'une plage et de protéger le trait de côte, cependant un brise-lames peut aussi servir uniquement de stabilisation du trait de côte sans engraissement, selon les règles de dimensionnement choisies. Les matériaux de construction sont variables, allant d'une structure « à talus » (présence d'un cœur d'ouvrage) avec carapace en enrochements jusqu'aux caissons bétonnés posés directement sur le fond.

On retrouve majoritairement les brise-lames dans les mers à faible marnage, bien que des essais soient réalisés concernant le dimensionnement de ces ouvrages dans les zones à fort marnage. Il existe également des brise-lames immergés, permettant de faire déferler la houle de manière à diminuer son énergie et donc de limiter l'érosion sur le trait de côte.

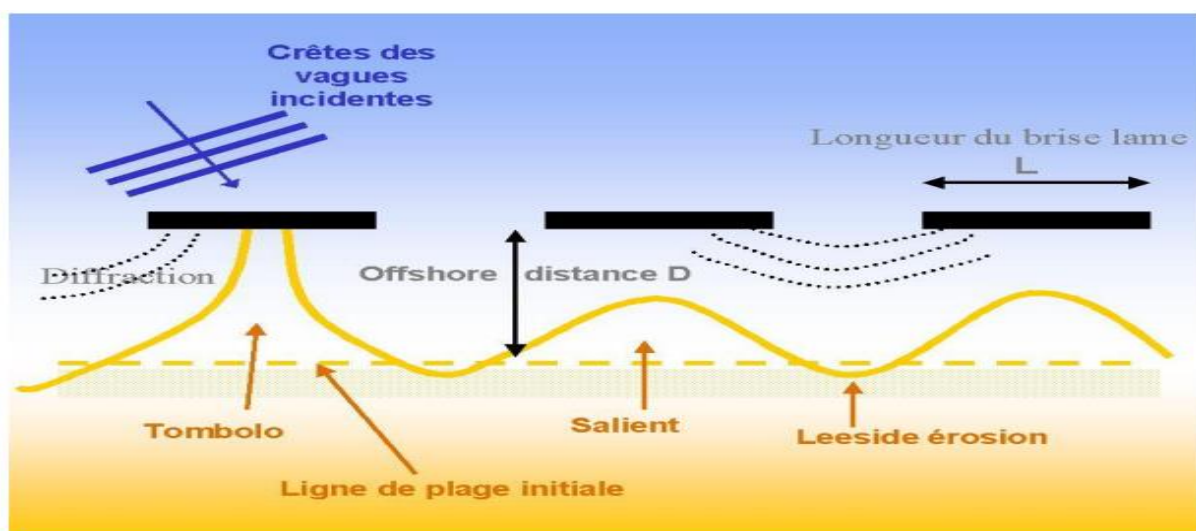


Figure 59. Impacts des brise-lames sur la ligne du rivage

En freinant la dérive littorale, les brises lames induisent des dépôts sédimentaires à l'origine de véritables tombolos. Ils provoquent donc un déficit sédimentaire immédiatement en aval, dans le sens de la dérive littorale. Il devient alors nécessaire de construire d'autres brise-lames et, un ouvrage en appelant un autre, le rivage s'en trouve totalement artificialisé.

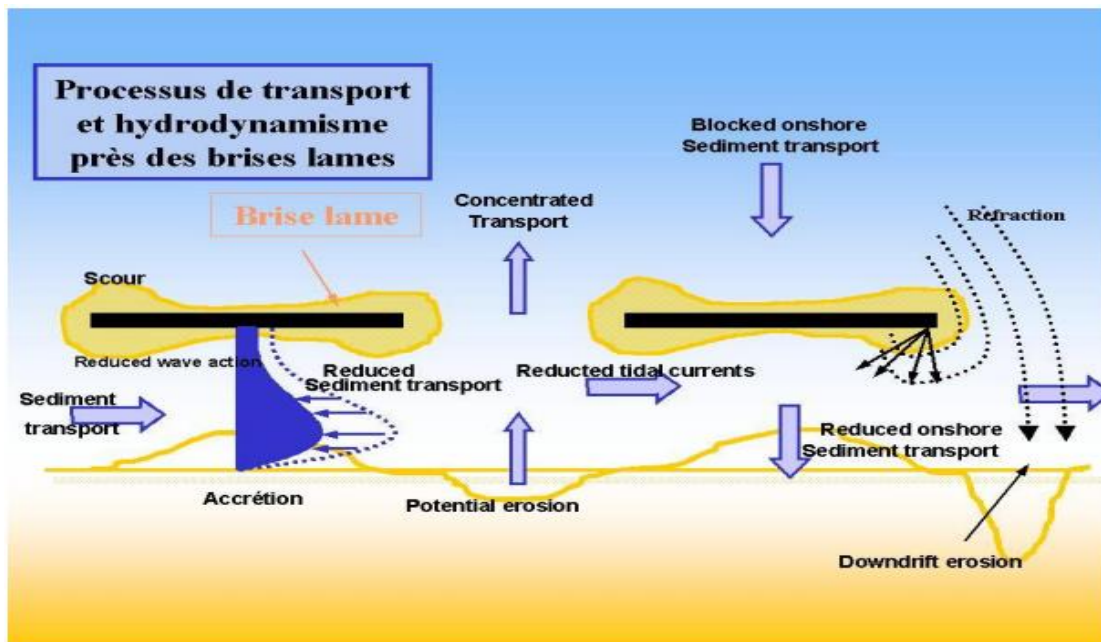


Figure 60. Impact des brise-lames sur les processus hydrodynamiques

Sachant que Les brise-lames permettent d'atténuer l'énergie de la houle et de réduire le transport sédimentaire. Ils protègent les côtes sableuses par accumulation de sédiments. Ils présentent en revanche certains inconvénients :

- ☒ Augmentation de l'érosion en aval
- ☒ Dérive en cas de transport littoral significatif
- ☒ Protection uniquement locale
- ☒ Ouvrages pouvant être endommagés et donc nécessitant un entretien important
- ☒ Coûts importants lors de construction en eau relativement profonde.

Dans le segment est, par contre, la plage Carrière est protégée par l'épi du nord et cela favorise une accrétion. Les résultats de ce chapitre confirment l'influence des ouvrages sur la morphologie des plages.

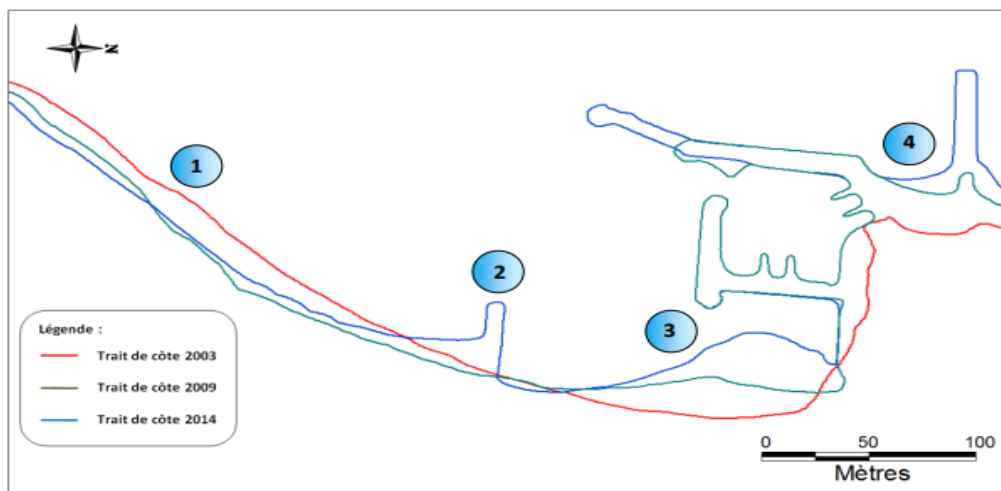
## V.2 Erosion côtière :

L'érosion côtière se définit comme la perte graduelle de matériaux qui entraîne le recul de la côte et l'abaissement des plages. Il s'agit d'un phénomène naturel qui a contribué tout au long de l'histoire géologique à façonner le littoral.

Les principaux facteurs en jeu dans le processus d'érosion sont les vagues, les courants marins, les glaces, les précipitations et le vent. C'est un processus lent et graduel qui, en plus des pertes de terrains publics ou privés, peut causer des dommages aux équipements, aux infrastructures ainsi qu'aux ouvrages de protection des côtes.

### Variation de la ligne de rivage dans la zone de Cap Djinet

Après l'installation du port du Cap Djinet en 2009, commence une période très sensible qu'est marquée par une progression de l'accrétion par rapport à la période de 1980 à 2003.



**Figure 61.** Évolution de la ligne du rivage dans la région de Cap Djinet durant les années 2003/2009/2014, (Otmami 2014).

**Analyse et commentaire :**

La carte montre 4 secteurs avec une dynamique variable à savoir :

**Le secteur (1) :** montre une érosion continue dans le temps et dans l'espace. Elle est due principalement à des facteurs hydrodynamiques marins (courant de retour, les houles de NE, les tempêtes), mais principalement à la perturbation du transit sédimentaire par les ouvrages de protection (épis Nord, et sud) ainsi que l'aménagement portuaire.

**Le secteur (2) :** montre une dynamique variable entre régression et transgression de la ligne de rivage, assez rapide, due à l'implantation de l'épi sud.

**Le secteur (3, 4) :** montrent une transgression due à la formation d'un tombolo dans le secteur 3 et à l'engraissement de la plage en poche dans le secteur 4 du a l'implantation de l'épi Nord.

La jetée principale du port bloque une grande partie des sédiments de dérive littorale, ce qui explique une forte érosion dans la plage Ouest et un stock sédimentaire très important au l'amont-transit de l'obstacle.

Ces évolutions positives remarquables peuvent être dues au flux sédimentaire engendré par les courants de dérive littorale Est-Ouest, ces sédiments sont piégés entre les ouvrages de protection de Djinet et le port du Cap Djinet.

**Résultats :**

L'aménagement de l'extension du port de Cap Djinet a engendré une perturbation du fonctionnement hydrosédimentaire de cette zone du fait qu'ils aient fait obstacle aux mouvements sédimentaires longitudinaux. Ce qui explique une accrétion au niveau de la plage de Carrière et la plage de Djinet familiale et une érosion remarquable au sien de la plage Ouest.

### V.3 Evolution bathymétriques du port :

Les résultats de l'analyse de variation du trait de côte nous a apporté que les phénomènes d'accumulation et d'érosion dans le Cap Djinet dépendant aussi de la dynamique morpho-hydrosédimentaire dans les petits fonds marin.

Les zones qui ont subi à un recul sont en effet, ceux qui relèvent également à un abaissement dans les fonds marins et contrairement les zones en accrétion sont en effet, ceux qui relèvent également à un exhaussement dans les petits fonds. A cet effet, les zones en accrétion sont particulièrement localisées près du port, notamment dans la plage de Carrière et la plage de Djinet familiale (Figure62).

La jetée principale de ce port est devenue un obstacle au transit sédimentaire, Ceci permet d'expliquer l'accumulation des sédiments dans cette partie (Figure63).

**Figure 62.** L'aménagement du port

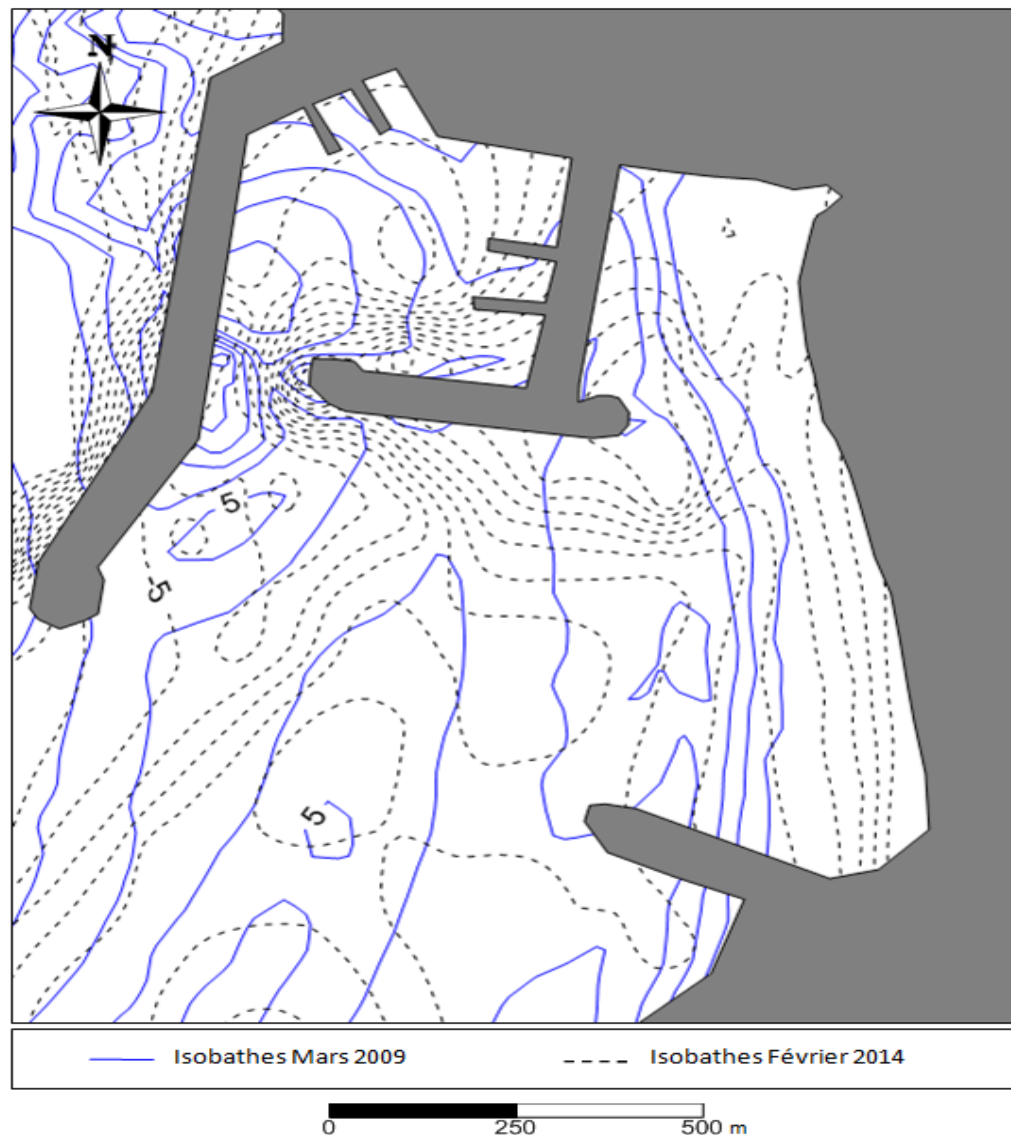
(Google Earth 2009)



**Figure 63.** Après l'aménagement

(Google Earth 2021)





**Figure 64.** Superposition des levés bathymétriques 2009/2014 dans la zone de Cap Djinet ,2014  
(Otmani, 2014)

#### Analyse et commentaire :

La superposition des deux levés bathymétriques mars 2009 et février 2014 apporte un confortement au constat du changement qu'a subit le fond (bien que le second levé n'a pas permis vraiment d'apprécier l'évolution et la dynamique des barres hydrauliques). Toute fois ; il permet de mieux décrire la morphologie sous-marine et son cour d'évolution durant ces cinq années.

La figure montre des isobathes généralement perturbées et une morphologie particulière caractérisée par la présence d'une ride d'avant côte discontinue, bien développée à l'approche de la côte. Des isobathes très serrés autour des jetés et près de la plage familiale qui traduisant une pente plus douce près de cote.

Ce type de morphologie témoigne d'une mobilité de ces fonds sous l'action des houles. Par conséquent, cette zone est caractérisée par une topographie complexe et la nature du fond marin dépend essentiellement des fluctuations hydrométéorologiques.

La passe d'entrée du port subit un ensablement très remarquable expliqué par les isobathes serrés

### **Conclusion partielle :**

La protection du littoral contre les aléas côtiers peut mener à mettre en œuvre des méthodes de protection qui ne sont pas à proprement parler des « ouvrages ». Ces méthodes de protection, rarement recensées par le passé, aident cependant à réduire l'impact des aléas côtiers en augmentant la capacité de résilience du littoral et sont donc prises en compte dans ce recensement.

Cependant, l'implantation d'un ouvrage sur le littoral ou une modification de la côte perturbe les conditions de déplacement ou l'équilibre naturel des matériaux. Les fonds et le rivage évoluent de façon à atteindre un état d'équilibre correspondant à la nouvelle situation. Il est donc nécessaire de prévoir l'effet d'un ouvrage nouveau sur le régime d'une côte. (Maquet, 1978).

Les travaux de rigidification effectués au cours des dernières années au niveau du Cap Djinet en vue de freiner l'érosion et protéger les infrastructures côtières ont influencé le déplacement du trait de côte.

Dans le segment ouest de l'épi implanté dans la plage familiale, les sections de côte se sont stabilisées d'un côté mais perturbé de l'autre, alors qu'au niveau de la plage Djinet familiale le sédiment est fortement piégé par contre on remarque une perte sédimentaire de manière substantielle dans la plage Ouest sans toutefois montrer une accélération.

Dans le segment est, par contre, la plage Carrière est protégée par l'épi du nord et cela favorise une accrétion. Les résultats de ce chapitre confirment l'influence des ouvrages sur la morphologie des plages.

# Conclusion générale

- Le Cap Djinet exemple type où l'on voit une importante frange sablonneuse ourlée le pied d'un massif (Djinet), formant un saillant du littoral. L'implantation d'un port dans cette zone où les transports sédimentaires sont très intenses, a laissé l'optimisation de l'orientation de la passe d'entrée du port sans efficacité face à la pénétration des sédiments. Ce processus engendre en même temps une érosion très rapide à l'aval.
- Les vents dominants proviennent des secteurs Nord-Est en été, Ouest en hiver. Pendant l'automne et le printemps les vents dominants sont issus des deux secteurs Nord-est et Ouest. Les vents dominants sont caractérisés par des vitesses oscillant généralement entre 2 et 12m/s. Les fortes tempêtes proviennent fréquemment de l'ouest.
- Le climat de la région est un climat type méditerranéen, pluvieux en hiver, sec en été. Le mois le plus pluvieux est celui de Novembre avec un bilan moyen mensuel de 98 mm, par contre le mois le moins pluvieux est celui de Juillet avec un bilan global de 2.5 mm. La moyenne mensuelle maximale atteint 100 mm, l'autre est la saison sèche qui commence en juin jusqu'au mois d'aout avec un minimum de 2 mm. Cette région appartient au climat Méditerranéen subhumide.
- Les houles les plus fréquentes proviennent des deux secteurs Ouest et Nord Est avec des hauteurs comprises entre 1.25 et 4.5m. Les fortes agitations proviennent fréquemment de l'ouest avec des hauteurs significatives de houles pouvant atteindre un maximum de 4.5m en hiver. Les classes de périodes de pointes ( $T_p$ ) dominantes (10 s) à 60% du temps.
- Le long de la côte de la zone d'étude Cap Djinet est constituée essentiellement de plages sableuses alimentées essentiellement d'Oued Isser et le Sébaou.
- L'étude bathymétrique a révélé une morphologie particulière caractérisée par des profils ayant des barres sous-marines disposées parallèlement à la côte dans les hauts fonds, susceptibles d'influencer l'évolution hydrodynamique ainsi que les menaces d'ensablement sur le port.

- La modélisation numérique avait pour objectif de déterminer le comportement hydrodynamique et hydrosédimentaire dans la baie de la zone d'étude en utilisant les périodes de retour pic annuelles, traités par traitement statistique comme données entrantes à l'aide du logiciel DHI MIKE21 :
  - La direction la plus dominante pour le transport sédimentaire longitudinal dans la plage Djinet est de secteur Nord-Est, tandis que la direction Nord montre des valeurs de transport sédimentaire longitudinal élevées pour la plage Carrère.
  - La propagation des houles vers la cote montre que les hauteurs significatives arrivant dans la plage Carrière, sont plus élevées par rapport à celles de la plage Djinet et la plage Ouest.
  - Cette modélisation a été faite en utilisant des périodes de retour extrême, les résultats ont montré que ces événements ont une influence très importante qui amplifie les hauteurs significatives, la vitesse du courant de dérive et le transport sédimentaire longitudinal associé. L'importance du transport sédimentaire longitudinal est la compréhension longue de l'état de la plage et la prévention des tendances d'érosion et d'accrétion à court terme.
- L'évolution temporelle du trait de côte nous a permis de détecter les zones qui ont subi à un recul sont en effet, ceux qui relèvent également à un abaissement dans les fonds marins et contrairement les zones en accrétion sont en effet, ceux qui relèvent également à un exhaussement dans les petits fonds. A cet effet, les zones en accrétion sont particulièrement localisées près de port du Cap Djinet, notamment dans la plage de Carrière et la plage de Djinet familiale. Et les zones en érosions sont ceux loin du port et c'est le cas de la plage ouest.
- Ce qui nous pousse à conclure de cette étude, on dit que la construction du port du Cap Djinet a un impact sur le transport sédimentaire longitudinal et toute la morphologie littorale et cela a été corroboré grâce à des modèles numériques, formules empiriques, différents calculs et observations



# **Références bibliographique**

- Belkessa, R. 1991.** Évolution géomorphologique et sédimentologique du bas Isser et de son embouchure. *Thèse de Magister*, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ISMAL), Alger, 162 p.
- Bertier, J. 2009.** Analyse multi-échelles de la morphodynamique d'une plage artificielle, avant-port Ouest de Dunkerque (Nord de la France). *Thèse de Doctorat*, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, 303 p.
- Benallou I., 2020.** Etude d'impact des CC et les activités anthropiques sur le littoral de la baie de Zemmouri vulnérabilité et adaptation, *Mémoire de Master*, ENSSMAL, Alger
- Bouhamadouche M (1993)** Sédimentologie du plateau continental Est-Algerois (Boumerdès–Boudouaou El Bahri) *Mémoire de magistère USTHB*, Alger, 142p 32.
- Bouhamadouche M (2012)** Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la grande baie de Zemouri (Cap-Matifou Cap-Djinet 33.
- Bouhamadouche M (2012)** Contribution à l'étude géologique et sédimentologique de la grande baie de Zemouri (Cap-Matifou Cap-Djinet. *Thèse de Doctorat d'Etat en géologie marine*, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (USTHB).
- Bouhamadouche M, Hemdane Y (2016)** Erosion of a sandy coast : continuous follow-up of the coastal groynes of protection in Boumerdes (Algeria) *Environmental Earth Sciences* p 75.
- Boutiba, M. 1996.** Etude en vraie grandeur du mode de fonctionnement des ouvrages de protection de la plage Est de Sidi Fredj (Ouest d'Alger). *Thèse de magister*, ISMAL, Alger, p122-123.
- Boutiba, M. 2005.** Protection des sites sensibles naturels marins du secteur Cap Djinet au Mont Chenoua. Impacts des activités anthropiques. *Rapport de synthèse*, MATE.
- DHI (2014)** Mike 21 Spectral Wave Module Scientific Documentation. DHI.
- DHI M (2007)** Flow Model Danish Hydraulic Institute
- Hemdane Y (2006)** Dynamique hydrosédimentaire de l'avant-côte de type macrotidales : le cas du littoral du Nord-Pas-de-Calais, France. *Thèse de Doctorat en géomorphologie littoral*, Université du Littoral Côte d'Opale
- Khalfani D. 2014.** Etude hydrosédimentaire à l'avant cote de cap Djinet wilaya de Boumerdès, *Thèse de magiste*, ENSSMAL, Alger.

**LEM. 2009.** Etude d'aménagement d'un port de pêche et de plaisance à cap Djinet: Etude d'ensablement du port. *Laboratoire d'Etudes Maritimes*, Alger, 46

**NRH (2004).** Annuaire hydrogéologique de la nappe alluviale du haut et moyen Cheliff. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Algérie, 13 p

**MEDATLAS. 1999-2004:** European Directory of Marine Environmental Data. Zone Algérienne

**MIHOUBI, M. K., DAHMANI, H., KETTAB, A., & KHODJET KESBA, O. (2011).**

Modélisation numérique de la houle côtière et du transport sédimentaire pour l'étude d'un port de pêche : cas du port de Khemisti. 225–228. Alger. *[En ligne]*. [Consulté le 20/04/2022].

Disponible sur le web <https://doi.org/10.5150/cmcm.2011.048>

**MIKE 21 Flow Model Advection/Dispersion Module User Guide.** Infrastructures, environnement et transport par voie d'eau. *[En ligne]*. [Consulté le 024/04/2022]. Disponible sur le web [www.techniques-ingenieur.fr](http://www.techniques-ingenieur.fr)

**Otmani, H. 2014.** Impact des infrastructures maritimes sur le littoral : Cas du port de Cap Djinet, *Thèse de Magister*, Institut des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (ENSSMAL), Alger.

**Paskoff, R. 1992.** Côte en danger, Ed. Masson, Paris, 80 p.

**Paskoff, R. 1993.** Côtes en danger, Ed Masson, Paris, 250 p.

**Paskoff, R. 2001.** L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers, Ed Masson, Paris, 130p.

## Sites WEB

<https://sextant.ifremer.fr/geonetwork/srv/api/records/c87f6f24-63b4-46ec-b40e-f185a61dc672>

# Annexes

## Données météorologiques

Station : DELLYS AFIR

- Période : 2000- 2010

- Altitude : 8 m

- Latitude : 36°55 N

- Longitude : 03°57 E

**Précipitations** : Cumuls mensuels des précipitations (en mm).

|             | <b>Jan.</b> | <b>Fév.</b> | <b>Mar.</b> | <b>Avr.</b> | <b>mai</b> | <b>juin</b> | <b>Juil.</b> | <b>Aout</b> | <b>Sept.</b> | <b>Oct.</b> | <b>Nov.</b> | <b>Déc.</b> | <b>Annuel</b> |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| <b>2000</b> | 32.6        | 7.1         | 17.1        | 22.1        | 32.1       | 2.4         | 1            | 0.5         | 48           | 64.2        | 75.1        | 49.5        | 364.2         |
| <b>2001</b> | -999.9      | -999.9      | -999.9      | -999.9      | -999.9     | -999.9      | -999.9       | -999.9      | 36.2         | 69.2        | 223         | 75.4        | -999.9        |
| <b>2002</b> | 56.2        | 18.4        | 55.1        | 49.5        | 16.5       | 4.9         | 7.7          | 27.6        | 28.4         | 0           | 170.6       | 180         | 646.2         |
| <b>2003</b> | 228.7       | 90.4        | 43.2        | 108.3       | 14.2       | 0           | 3.3          | 4           | 55.1         | 29.8        | 55.9        | 105.2       | 756.3         |
| <b>2004</b> | 141.1       | 62.6        | 108.2       | 108.6       | 16.7       | 156         | 25.6         | 3           | 25.6         | 53.2        | 50.8        | 95.6        | 759.1         |
| <b>2005</b> | 100.3       | 117.9       | 59.3        | 54.6        | 45.6       | 0           | 1            | 0.3         | 75.1         | 15.4        | 127.8       | 121.7       | 164.5         |
| <b>2006</b> | 102.1       | 176.2       | 28.7        | 6.42        | 144.2      | 1.1         | 2            | 605         | 35.4         | 53.4        | 4.2         | 261.5       | 756.2         |
| <b>2007</b> | 26.3        | 35.4        | 164.3       | 106.3       | 66.2       | 9.1         | 2.5          | 10.3        | 41.2         | 5.09        | 418.4       | 113.2       | 761.2         |
| <b>2008</b> | 7.4         | 12.2        | 230.2       | 30.45       | 61.6       | 11.6        | 9.4          | 3           | 72.3         | 226.2       | 197         | 135.1       | 1236          |
| <b>2009</b> | 123.1       | 23.4        | 56.5        | 74.3        | 24.9       | 0           | 0            | 405         | 120          | 45.9        | 113         | 135.4       | 684.5         |
| <b>2010</b> | 77.1        | 51.4        | 87.5        | 64.2        | 21.5       | 19.6        | 1.3          | 13.9        | 67           | 92.3        | 121.2       | 83.1        | 752.6         |

**Précipitations** : Nombre de jours de pluies.

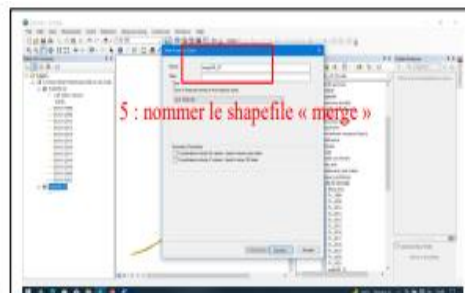
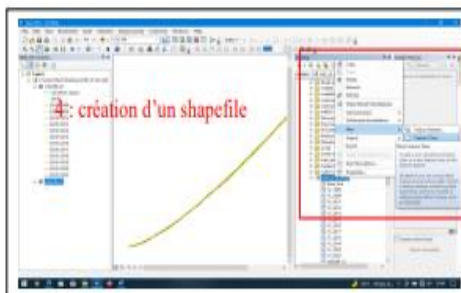
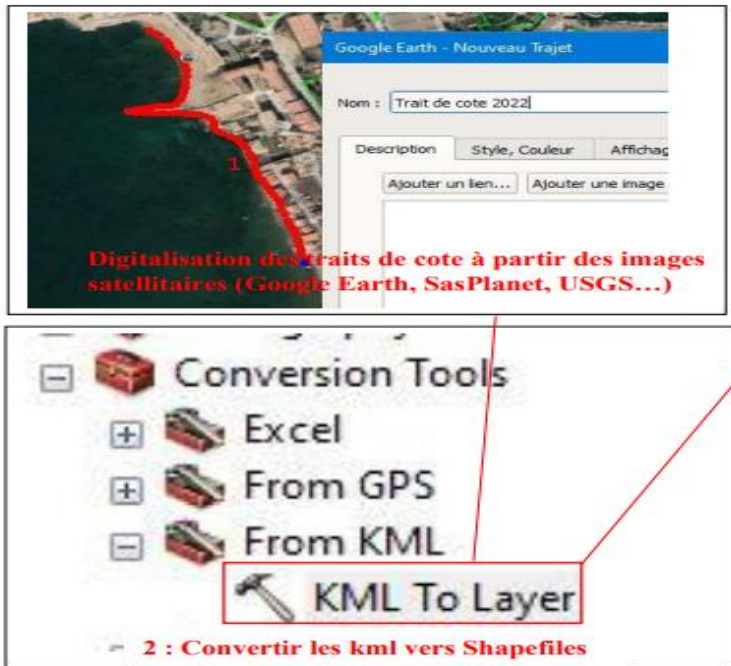
|             | Jan. | Fer. | mars | Arv. | mai | juin | Juil. | Aout | Sept. | Oct. | Nov. | Déc. | annuel |
|-------------|------|------|------|------|-----|------|-------|------|-------|------|------|------|--------|
| <b>2000</b> | 8    | 2    | 3    | 7    | 8   | 3    | 2     | 1    | 5     | 7    | 10   | 9    | 65     |
| <b>2001</b> | -99  | -99  | -99  | -99  | -99 | -99  | -99   | -99  | 9     | 0    | 12   | 10   | -99    |
| <b>2002</b> | 7    | 6    | 7    | 11   | 4   | 1    | 1     | 5    | 4     | 8    | 16   | 14   | 84     |
| <b>2003</b> | 24   | 20   | 7    | 11   | 6   | 0    | 2     | 1    | 6     | 13   | 13   | 17   | 120    |
| <b>2004</b> | 9    | 10   | 13   | 11   | 10  | 2    | 1     | 3    | 6     | 7    | 11   | 19   | 102    |
| <b>2005</b> | 12   | 19   | 8    | 6    | 5   | 0    | 2     | 1    | 8     | 10   | 14   | 15   | 100    |
| <b>2006</b> | 18   | 13   | 6    | 5    | 7   | 3    | 1     | 3    | 7     | 5    | 4    | 19   | 91     |
| <b>2007</b> | 8    | 12   | 14   | 16   | 7   | 2    | 2     | 7    | 9     | 14   | 16   | 16   | 123    |
| <b>2008</b> | 7    | 5    | 11   | 6    | 10  | 5    | 6     | 2    | 12    | 9    | 9    | 16   | 112    |
| <b>2009</b> | 20   | 13   | 10   | 15   | 5   | 0    | 0     | 5    | 12    | 9    | 9    | 11   | 109    |
| <b>2010</b> | 19   | 15   | 13   | 10   | 11  | 5    | 2     | 4    | 7     | 14   | 24   | 13   | 137    |

**Températures** : Moyenne mensuelle des températures moyennes (en °C).

|             | Jan.  | Fer.  | mars  | Arv.  | mai   | juin  | Juil. | Aout  | Sept. | Oct  | Nov. | Déc  | annuel |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|--------|
| <b>2000</b> | 11.2  | 13.3  | 14.1  | 16.5  | 19.2  | 21.4  | 25.1  | 23.6  | 19.5  | 19.6 | 19.6 | 15.2 | 18.5   |
| <b>2001</b> | -99.9 | -99.9 | -99.9 | -99.9 | -99.9 | -99.9 | -99.9 | -99.9 | 22.4  | 23.1 | 13.5 | 15.6 | 18.3   |
| <b>2001</b> | 12.6  | 13.6  | 14.5  | 15.6  | 18.5  | 23.6  | 26.4  | 25.3  | 24.3  | 19.5 | 17.8 | 13.3 | 18.3   |
| <b>2003</b> | 12.4  | 13.7  | 14.6  | 15.4  | 19.1  | 26.4  | 25.1  | 26.4  | 23.5  | 21.5 | 17.9 | 13.7 | 18.8   |
| <b>2004</b> | 13.5  | 11.0  | 13.9  | 17.5  | 18.2  | 24.5  | 26.8  | 25.1  | 23.1  | 23.4 | 19.5 | 12.5 | 18.2   |
| <b>2005</b> | 10.1  | 10.5  | 13.4  | 16.2  | 16.3  | 26.1  | 24.5  | 25.9  | 22.5  | 20.1 | 12.6 | 14.6 | 17.8   |
| <b>2006</b> | 11.9  | 13.8  | 14.1  | 15.4  | 19.4  | 27.5  | 26.7  | 26.7  | 23.8  | 20.6 | 17.2 | 13.7 | 18.7   |
| <b>2007</b> | 13.9  | 14.5  | 10.6  | 16.9  | 18.6  | 25.6  | 27.5  | 25.4  | 23.4  | 21.5 | 18.2 | 12.2 | 18.4   |
| <b>2008</b> | 13.2  | 13.9  | 14.1  | 16.9  | 18.5  | 26.1  | 24.8  | 24.1  | 23.5  | 24   | 15.2 | 12.2 | 18.3   |
| <b>2009</b> | 12.4  | 11.9  | 12.6  | 15.4  | 19.4  | 22    | 26.1  | 25.5  | 22.7  | 20   | 17.6 | 15.4 | 18.5   |
| <b>2010</b> | 12.8  | 14.2  | 14.5  | 15.6  | 17.5  | 20.3  | 23.4  | 23.5  | 22.4  | 20   | 15.8 | 14.1 | 18     |

## Evolution temporelle du trait de côte :

### Etapes du DSAS



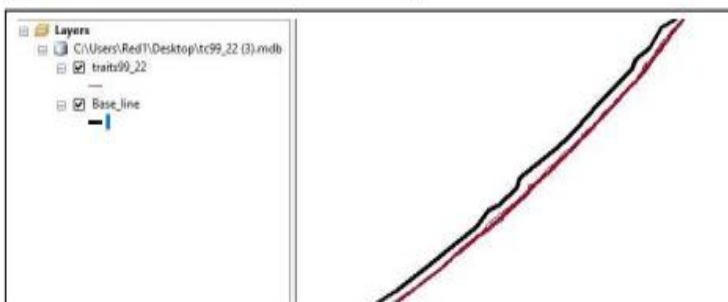
|             |           |
|-------------|-----------|
| OBJECTID    | Object ID |
| SHAPE       | Geometry  |
| DATE_       | Text      |
| UNCERTAINTY | Double    |

**7 : configurer le shapefile en remplissant les cases « DATE\_ et UNCERTAINTY »**



|          |               |
|----------|---------------|
| OBJECTID | Object ID     |
| SHAPE    | Geometry      |
| ID       | Long Integer  |
| Group_   | Long Integer  |
| Offshore | Short Integer |
| CastDir  | Short Integer |

**10: Configuration du Shapefile « ID, Group\_, Offshore et CastDir**



**11 :** dans la table attributaire de la ligne de base, attribuer « 1 » dans les cases créées précédemment pour représenter l'OFFshore avec le chiffre 1 pour une ligne de base dans la mer, le 0 est pour une ligne de base dans le haut de plage

| ID | Group | OFFshore | CastDir |
|----|-------|----------|---------|
| 1  | 1     | 1        | 1       |

**12 :** Configuration du DSAS

**13 :** choix des paramètres à calculer pour l'étude diachronique du trait de cote

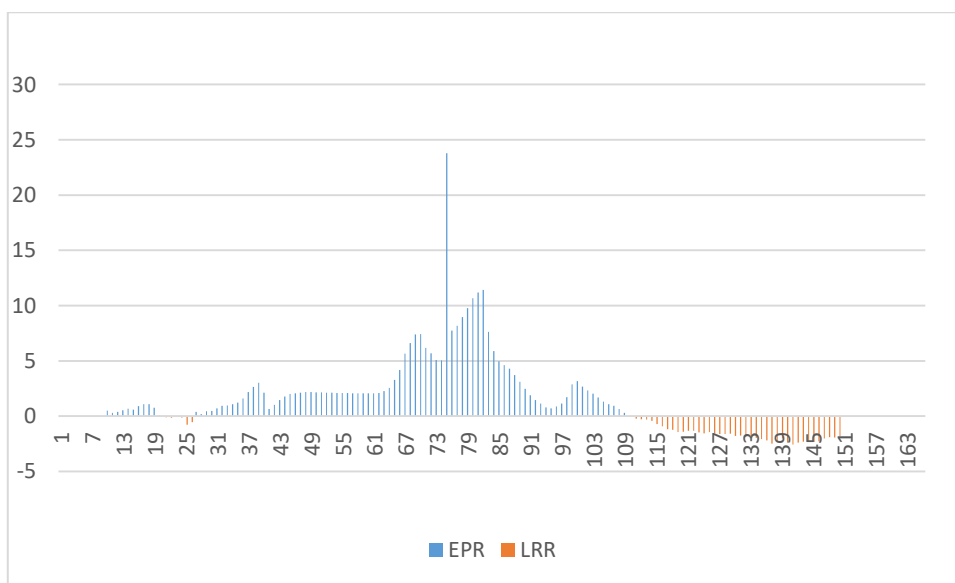
- [DSASCore | Distance Measurement] SCE: Shoreline Change Envelope
- [DSASCore | Distance Measurement] NSM: Net Shoreline Movement
- [DSASCore | Point Change] EPR: End Point Rate
- [DSASCore | Regression Statistics] LRR: Linear Regression Rate
- [DSASCore | Regression Statistics] WLR: Weighted Linear Regression
- [DSASCore | Advanced Statistics] LMS: Least Median of Squares

**14 :** choix du paramètre pour la création de cartes diachroniques

Paramètres obtenus dans la table attributaire lors du

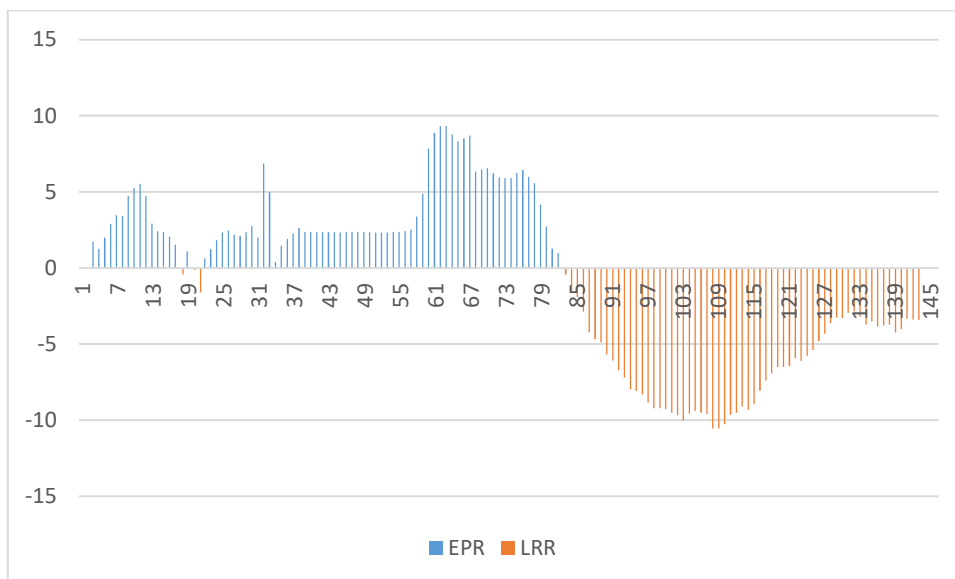
données de EPR, et LRR

Période 2002\_2022 :



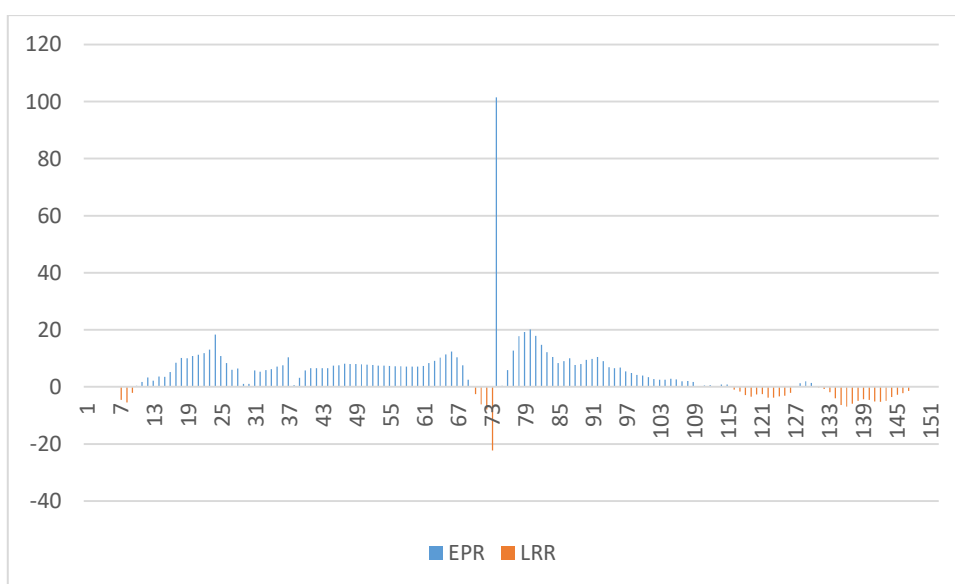
Variation de l'EPR du trait de côte selon les transects de 2002\_2022 au niveau du Cap Djinet

Période 2002\_2009 :



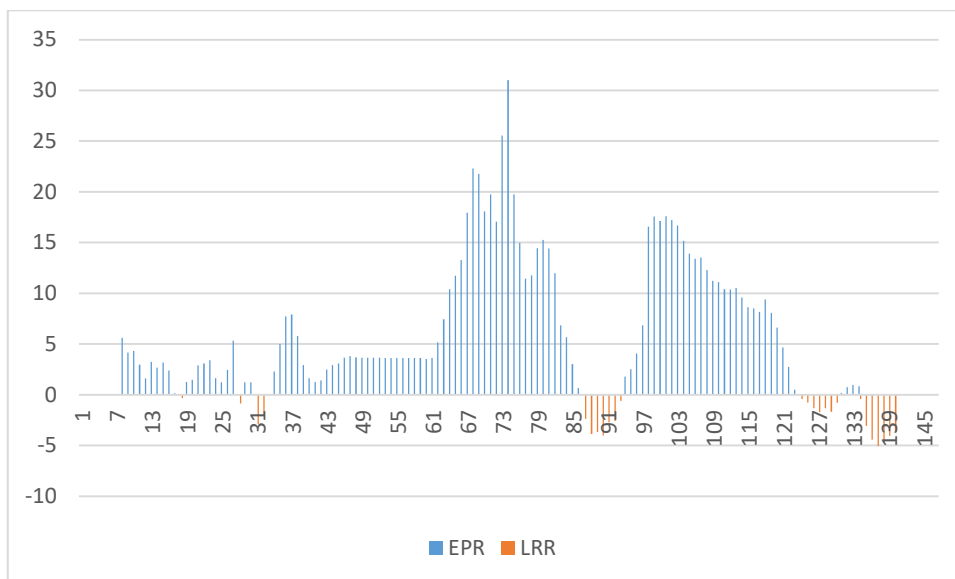
Variation de l'EPR du trait de côte selon les transects de 2002\_2009 au niveau du Cap Djinet

Période 2009\_2012 :



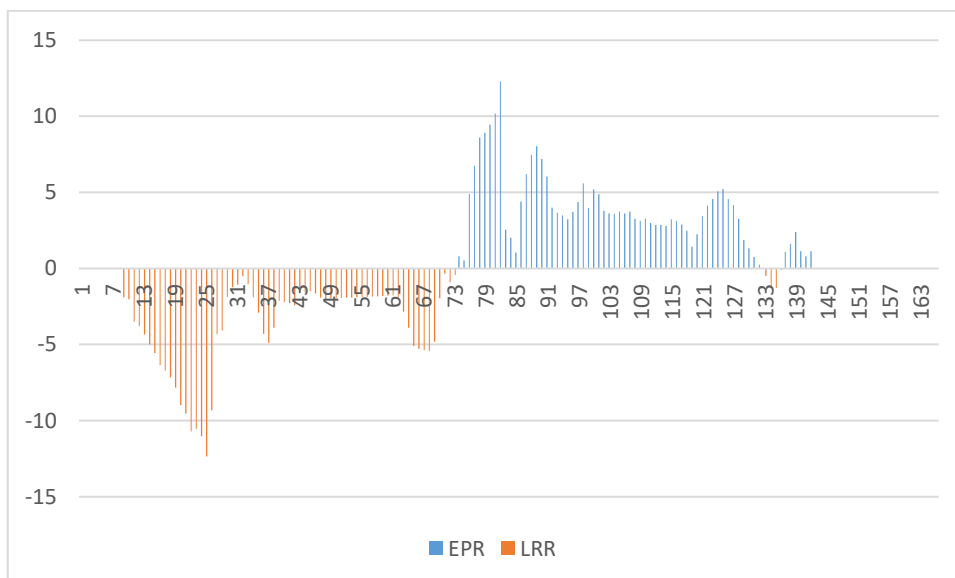
Variation de l'EPR du trait de côte selon les transects de 2009\_2012 au niveau du Cap Djinet

Période 2012\_2016 :



Variation de l'EPR du trait de côte selon les transects de 2012\_2016 au niveau du Cap Djinet

Période 2016\_2022 :



Variation de l'EPR du trait de côte selon les transects de 2016\_2022 au niveau du Cap Djinet

