

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère De L'enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل  
Ecole National Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral

**MEMOIRE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME  
D'INGENIEUR D'ETAT EN SCIENCES DE LA MER**

**OPTION : Aménagement du littoral**

**SUJET :**

**Modélisation physique de la dynamique hydro-sédimentaire  
de la plage Ouest de Boumerdes**

**Présenté par :**

**M. ADJAL Mohamed El-Hassanine**

**Présentée et soutenue le 28 Septembre 2014 devant le jury composé de :**

<b>- M. LARID. M</b>	<b>Maître de conférences A (ENSSMAL)</b>	<b>Président</b>
<b>- M. GUERFI. M</b>	<b>Maître de conférences A (ENSSMAL)</b>	<b>Examineur</b>
<b>- M<sup>me</sup> MEHDID. S</b>	<b>Maîtresse assistante (ENSSMAL)</b>	<b>Examinatrice</b>
<b>- M. MEZOUAR. K</b>	<b>Maître de conférences B (ENSSMAL)</b>	<b>Promoteur</b>

**PROMOTION 2013/2014**

## **Remerciements**

*Au terme de ce travail, Nous tenons à adresser nos sincères remerciements à Dieu Tout-Puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donnée fin de réaliser ce mémoire de fin d'études.*

*Je s'adresse mes sincères remerciements à mon promoteur Monsieur MEZOUAR Khoudir pour avoir dirigé ce travail et lui avoir accordé un intérêt tout au long de son élaboration.*

*Je tiens à remercier Monsieur le président LARID. M d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance.*

*Je remercie particulièrement Monsieur GUERFI. M et Madame MEHDID. S, qui ont accepté la tâche difficile d'être (les) examinateurs de ce mémoire et aussi pour toutes leurs questions, remarques et suggestions. Leurs remarques et critiques m'ont été particulièrement utiles lors de la refonte de ce texte.*

*Enfin, nous tenons vivement à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce présent mémoire.*

## *Dédicace*

*Je dédie ce travail :*

*À celui qui m'a tout inculqué et indiqué la bonne voie en me rappelant sans cesse que la patience, la volonté et le travail ont toujours fait les grands hommes.*

*À mon père*

*À celle qui m'a donné le goût du travail qui ne ménage aucun effort pour ma réussite et a su attendre avec patience les fruits de sa bonne éducation.*

*À ma mère*

*À ceux et celles qui, de leur amour, leur respect et leur dévouement me bercent le cœur.*

*À mes frères et sœurs*

*À ma famille et à tous mes amis.*

*Mohamed*

# Table des matières

<b>Introduction générale .....</b>	<b>9</b>
<b>Chapitre I : Généralités sur processus hydro-sédimentaires sur les plages sableuses</b>	
I.1. Généralités .....	12
I.2. Le Système littoral .....	12
I.3. L'évolution morphodynamique .....	14
I.4. Relation spatio-temporelles en morphodynamique côtière .....	14
I.5. Profil général d'une côte sableuse .....	15
I.6. Les données sédimentologiques .....	16
I.7. Zonation des sédiments sur les littoraux sableux .....	17
I.8. Processus hydro-sédimentaire .....	17
<b>Chapitre II : Présentation de la zone d'étude</b>	
II.1. Introduction .....	19
II.2. Données géographiques et géomorphologiques .....	19
II.2.1. Cadre géographique .....	19
II.2.2. Cadre géologique .....	20
II.2.3. La bathymétrie .....	20
II.3. Données climatologiques et hydrologiques .....	21
II.3.1. Données climatologiques .....	21
II.3.1.1. Les précipitations .....	21
II.3.1.2. Les températures .....	21
II.3.2. Données hydrologiques .....	22
II.4. Facteur hydrodynamique .....	22
II.4.1. Les vents .....	22
II.4.2. La houle .....	24
II.4.3. Les courants .....	25
II.5. Modélisation morphodynamique .....	26
II.5.1. Modèle spectral de vague SWAN .....	26
II.5.1.1. Discussion .....	28
II.5.1.2. Résultats .....	28
II.5.1.3. Interprétation des résultats.....	29
<b>Chapitre III : Transport sédimentaire et morphodynamique</b>	
III.1. Transport sédimentaire sur les plages sableuses .....	40
III.2. Mécanismes de transport solide .....	40
III.2.1. Les différents modes de transport .....	40
III.3. Transport sédimentaire sous l'action de la houle déferlante et les courants engendres .....	44

III.3.1. Transport sédimentaire sous l'action de la houle .....	44
III.3.2. Transport sédimentaire sous l'action des courants engendrés .....	44
III.4. Validation des formules de transport longitudinal .....	45
III.4.1. Quantification du débit solide du littoral de Boumerdes .....	45
III.4.1.1 Calcul du débit solide par la méthode de Kamphuis (1991) .....	45
III.4.1.2. Calcul de débit solide par la formule de Bijker (1971) .....	47
III.4.1.3. Calcul du débit solide par la méthode de CERC (1984) .....	49
III.4.1.4. Comparaison des résultats obtenus par les trois (03) formules .....	51

#### **Chapitre IV : Transport éolien dans le système dune-plage**

Introduction .....	53
IV.1. Formules théoriques et semi-empiriques du transport .....	53
IV.2. Facteurs physiques affectant les processus éoliens .....	55
IV.3. Validation et comparaison des formules de transport éolien .....	55
Conclusion .....	56

#### **Chapitre V : Répartition spatiale et dynamique des dépôts sédimentaires**

Introduction .....	58
V.1. Compagnes sédimentologiques : échantillonnage et méthodes d'analyses .....	58
V.1.1. Méthodes d'analyses sédimentologiques .....	58
V.1.2. Répartition des faciès sédimentaires .....	59
V.1.3. Analyse des courbes cumulatives .....	59
V.1.4. Calcul des paramètres granulométriques .....	60
V.1.5. Granulométrie .....	61
V.2. Cartographie de la couverture sédimentaire .....	61
V.2.1. Distribution spatiale des données .....	62
V.3. La méthode de calcul les tendances de transport sédimentaire .....	63
V.4. La méthode de McLaren /Gao et Collins .....	63
V.4.1. Principe du modèle .....	64
V.4.2. Principe et limites du calcul des tendances de transport sédimentaire .....	65
V.4.2. Interprétation des résultats .....	66

<b>Conclusion générale .....</b>	<b>68</b>
----------------------------------	-----------

<b>Bibliographie .....</b>	<b>71</b>
----------------------------	-----------

## Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Schéma d'un système littoral de plage sableuse. Les lignes noires représentent les frontières et les interfaces du système. Les flèches correspondent aux échanges d'énergie et de matière. (Desmaz, 2005).....	<b>14</b>
<b>Figure I.2</b> : Relation spatio-temporelle des systèmes morpho-dynamiques côtiers D'après Stepanian (2002), modifié.....	<b>15</b>
<b>Figure II.1</b> : localisation de la zone d'étude de la plage Ouest de Boumerdes (source Google Earth) .....	<b>19</b>
<b>Figure II.2</b> : Carte bathymétrique de la zone de Boumerdès.....	<b>20</b>
<b>Figure II.3</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N360° sur le petit domaine .....	<b>30</b>
<b>Figure II.4</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N360° sur le petit domaine .....	<b>31</b>
<b>Figure II.5</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N360° sur le petit domaine .....	<b>32</b>
<b>Figure II.6</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N45° sur le petit domaine .....	<b>33</b>
<b>Figure II.7</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N45° sur le petit domaine .....	<b>34</b>
<b>Figure II.8</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N45° sur le petit domaine .....	<b>35</b>
<b>Figure II.9</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N315° sur le petit domaine .....	<b>36</b>
<b>Figure II.10</b> Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N315° sur le petit domaine .....	<b>37</b>
<b>Figure II.11</b> : Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N315° sur le petit domaine .....	<b>38</b>
<b>Figure III.1</b> : Les trois modes de transport sédimentaire (Camenen, 2002) d'après Fredsoe and Deigaard (1994) : transport par charriage, transport par suspension, transport par "sheet ow".....	<b>43</b>

<b>Figure IV.1</b> : Comparaison du transport éolien mesuré in situ et calculé avec les formules pour le site de Boumerdes (Mezouar, 2009).....	<b>56</b>
<b>Figure V.1</b> : Exemple de semi-variogramme et de modèle ajusté (Caeiro et al., 2003)....	<b>62</b>
<b>Figure V.2</b> : Distribution de vecteur résiduel de transport des sédiments dans la plage Ouest de Boumerdes à l'aide de l'approche de GSTA.....	<b>66</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau II.1</b> : Analyse des régimes de vent .....	<b>23</b>
<b>Tableau II.2</b> : Fréquences mensuelles de la houle au large par direction.....	<b>24</b>
<b>Tableau II.3</b> : Caractéristiques de la houle à la côte.....	<b>25</b>
<b>Tableau II 4</b> : Fréquences d'apparition des différents états de la mer au large par direction.....	<b>25</b>
<b>Tableau II.5</b> : Récapitulatif des vitesses de courant (m/s).....	<b>26</b>
<b>Tableau II.6</b> : Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période de la houle vingtennale à -10.00m.....	<b>28</b>
<b>Tableau III.1</b> : Transit littoral en fonction de $\theta_{br}$ , $H_{br}$ et selon kamphuis.....	<b>46</b>
<b>Tableau III.2</b> : Transit littoral total selon la formule de Kamphuis (1991).....	<b>47</b>
<b>Tableau III.3</b> : Transit littoral selon Bijker.....	<b>48</b>
<b>Tableau III.4</b> : Transit littoral selon la formule de Bijker.....	<b>49</b>
<b>Tableau III.5</b> : Transit littoral selon la formule de CERC (1984).....	<b>50</b>
<b>Tableau III.6</b> : Transit littoral en fonction de $\theta_{br}$ , $H_{br}$ et selon CERC (1984).....	<b>51</b>
<b>Tableau III.7</b> : Comparaison des volumes obtenus d'après les trois formules.....	<b>51</b>
<b>Tableau V.1</b> : Classification des sédiments selon les valeurs des trois paramètres granulométriques.....	<b>61</b>
<b>Tableau V.2</b> : Synthèse non exhaustive des applications de la méthode de calcul des tendances de transport sédimentaire. (Mezouar, 2009).....	<b>63</b>
<b>Tableau V.3</b> : Relations entre les paramètres granulométriques (en unité $\Phi$ ) de deux stations A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB+. (Mezouar. K, 2009).....	<b>64</b>

# **INTRODUCTION GENERALE**

## INTRODUCTION GENERALE

Les milieux côtiers et marins constituent des écosystèmes complexes et très diversifiés, soumis aux interactions terre-atmosphère. Cette diversité résulte des changements naturels, des activités anthropiques et de la diversité même des ressources qu'ils renferment.

Les systèmes côtiers comptent parmi les plus productifs de la biosphère et offrent ainsi des attributs dont le développement économique ou social peut tirer parti ou inversement mettre en danger. Ainsi, la vulnérabilité des écosystèmes côtiers est à la mesure de leurs potentiels.

Ces milieux sont ainsi souvent soumis à une sur-exploitation et à une occupation anarchique de l'espace, en particulier de façon croissante sur le littoral Algérien.

L'étude du comportement des sédiments marins, que ce soit à des fins de protection de l'environnement naturel ou de préservation des activités économiques, est une connaissance fondamentale à acquérir.

Le mouvement, le mélange et le dépôt des sédiments sont sous l'influence de nombreux mécanismes et forces naturelles : astronomiques (marée), météorologiques (vents, tempêtes, etc.), variations physico-chimiques (courants de densité, etc.) et hydrographiques (ruissellements, crues, circulation estuarienne, etc). Ces forçages agissant et interagissant à des échelles de temps et d'espace divers, engendrent une grande variabilité des sédiments marins.

Le présent mémoire s'articule en cinq chapitres :

Le premier chapitre est consacré à une introduction générale sur généralités sur processus hydro-sédimentaires sur les plages sableuses. Nous présentons d'une part les processus à l'origine de cette dynamique, une relation spatio-temporelle en morphodynamique côtière ainsi que une zonation des sédiments sur les littoraux sableux

Dans le deuxième chapitre, nous présentons notre site d'étude, une étude bathymétrique notamment la géomorphologie sous-marine indique que l'estran se prolonge en mer par une avant- plage en pente relativement douce. Les conditions hydro-sédimentaires qu'ils les caractérisent (houle, vents, données sédimentaires,...) et la validation du modèle spectral de vague SWAN.

Le chapitre qui suit a pour objet d'une étude sédimentologique des échantillons prélevés à des profondeurs variables. À partir des résultats obtenus au laboratoire, une comparaison des différentes formules empiriques (grain moyen, sorting  $S_o$ , skewness  $S_k$ ). L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires. Les paramètres granulométriques pour cette étude ont été calculés en utilisant la méthode logarithmique des moments qui entre dans la catégorie des méthodes statistiques. Une étude comparative entes les formules du transport sédimentaire celle de (Kamphius, bijker, CERC). Cette partie d'étude s'inscrivant dans une perspective d'analyse hydrosédimentaire a

pour objectif de déterminer les modalités de la dynamique sédimentaire dans la plage sous-marine.

Le quatrième chapitre est complété par une analyse sédimentologique de la partie aérienne de notre zone d'étude, une mesure de l'intensité du transport éolien par différentes formules empiriques et quantifier les échanges sableux qui ont lieu à l'interface dune-plage.

Enfin le dernier chapitre une étude s'inscrivant dans une perspective d'analyse hydrosédimentaire a pour objectif de déterminer les modalités de la dynamique sédimentaire dans la plage sous-marine. La méthode de Gao & Collins (1992) est choisie dans ce but. Cette méthode est une approche semi-quantitative du transport sédimentaire qui permet d'expliquer les directions des flux sédimentaires entre les différents compartiments constituant cette partie de la plage.

**CHAPITRE I**

**GENERALITES SUR PROCESSUS HYDRO-  
SEDIMENTAIRES SUR LES PLAGES SABLEUSES**

## CHAPITRE I

### GENERALITES SUR PROCESSUS HYDRO-SEDIMENTAIRES SUR LES PLAGES SABLEUSES

#### I.1. GENERALITES

Le littoral est l'espace de rencontre entre la terre, la mer et l'atmosphère. Ce lieu de convergence et de compétition entre de nombreuses activités humaines, quelquefois concurrentes (industrie, agriculture, transport, tourisme), constitue aussi un patrimoine biologique et paysager de première importance où les équilibres écologiques sont sans cesse fragilisés par les aléas naturels mais également par l'Homme. (Mezouar, 2009)

Sur les plages exposées aux houles et où les courants de marée sont faibles, l'action des vagues est le moteur des mouvements des masses d'eau et du transport sédimentaire.

#### I.2. SYSTEME LITTORAL

Un système est un ensemble d'éléments en interaction. Pour décrire ce type d'objet complexe, il est utile de combiner des études analytiques classiques à une approche systémique. Tandis que les analyses traditionnelles visent à détailler chaque constituant de façon séparée, les études systémiques considèrent la globalité de l'environnement et les relations entre les éléments de l'ensemble. Avant de présenter les constituants communs à tout système, il est toutefois important d'expliquer « pourquoi ces objets sont complexes? ».

- Tout d'abord, les systèmes sont composés d'une grande variété d'éléments possédant leurs caractéristiques propres.
- Ces éléments sont organisés en niveaux hiérarchiques et peuvent être emboîtés.
- Les interactions entre les éléments sont de nature très variées.
- Ces interactions sont généralement non-linéaires car elles ne peuvent pas être expliquées par une simple relation de proportionnalité.

Afin de décrire la composition d'un système complexe, il faut maintenant distinguer des caractéristiques spatiales et temporelles. La structure du système s'organise dans l'espace, elle est caractérisée par :

- une limite ou frontière ;
- des éléments ou composants, pouvant être dénombrés et assemblés en catégories ou familles ;
- des réservoirs, dans lesquelles les éléments peuvent être rassemblés et stockés ;
- un réseau de communication, qui prend des formes variées et permet des échanges d'éléments et d'énergie.

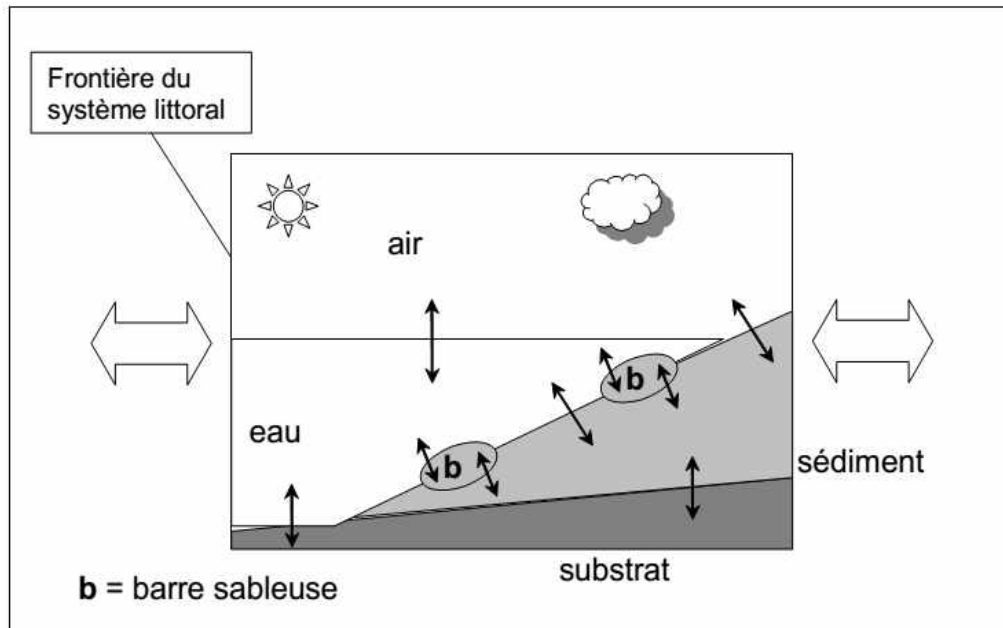
Le fonctionnement du système est dirigé par des phénomènes dépendant du temps, on distingue :

- Les flux d'énergie ou d'éléments qui circulent entre les réservoirs par les réseaux de communication.  
Ils représentent une quantité par unité de temps ; parfois, des « vannes » peuvent contrôler les flux.
- Les « délais » résultent des vitesses de circulation entre les réservoirs.  
Leur importance n'est pas négligeable dans certains systèmes complexes car ils peuvent induire des phénomènes d'inhibition ou d'amplification.
- Enfin, les boucles de rétroaction jouent un rôle déterminant dans le fonctionnement des systèmes en combinant les effets des réservoirs, des flux, des vannes et des délais.  
Elles permettent une dynamique de croissance et d'évolution, ou bien au contraire un effet de stabilité et de régulation.

Les environnements littoraux peuvent être considérés comme des systèmes (Figure I.1). Ils forment une zone géographique complexe, à la limite du continent, de l'océan et de l'atmosphère. A l'intérieur de ce vaste ensemble, des systèmes de rangs inférieurs et d'extension plus limitée peuvent être distingués. Les frontières de tous ces domaines sont bien souvent difficiles à établir et dépendent en général des approches utilisées. Le système côtier est composé d'eau, d'air, de sédiments, de roches et d'organismes vivants. Ces éléments sont stockés dans l'océan, l'atmosphère, le prisme sédimentaire, le substratum géologique et la biosphère. Ils sont étudiés par des disciplines spécifiques : géotechnique, océanographie, météorologie, sédimentologie, géologie et biologie. De plus, en fonction de l'influence plus ou moins grande de chaque constituant, on distingue plusieurs catégories de milieux côtiers :

- Les mangroves et les récifs coralliens sont dominés par les organismes vivants ;
- Les embouchures (estuaire, lagune, ria) sont caractérisées par la présence d'eau continentale.
- Les plateaux rocheux et les falaises montrent l'affleurement du substrat géologique.
- Les platiers vaseux sont formés par un prisme littoral où prédominent les sédiments fins, tandis que les plages, objets de cette étude, sont constituées d'accumulation de sables.

Dans chacun de ces systèmes, une grande partie des échanges d'énergie et d'éléments sont effectués au niveau des interfaces, à la transition entre les réservoirs où les systèmes d'ordres inférieurs. Ainsi, la transition entre la mer et l'atmosphère est le lieu de déplacement des vagues qui véhiculent une grande quantité d'énergie. L'interface entre le prisme sédimentaire et l'océan ou l'atmosphère est pour sa part un domaine de transport d'éléments très important pour le fonctionnement de l'environnement.



**Figure I.1 :** Schéma d'un système littoral de plage sableuse. Les lignes noires représentent les frontières et les interfaces du système. Les flèches correspondent aux échanges d'énergie et de matière. (Desmaz, 2005).

### I.3. L'EVOLUTION MORPHODYNAMIQUE

L'évolution morphodynamique d'un système côtier est classiquement décrite comme une évolution markovienne, définie comme une succession d'états morphologiques (Wright & Thom, 1977). Ce concept est la base théorique de développement de modèles d'évolution des plages (Wright & Short, 1984 ; Horikawa, 1988 ; Short & Aagaard, 1993).

Dans ces modèles supportés par un paramétrage hydrodynamique, le système morphodynamique subit des variations graduelles et réversibles entre deux états extrêmes.

Les états intermédiaires dépendant de l'état précédent, l'évolution morphodynamique d'un système doit donc être étudiée en prenant en fonction de celui-ci (notion héritage morphologique).

### I.4. RELATION SPATIO-TEMPORELLES EN MORPHODYNAMIQUE COTIERE

L'étude de l'évolution morphodynamique des littoraux consiste à relier leur développement morphologique et les forçages aux différentes échelles de temps (Wright & Thom, 1977).

En fonction de l'échelle de temps à laquelle il est étudié, le comportement d'un système morphodynamique côtier (plage, embouchure, dune, estuaire) peut être très variable.

A chaque échelle de temps est associée une représentativité spatiale se référant à l'amplitude volumique des changements morphologique mis en jeu. L'examen des relations spatio-temporelles qui conditionnent le devenir d'un système côtier constitue une mesure de la stabilité du système aux variations de forçage (Kroon, 1994).

Dans le cas d'un système côtier, (De Vriend, 1991) suppose l'existence d'une relation linéaire entre l'amplitude des évolutions spatiales subies par le système et l'échelle temporelle des processus dynamiques qui contrôlent l'évolution de la zone côtière (Figure I.2).

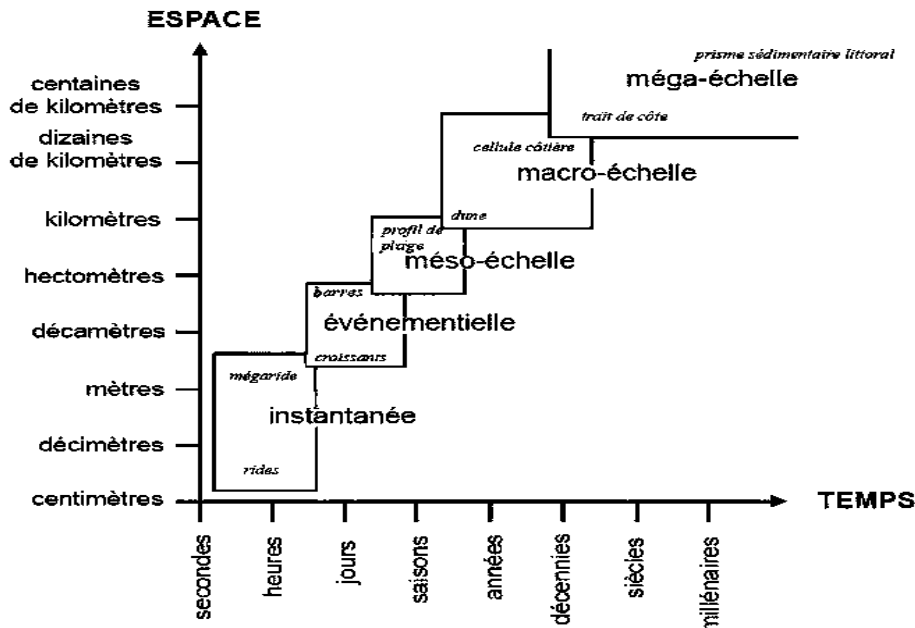


Figure I.2 : Relation spatio-temporelle des systèmes morpho-dynamiques côtiers D'après Stepanian (2002), modifié

On peut distinguer selon la nomenclature de De Vriend les échelles suivantes :

-la micro- échelle (échelle des processus) concerne les processus physiques constitutifs agissant à une échelle notablement plus courte que le comportement morphodynamique correspondant (houle, courant, transport sédimentaire, dont les effets sont à l'échelle dite morphodynamique).

-la méso-échelle (échelle dynamique) concerne le comportement morphodynamique "primaire" dû à l'interaction entre les processus constitutifs et la topographie. Cette échelle est généralement notablement plus longue que celle desdits processus physiques (propagation de corps sédimentaires, engraissement et migration des chenaux).

-la macro-échelle (échelle de tendance) concerne les tendances lentes à une échelle de temps encore plus longue que les comportements morphodynamiques primaires. Ces tendances peuvent être dues aux variations séculaires de comportement inhérent au système (migration cyclique des chenaux dans une embouchure) ou à l'évolution progressive des forçages extérieurs (subsidence, évolution du marnage, élévation du niveau moyen de la mer).

## I.5. PROFIL GENERAL D'UNE CÔTE SABLEUSE

L'avant-côte (ou "plage sous-marine", "avant-plage" ou encore "offshore") s'étend depuis le niveau des basses mers jusqu'à la plate-forme continentale. En réponse aux variations subies par l'estran, l'avant-côte est mobile et ses limites varient temporellement et

spatialement selon les apports en sédiments et les conditions morphodynamiques. Lorsque la plage est en érosion, les sédiments sont entraînés vers le bas de plage et s'accumulent temporairement au niveau de l'avant-plage. Inversement, lorsque les houles redeviennent constructrices, les sables stockés sur l'avant-côte sont repris, et remontés sur la basse et moyenne plage souvent sous forme de rides péri-littorales qui viennent progressivement alimenter la plage qui est alors en situation d'engraissement. La pente de l'avant-côte est généralement faible, inférieure à celle du bas de plage. Une grande part de l'énergie des houles est consommée sur ces petits fonds, ce qui réduit d'autant l'attaque de l'estran ou de la dune. Une côte recule donc théoriquement d'autant moins vite que son avant-côte est large et en pente douce. Les avant-côtes rocheuses à écueils jouent également un rôle de barrière, d'une part en provoquant un premier déferlement dans les côtes très battues, d'autre part en freinant les exportations de sable.

**La plage ou estran** ("beach" ou "shore" des anglo-saxons) est la partie du littoral sableux qui s'étend de la ligne des hautes mers jusqu'à celle des basses mers. On distingue généralement le haut de plage du reste de l'estran, cette frange supérieure étant submergée plus ou moins fréquemment, au gré des variations de coefficients de marée, contrairement à la moyenne et basse plage, quotidiennement soumises au balancement des marées. L'estran est au centre du système : le démaigrissement de la plage fait engraisser l'avant-côte et reculer la dune. Si les sédiments, la pente et le plan de la plage sont en équilibre avec la houle, toute modification de la houle entraîne un changement dans le profil de la plage, donc de l'ensemble du système, ces perturbations pouvant jouer à diverses échelles de temps.

**Les dunes littorales** sont des accumulations éoliennes de sable marin, où la végétation joue un rôle de piège à sédiments en ralentissant les filets d'air. Le massif dunaire littoral fait partie intégrante du système avant-plage / plage / dune. Il est attaqué par la mer lorsque la plage est en érosion : le profil d'équilibre laisse alors sa place à une falaise entretenue par la mer et le vent : sapement basal du front dunaire, déstabilisation de la dune, éboulement sur le haut de plage, dégagement du sable tombé sur le haut de plage, nouveau sapement à la base, etc... L'attaque et le recul durent jusqu'à ce que la plage ait reçu de nouveaux apports sédimentaires (apports transversaux par les houles constructrices, ou longitudinaux par la dérive littorale) et retrouvé son équilibre. Le plus souvent, différentes générations de dunes coexistent, les plus récentes chevauchant les plus anciennes.

### I.6. LES DONNEES SEDIMENTOLOGIQUES

Les sols sont classés avant tout selon la taille des particules qui les constituent (Nova, 2005). Différentes classifications sont proposées, le diamètre des particules des sédiments marins est compris selon leurs diamètres de 200  $\mu\text{m}$  pour le sable fins et 2 mm pour sable grossier. Le mouillage des particules peut génère le déplacement des sédiments qui ont se déplacent par le vent.

Les sédiments subissent un classement granulométrique effectué par les agents hydrodynamiques, houles et courants de marée (dont la compétence tend à diminuer vers le haut de plage) et le vent (qui intervient en haut de plage et plus modérément sur la frange intertidale à marée basse). Les éléments les plus grossiers sont accumulés en partie

haute de l'estran par le jet de rive dont l'énergie décroît au fur et à mesure de sa progression, en raison de la pente croissante, mais aussi des forces de gravité et de frottement. La nappe de retrait, quant à elle, peut évacuer les éléments les plus fins vers la mer. (Mezouar, 2009)

### **I.7. ZONATION DES SEDIMENTS SUR LES LITTORAUX SABLEUX**

Les sables dunaires sont généralement homogènes, fins à moyens, leur médiane étant inférieure à celle des sables de la plage. Les sédiments de la plage et du haut de plage sont souvent bien triés, car ils représentent des dépôts par perte de compétence des courants en milieu aqueux ou aérien. Les galets et graviers sont rarement présents à proximité des dunes, mais peuvent avoir été projetés relativement loin lors des tempêtes.

le profil type d'une plage de sédiments sableux présente une profondeur décroît du large vers la plage jusqu'à une barre immergée située à la limite de la zone de déferlement. Elle croît ensuite pour former une cuvette, avant de diminuer à nouveau jusqu'au trait de côte matérialisé par l'interface air-eau.

Une berme plus ou moins marquée constitue une structure sédimentaire subaérienne non consolidée présentant une marche à son pied et une plage quasi horizontale à son sommet. Lorsque cette berme est érodée par la houle, il reste une petite structure escarpée qui sépare le haut de plage des dunes qui constituent une réserve sédimentaire.

### **I.8. PROCESSUS HYDRO-SEDIMENTAIRE**

Sur les plages exposées aux houles et où les courants de marée sont faibles, l'action des vagues est le moteur des mouvements des masses d'eau et du transport sédimentaire. La vague est une onde progressive qui, en arrivant près des côtes, va subir l'influence du fond. Lorsque la profondeur d'eau diminue, la vitesse de propagation diminue. Dans le cas des fonds rapidement variables, les vagues peuvent être réfléchies ou diffractées. On peut également observer la diffraction du champ de vagues après le passage au-dessus d'un haut-fond.

Les processus hydro-sédimentaires concernent la réponse des particules sédimentaires à l'action des agents hydrodynamiques (courant, vagues). Ils constituent le maillon entre les phénomènes hydrodynamiques et l'évolution morphologique qui reflète l'ajustement des fonds marins à la variabilité spatiale des flux sédimentaires.

Dans le cadre de cette étude nous nous intéressons aux plages sableuses présentant des pentes faibles, pour lesquelles les processus de diffraction et de réflexion sont souvent négligeables. Par contre, au-dessus de fonds lentement variables, les vagues vont être réfractées. Lorsque le rapport de la hauteur des vagues sur la profondeur d'eau atteint une valeur critique, les vagues deviennent instables et le déferlement bathymétrique est observé. En arrivant en eau peu profonde l'onde primaire va également transférer une partie de son énergie vers les harmoniques.

La zone de déferlement et de surf : les vagues vont « gonfler » en zone de levée jusqu'à ce que leur profil devienne instable. Une fois la limite de stabilité atteinte, elles vont déferler et leur énergie va rapidement être dissipée dans une zone que l'on nomme zone de surf.

**CHAPITRE II**  
**PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE**

## CHAPITRE II

### PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

#### II.1. INTRODUCTION

En un point donné, le régime sédimentologie du littoral est tributaire de celui d'un domaine beaucoup plus vaste dit « province sédimentologique » ; c'est une zone du littoral où les phénomènes sédimentologiques sont indépendants de ceux des unités adjacentes.

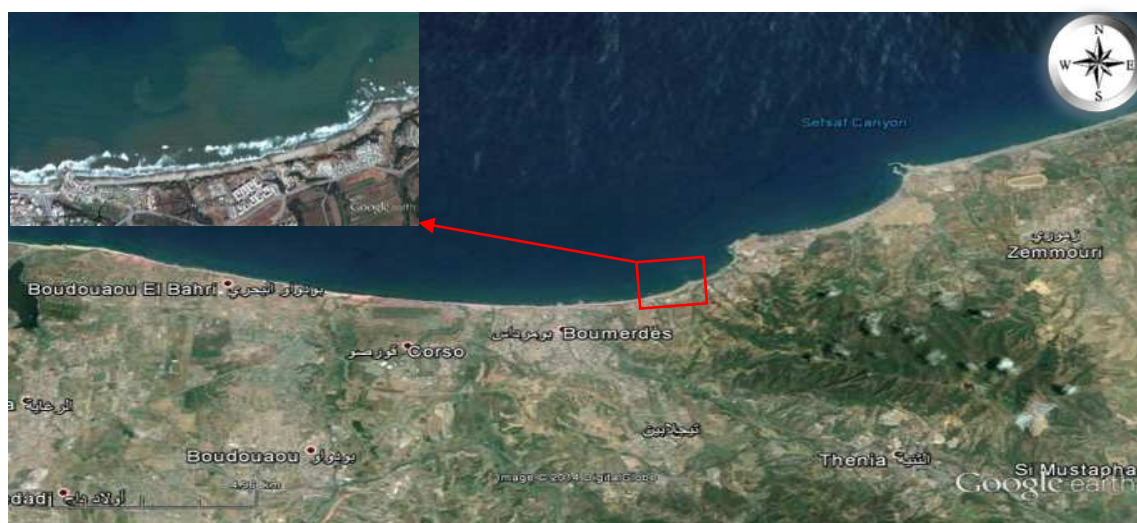
Tant les facteurs sédimentologiques (nature, quantité et mouvements des sédiments) que les facteurs hydrodynamiques (vent, houles, courant, marée) d'une province dépendent, pour une large part, du contexte général dans lequel elle s'inscrit : géographie, géologie, hydrographie, climatologie, hydrologie.

#### II.2. DONNEES GEOGRAPHIQUES ET GEOMORPHOLOGIQUES

##### II.2.1. Cadre géographique :

La ville de Boumerdès est située à 50 Km de l'Est d'Alger, le site d'étude est situé à l'Est du Rocher noir et s'étend sur une longueur d'environ 700 mètres. Délimité par le plateau de Boumerdès au Sud et la mer Méditerranée au Nord.

La plage de Boumerdès fait l'objet de ce travail correspond au rectangle situé entre les longitudes  $3^{\circ}29'10.65''E$  et  $3^{\circ}29'40.95''E$ .



**Figure II.1** : localisation de la zone d'étude de la plage Ouest de Boumerdès  
(source Google Earth 2014)

### II.2.2. Cadre géologique

La wilaya de Boumerdès se caractérise par un littoral aux aspects variés (côte de falaises, côte rocheuse, côte dunaire à sable littoral) on distingue :

- des terrains sablo-argileux de l'ère quaternaire occupée dans certains endroits par l'agriculture et dans d'autres endroits par des dunes sableuses.
- des terrains sablo-limoneux qui forment la vallée au fond de laquelle coule l'oued Tatarreg.
- des terrains métamorphiques (gneiss et micaschistes) formant des points rocheux (Rocher Noir et Rocher Pourri).

### III.2.3. La bathymétrie

La carte bathymétrique constitue un document fondamental et nécessaire pour reconnaître et interpréter la morphologie sous-marine. À partir des données fournies par LEM, la carte bathymétrique a été réalisée à l'aide du logiciel Surfer (Golden Software®).

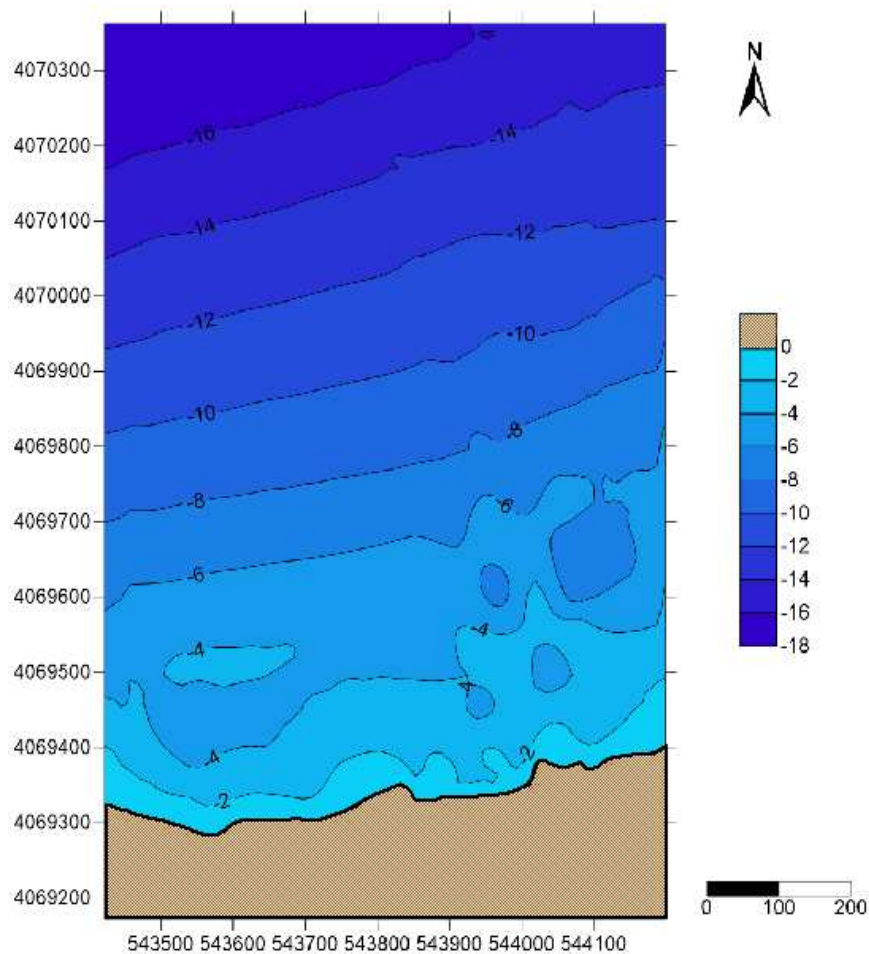


Figure II.2 : Carte bathymétrique de la zone de Boumerdès. (Adjal, 2014)

## II.3. DONNEES CLIMATOLOGIQUES ET HYDROLOGIQUES :

### II.3.1. Données climatologiques :

La zone d'étude est caractérisée par un climat de type méditerranéen avec des étés chauds et secs et des hivers tempérés, doux et humides.

L'évaluation des différents paramètres climatologiques (pluies, températures....) s'est effectuée en fonction de la disponibilité des informations au niveau de la station de Dar El Beïda (ONM), la période étudiée s'étale sur 10 ans (1993-2003).

#### a. Les précipitations :

Les pluies sont importantes en automne et surtout en hiver souvent avec des régimes orageux.

La période pluvieuse s'étale du mois de septembre jusqu'au mois de mai avec une moyenne maximale de 103.20 mm au mois de décembre alors que la période d'été est pratiquement sèche. Les neiges et les gelées sont pratiquement inexistantes.

Les valeurs moyennes mensuelles des précipitations exprimées en mm mettent en évidence deux saisons.

- Une saison humide, avec 542.16mm qui s'étale du mois de septembre au mois de mai, avec une moyenne mensuelle enregistrée de 30.45mm, cette moyenne s'élève progressivement jusqu'au mois de décembre où elle atteint le maximum de 103.20mm. Elle diminue par la suite graduellement jusqu'au mois de mai, avec une moyenne mensuelle de 33.34mm.
- Une saison sèche, avec 22.61mm, relativement plus courte que la précédente, qui s'étale du mois de juin avec une moyenne mensuelle de 7.12mm, au mois d'août avec une moyenne mensuelle de 13.58mm. .

Au mois de juillet, les précipitations se font très rares avec une moyenne de 1.19mm.

#### b. Les températures :

D'une manière générale les températures dans la région côtière connaissent un adoucissement dû à la proximité de la mer. C'est le cas de notre zone d'étude. Les moyennes mensuelles des températures varient entre 11.19°C et 26.22°C. En été, la température moyenne est de 30°C. Le sirocco souffle en moyenne 25J/an, le relief isolé de la mer accentue les différences de températures, il fait froid en hiver sur les reliefs même à proximité de la côte. En été, ces reliefs sont surchauffés et ne bénéficient pas d'air marin.

### III.3.2. Données hydrologiques (Mezouar, 2004) :

La zone littorale de Boumerdès est sillonnée par trois importants oueds :

- Oued Keddara, oued Isser et oued sebaou, ils contribuent essentiellement aux apports liquides et solides à la mer, ainsi que par des petits oueds tels qu'oued Boudouaou et oued corso.
- L'oued Keddara : a un bassin versant d'une superficie de 95km<sup>2</sup>. Les rapports solides inter- annuels entre 1968-1978 ont été évalués à 717,119 millions de tonnes (ANRH).
- L'oued Isser présente un bassin versant d'une superficie de 3615km<sup>2</sup>. Les apports solides inter- annuel entre 1954-1978 ont été évalués à 6332.444millions de tonnes.
- L'oued sebaou présente un bassin versant d'une superficie de 2890km<sup>2</sup>.
- L'oued boudouaou a un bassin versant de 150km<sup>2</sup> et un débit liquide moyen annuel de 37km<sup>3</sup>/an.
- L'oued Corso présente un bassin versant d'une superficie de 82km<sup>2</sup> et un débit liquide moyen annuel de 20km<sup>3</sup>/an et un débit solide moyen de 0.1km<sup>3</sup>.

La majeure partie des matériaux en suspension parvient à la mer, une partie des matériaux du type sableux produit par l'érosion reste stockée dans le bassin versant.

Il est bien évident que les extractions n'ont pues conduire qu'à une diminution des rapports solides à la mer, ceci contribue en suite à l'érosion du littoral qui est sous-alimenté.

## II.4. FACTEUR HYDRODYNAMIQUE

### II.4.1. Les vents

Le vent joue un rôle considérable dans les transferts sédimentaires directement sur la partie aérienne et par les différents agents hydrodynamiques générés par celui-ci sur la partie immergée.

#### a. Vent et sédimentologie :

Du point de vue sédimentologique, l'action des vents se manifeste de trois manières :

- En engendrant la houle ;
- En provoquant les transports éoliens ;
- En engendrant des courants.

Dans le cas de la zone de Boumerdès, les deux premiers facteurs (houles, transports éoliens) sont les plus importants. On doit particulièrement souligner le rôle des transports éoliens dans la dynamique sédimentaire de la majeure partie du littoral.

#### b. Vent et courant :

Lorsque le vent souffle sur un plan d'eau calme, engendre un courant dont la vitesse et en premier approche de 1 à 2% de celle du vent. S'il existe déjà des courants, ceux-ci sont renforcés ou atténués selon que le vent souffle dans la même direction ou dans le sens contraire.

Ces courants agissant :

- En créant des rigoles d'écoulement.
- En entraînant les matériaux.
- L'analyse des régimes de vent a été évaluée d'après des mesures effectuées au niveau de l'oued ISSER (1973-1975) par l'U S Naval weather service command.

**Tableau II.1** : analyse des régimes de vent.

<b>Echelle de Beaufort</b>	<b>Vitesse de vents (Km/h)</b>	<b>Terme descriptif</b>	<b>Effets observés sur la mer</b>
0	Moins de 1	Calme	La fumée s'élève verticalement, la mer est comme un miroir.
1	1-5	Très légère brise	La fumée est déviée, la mer est sans écume.
2	6-11	Légère brise	Les vaguelettes sont courtes.
3	12-19	Petit brise	Les petites vagues déferlent.
4	20-28	Jolie brise	Le vent soulève la poussière sur les vagues, les moutons sont nombreux.
5	29-39	Bonne brise	Les vagues sont modérées.
6	39-49	Vent frais	Des lames se forment.
7	50-61	Grand frais	La marche contre le vent est pénible, la mer grossit
8	62-74	Coup de vent	Des tourbillons d'embrun se détachent des lames.
9	75-88	Fort coup de vent	La crête des lames déferle en rouleaux.
10	89-102	Tempête	Les lames déferlent et réduisent la visibilité.
11	103-117	Violente	La mer est recouverte d'écumes.
12	118 et plus	Ouragan	La visibilité est très réduite.

L'analyse de ces données nous montre que les vents dominants soufflent des secteurs Est et Ouest. On distingue deux régimes dominants :

- En période hivernale : les vents violents ont une vitesse, supérieure à 34 nœuds, sont très peu fréquents, 2,2%. Les vents dominants proviennent des secteurs ouest à sud-ouest avec une fréquence de 42,65 %.
- En période estivale : les vents forts (vitesse supérieure à 43 nœud) sont très peu fréquents, leur fréquence ne dépasse pas 0,54 %. Les vents qui ont des vitesses qui varient entre 4 et 10 nœuds sont plus fréquents avec une fréquence de 46,52%.

### **II.4.2. La houle**

Le principe de l'analyse de la houle au large est basé sur des observations faites à bord des navires, de L'US Naval Weather Command et publié dans le Summary of Synoptic Meteorological Observation (SSMO), s'étalant sur une période de 8 ans de 1963 à 1970 regroupant 45000 observations. Ces données couvrent une zone au large des côtes algériennes située en longitude Est entre 2° et 5° et en latitude Nord entre 36°50' et 38°.

- **La houle au large :**

Une analyse statistique des données de base des houles permet de définir les secteurs des houles prédominantes et leurs amplitudes respectives.

**a- Fréquences mensuelles de la houle au large par direction :**

**Tableau II.2 :** Fréquences mensuelles de la houle au large par direction :

<b>Directions</b> <b>Mois</b>	<b>Nord</b>	<b>Nord- Est</b>	<b>Est</b>	<b>Sud- Est</b>	<b>Sud</b>	<b>Sud- Ouest</b>	<b>Ouest</b>	<b>Nord- Ouest</b>
<b>Janvier</b>	08,10	12,90	18,20	05,00	06,50	13,20	28,80	07,30
<b>Février</b>	08,80	13,30	12,60	04,00	06,00	16,90	35,60	05,80
<b>Mars</b>	11,3	12,60	15,80	03,60	04,50	13,30	30,50	09,20
<b>Avril</b>	11,70	15,30	16,00	02,00	04,40	13,70	26,60	10,20
<b>Mai</b>	08,40	26,30	31,90	03,00	03,30	17,20	13,90	06,20
<b>Juin</b>	09,20	29,10	29,80	01,80	01,40	18,20	16,30	02,00
<b>Juillet</b>	05,90	32,50	35,10	01,40	00,90	05,90	16,20	02,00
<b>Août</b>	08,90	27,70	37,40	01,90	01,10	05,00	13,40	04,90
<b>Septembre</b>	06,70	26,40	40,50	02,20	02,30	04,50	14,80	02,50
<b>Octobre</b>	07,80	14,10	20,30	03,20	04,30	14,80	28,80	06,90
<b>Novembre</b>	05,40	05,70	10,00	05,10	80,00	15,90	40,40	09,40
<b>Décembre</b>	10,20	06,20	09,30	04,60	07,40	15,00	37,10	01,00
<b>Moyenne</b>	8,57	19,01	23,51	2,98	10,50	12,76	24,87	5,46

En hiver, les houles prédominantes sont de secteur Ouest- Nord-Ouest (>80%) avec une période moyenne de 8 à 9 secondes ; les périodes supérieures à 10s sont relevées lors des grandes tempêtes et pouvant atteindre 13s.

L'amplitude moyenne la plus fréquente est de 2 à 3m ; avec des houles pouvant atteindre une amplitude de 4m voir 6m comme valeur maximale.

La longueur d'onde, des houles d'hiver les plus fréquentes, est de 150 à 170m avec une célérité de 14 m/s.

Par "gros temps" les valeurs sont plus élevées (L=200m et C=17m/s). Dans ces conditions, la profondeur de déferlement peut être estimée entre 6 et 9m.

Les houles de la période estivale, de direction Nord-Nord-Est se caractérisent par une période moyenne de 6 à 7 secondes et une amplitude de 0.5m à 1.5m ; 50% de ces houles ont

une période de 6 à 9s et n'atteignent que très rarement 3m d'amplitude. Pour une période de 6s, ces houles se caractérisent par une longueur d'onde de 130m et une célérité de 10m /s.

• **Caractéristiques de la houle au voisinage de la côte :**

**Tableau II.3 :** Caractéristiques de la houle à la côte.

	<b>Temps de retour associe</b>	<b>360° Nord</b>	<b>45° Nord</b>	<b>315° Nord</b>
<b>Biennal</b>	02	3.64m	3.57m	4.14m
<b>Quinquennal</b>	05	5.25m	4.11m	3.68m
<b>Décennal</b>	10	5.71m	4.50m	4.08m
<b>Vingtennal</b>	20	5.17m	9.91m	4.49m
<b>Cinquantennal</b>	50	5.78m	5.44m	5.02m
<b>Centennal</b>	100	6.24m	5.83m	5.42m

Les fréquences d'apparition des différents degrés d'agitation par direction sont déterminées à partir des données du S.S.M.O

**Tableau II.4 :** Fréquences d'apparition des différents états de la mer au large par direction

Direction La houle Etat de la mer	<b>W</b>	<b>NW</b>	<b>N</b>	<b>NE</b>	<b>E</b>
Calme	2.90	1.10	2.00	2.70	4.00
0	6.20	2.00	2.90	7.00	9.30
1	10.90	2.70	2.60	7.50	9.10
2	4.30	0.60	0.70	1.20	0.90
3	0.90	0.10	0.10	0	0.10
4	0.30	0	0	0	0
<b>Total</b>	25.50	6.50	8.30	18.40	23.40

D'après le tableau n° **II.4** on constate que :

- l'agitation provenant du secteur Est et Ouest est la plus fréquente ;
- l'agitation provenant des secteurs Nord et Nord-Ouest est moins fréquente ;
- les fortes houles proviennent essentiellement du secteur Ouest.

**III.4.3. Les courants**

L'importance des courants pour notre étude n'est pas à négliger du point de vue transport des matériaux qui vont conduire soit à un ensablement, soit à une érosion (Mezouar, 2004).

- **Les courants généraux :** Le courant atlantique pénétrant par le détroit de Gibraltar forme des tourbillons anticycloniques de 100km de diamètre, se déplaçant vers l'Est à une vitesse moins de 7 nœuds (Millot, 1985). A son arrivé à la côte de Boumerdès, il a une vitesse de 0.5 à 2.5 nœuds. Il crée alors des courants résiduels se dirigeant vers la côte dont la vitesse est inférieure à 0.5 nœud (Mezouar, 2004).

- **Les courants de retour** : au contact de la côte, le courant existant au lieu du déferlement engendre des courants de retour, leurs vitesses dépendent de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont les responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large (Mezouar, 2004).
- **courants de dérive littorale** : les courants de dérive littorale prennent naissance au niveau de la zone de déferlement où l'énergie est maximale. Ils permettent la mise en suspension des sédiments et leur transit le long de la côte (Mezouar, 2004).

Dans le cas de houles de petites et moyennes amplitudes ces courants ne sont significatifs que dans la zone de déferlement (Caulet 1972) et n'affectent donc que le triage des sables et graviers de la frange littorale (fonds à -10m). La vitesse de ces courants, induits par les houles, est donnée par la formule suivante.

$$V = K\sqrt{gH/Ti \sin 2\alpha} \quad . \quad (\text{Berthois, 1969}).$$

Avec : **K** : coefficient qui dépend de la rugosité du fond, il est pris égal à 2.6.

**g** : accélération de la pesanteur,  $g = 9.81\text{m/s}$ .

**T** : période des houles.

**i** : pente du fond.

**$\alpha$**  : Angle d'incidence des houles.

**H** : amplitude des lames déferlantes.

**Résultats obtenus :**

**Tableau II.5** : Récapitulatif des vitesses de courant (m/s).

<b>Période</b> <b>direction</b>	<b>6s</b>	<b>8s</b>	<b>10s</b>	<b>Total par</b> <b>secteur</b>
<b>N 360°</b>	0.067	0.24	0.78	1.087
<b>N 45°</b>	0.039	0.19	0.48	0.52
<b>N 315°</b>	0.08	0.26	0.36	0.98

**II.5. MODELISATION MORPHODYNAMIQUE**

**5.1.Modèle spectral de vague SWAN**

Le modèle spectral de propagation des états de mer SWAN (acronyme de " Simulating Waves Nearshore ") est développé au sein de Delft University of Technology, aux Pays Bas :

Il s'agit d'un modèle numérique permettant le calcul des paramètres des vagues, dans les régions côtières, les lacs et les estuaires, à partir d'informations fournies sur la bathymétrie, les courants et le vent. Le modèle résout l'équation de transport de l'énergie (ou de l'action d'onde, en présence de courants). Pour cela, le spectre est discrétisé en un certain nombre de

fréquences et de directions et l'équation est résolue sur une grille en " différence finie ". Swan est un modèle de " troisième génération ", avec la possibilité de le faire fonctionner en mode première ou seconde génération ; cela permet, en fonction des besoins, des gains en ressources informatiques. Swan cycle III fonctionne en mode stationnaire et optionnellement en mode non-stationnaire.

Il couvre le spectre de houle complet en termes de fréquences et de direction (0°-360°), ce qui signifie que des champs de vagues se propageant dans différentes directions simultanément (ainsi que leurs interactions) peuvent être modélisés.

Son intérêt par rapport aux modèles globaux est sa précision sur des maillages allant jusqu'à 20 x 20 m, mais surtout sur des régions de très faible profondeur, jusqu'à la zone de déferlement.

Les processus suivants peuvent être représentés dans SWAN :

- réfraction et shoaling, sous l'effet des variations spatiales du fond et du courant,
- réflexion et déferlement dus à des courants contraires,
- génération par le vent,
- dissipation par moutonnement,
- dissipation par déferlement bathymétrique,
- dissipation par frottement sur le fond,
- interactions entre composantes spectrales (quadruplets et triades),
- transmission d'énergie, blocage ou réflexion au travers d'obstacles.

La surélévation du niveau moyen induite par les vagues (set-up) peut être calculée dans Swan. Par ailleurs, les effets de la diffraction peuvent être modélisés dans certaines conditions ; cela permet l'utilisation du modèle dans des régions où les variations de la hauteur significative sont importantes sur l'échelle spatiale de quelques longueurs d'onde.

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial x} c_x N + \frac{\partial}{\partial y} c_y N + \frac{\partial}{\partial \sigma} c_\sigma N + \frac{\partial}{\partial \theta} c_\theta N = \frac{S}{\sigma} \dots (1)$$

$N(\sigma, \theta)$  représente la densité du spectre, égale à la densité du spectre d'énergie divisé par la fréquence de vague, où le  $\sigma$  est la fréquence et  $\theta$  est la direction.

La limite de premier terme dans l'équation 1 représente le taux de changement de  $N$  avec le temps. Les deuxièmes et troisième termes représentent la propagation dans l'espace avec  $c_x$  et  $c_y$  les vitesses de propagation dans les directions de  $x$  et de  $y$ . Le quatrième terme représente le décalage de la fréquence relative due aux variations de la profondeur et des courants. Le cinquième terme représente la réfraction causée par la profondeur. La limite de source d'énergie,  $S$ , du côté droit de l'équation explique la génération, la dissipation, et les interactions non linéaires entre les vagues.

### II.5.1.1. Discussion

Un traitement statistique des données du Summary of Synoptic Meteorological Observations (SSMO) a permis de déterminer les fréquences d'apparition de houle par direction et par période.

Afin d'optimiser les calculs sur le modèle SWAN, nous avons procédé au calcul d'une houle équivalente par période et par direction. Celle-ci correspond à la moyenne des amplitudes significatives pour une période donnée, les périodes de houle considérées dans le cadre de cette étude sont : 6,8 et 10.

Le secteur angulaire considéré correspond aux limites naturelles imposé 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 trois (03) 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 :

- Une direction approximativement perpendiculaire à la côte pour mesurer les effets d'une houle frontale (N 360°)
- Deux directions de houle à incidence oblique (N 315° et N 45°).

### II.5.1.2. Résultats :

Les résultats obtenus par le model SWAN sont présenté dans les figures sous formes des épures de réfraction qui représentent le sens de direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelles à la hauteur de la houle.

Aussi ces résultats de réfraction de la houle déterminent les conditions de la houle en quelques points, qui permet l'établissement de la statistique locale de la houle à cette profondeur qui sera utilisée pour l'estimation de la capacité de transport et/ ou pour le calcul du dimensionnement des ouvrages maritimes.

Le coefficient de réfraction ( $K_r$ ) pour les houles vintennale a été calculé pour chaque direction retenue à une profondeur d'environ -10 m, profondeur limite de la dynamique sédimentaire (voir tableau II.6).

**Tableau II.6 :** Les moyennes des résultats obtenus par direction et par période de la houle vintennale à -10.00m.

	Période (s)	Amplitudes des houles au large (m)	Amplitudes des houles à -10m	$K_r$	Angle d'arrivé (°)
N°45	10	6,79	4,13	0,61	17,11
N°315	10	5,95	4,61	0,78	329,13
N°360	10	7,02	5,19	0,74	349,48

On remarque parmi ces trois secteurs que ce sont les houles de direction Nord 315° qui conservent leur énergie et attaque le site frontalement.

### II.5.1.3. Interprétation des résultats

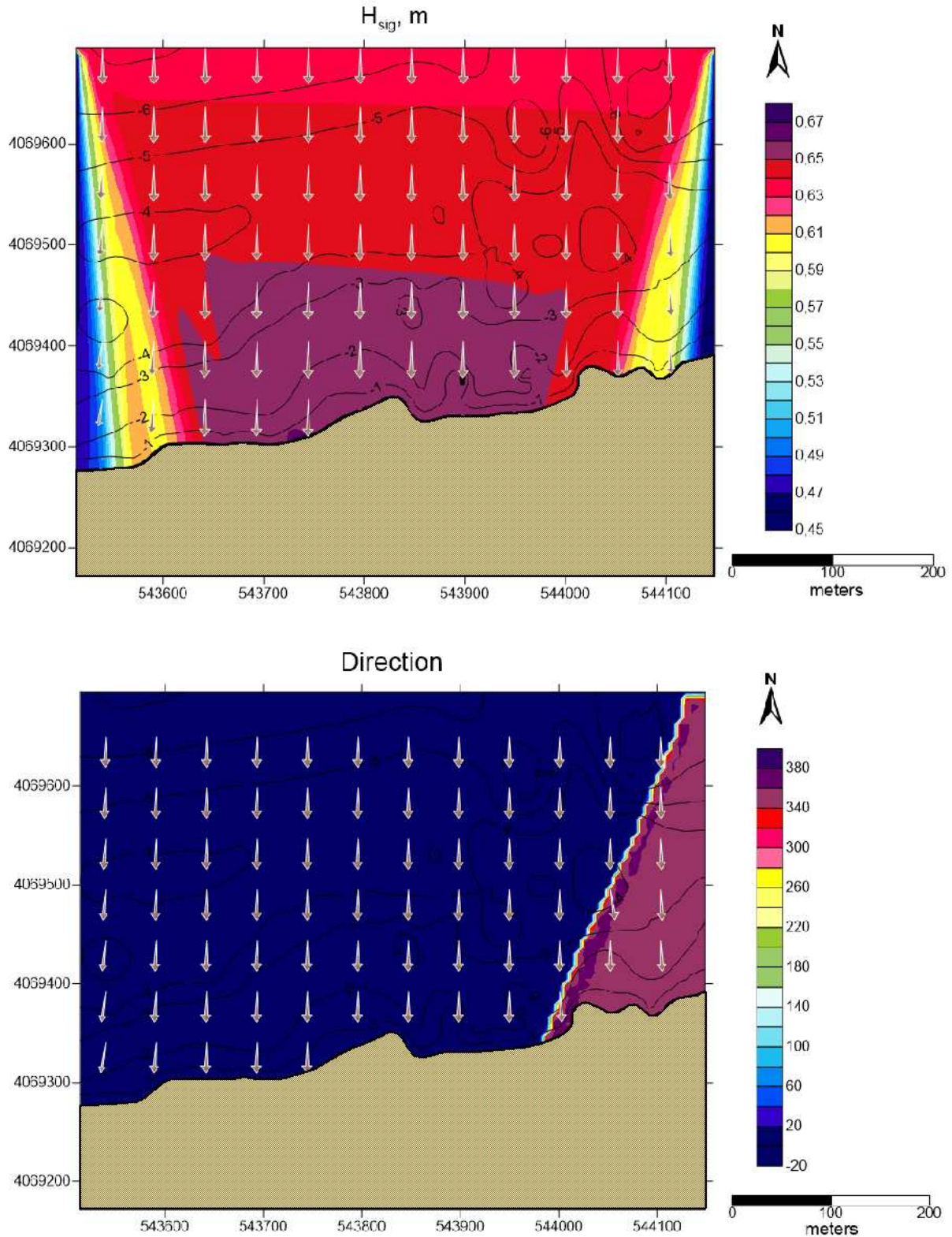
- **Figures II.3,II.4, II.5** présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord (N360°) avec les périodes de 6, 8 et 10 secondes, la propagation se fait de façon quasi frontale, le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0.84, donc les houles ne perdent que un peu de leur énergie. Les orthogonales ne pivotent que légèrement à l'approche du rivage.
- **Figures II.6,II.7, II.9** présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord (N45°) avec les périodes de 6, 8 et 10 secondes. on constate que l'étude de la réfraction sur ce cas démontre que la réfraction s'opère sur cette dernière de façon à diminuer son énergie au fur et à mesure de son évolution vers la côte, avec un coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0,60. Donc elles ne conservent que la moitié de leur énergie de large. La dissipation de l'énergie se présente par un pivotement des orthogonales en direction Nord à Nord – Est, avec un angle moyen de 35°.
- **Figures II.10,II.11, II.12** présentant les résultats de l'étude de la réfraction pour une houle de secteur Nord (N315°) avec les périodes de 6, 8 et 10 secondes, la propagation se fait de façon frontale. Le coefficient de réfraction est en moyenne égal à 0.86, les houles ne perdent que très peu de leur énergie, Ces houles atteignent la zone d'étude sans changer de direction, mais en termes d'énergie elles sont beaucoup moins importantes que les houles de direction Ouest.

Les houles les plus énergétiques et qui peuvent influencer sur notre zone sont les houles de secteur Nord- Ouest, et elles vont être prises dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

**Run 1**

La hauteur significative  $H_s$  0,63 m,

La période de vague 6s.

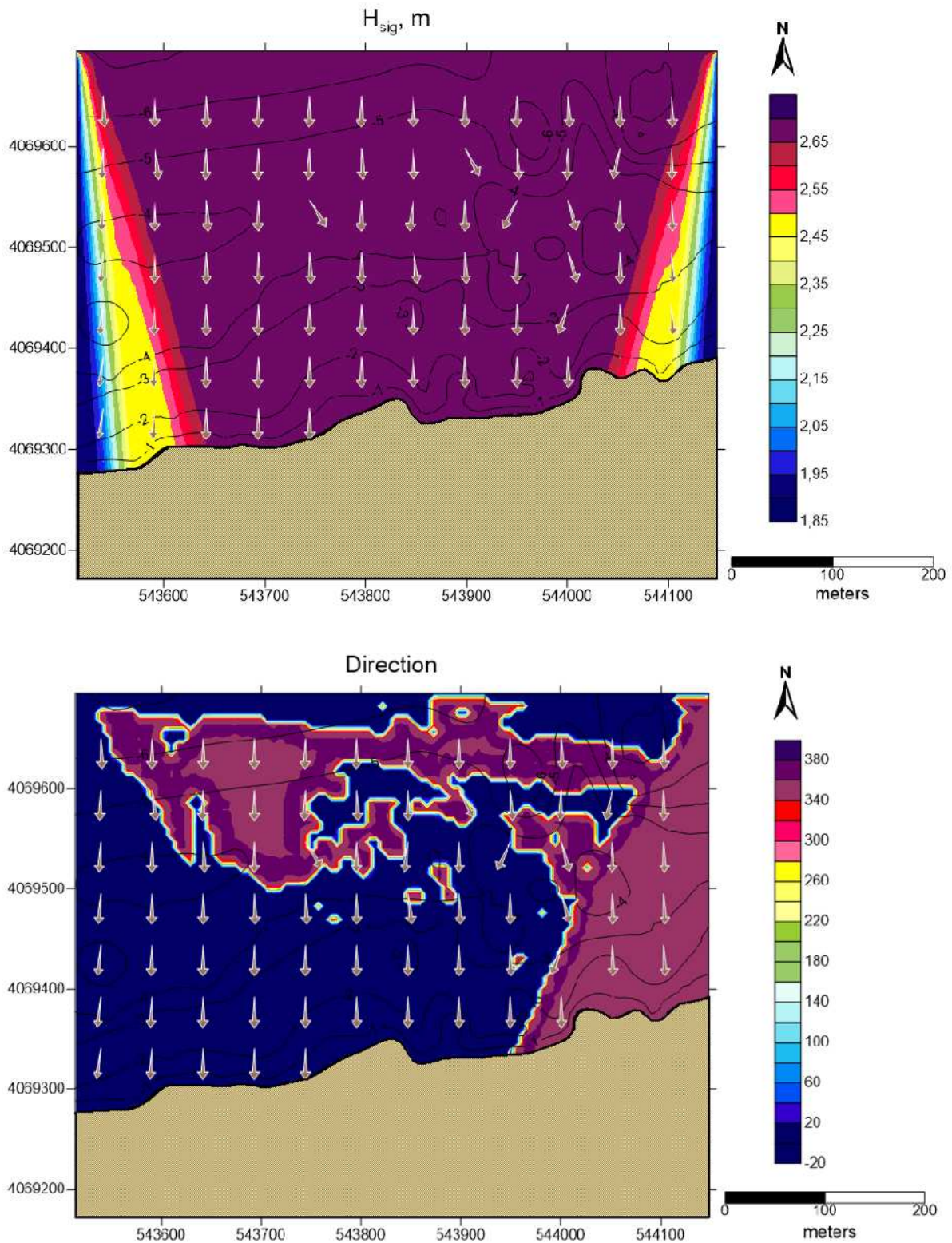


**Figure II.3 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N360° sur le petit domaine

**Run 2**

La hauteur significative Hs 2,65 m,

La période de vague 8 s.

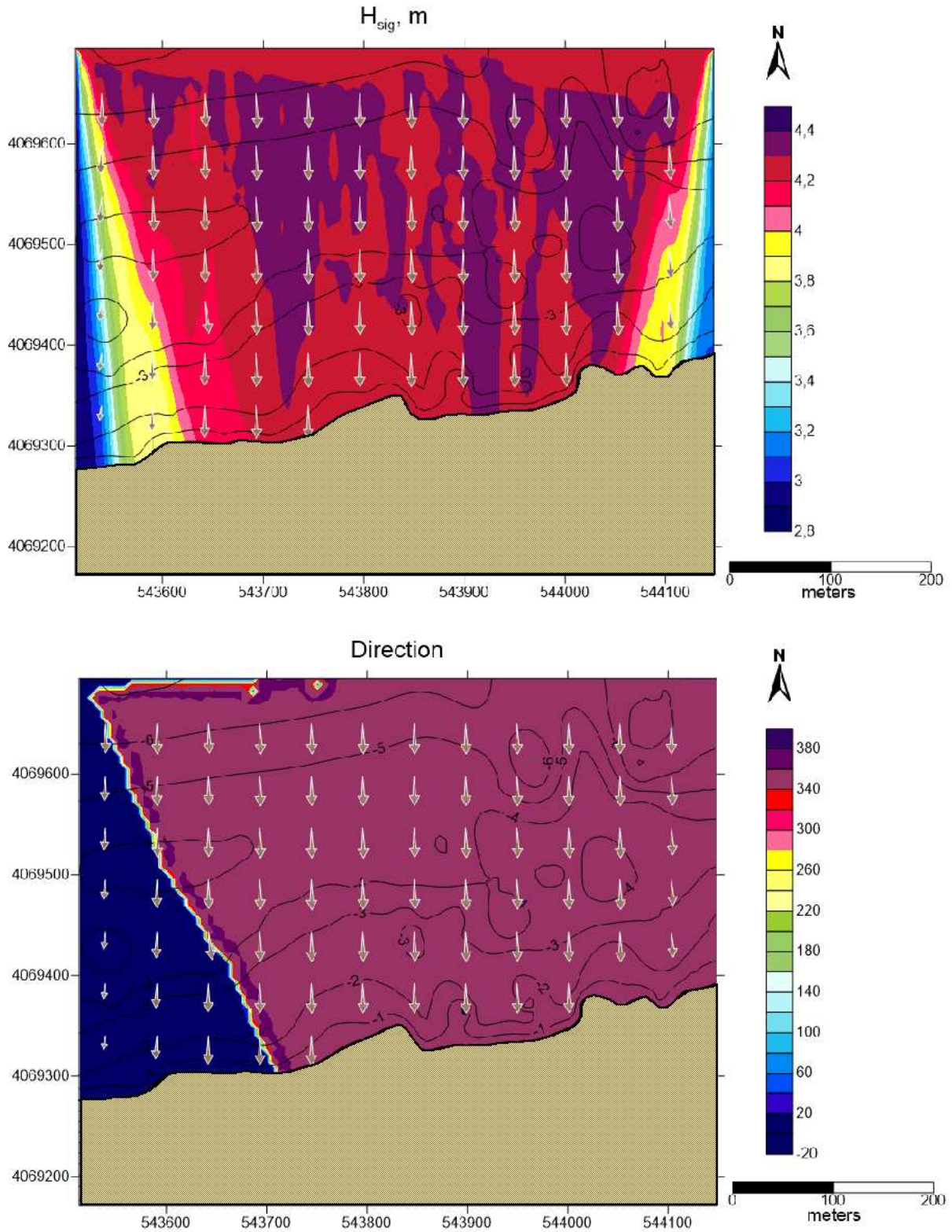


**Figure II.4 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N360° sur le petit domaine

**Run 3**

La hauteur significative Hs 4,27 m,

La période de vague 10 s.

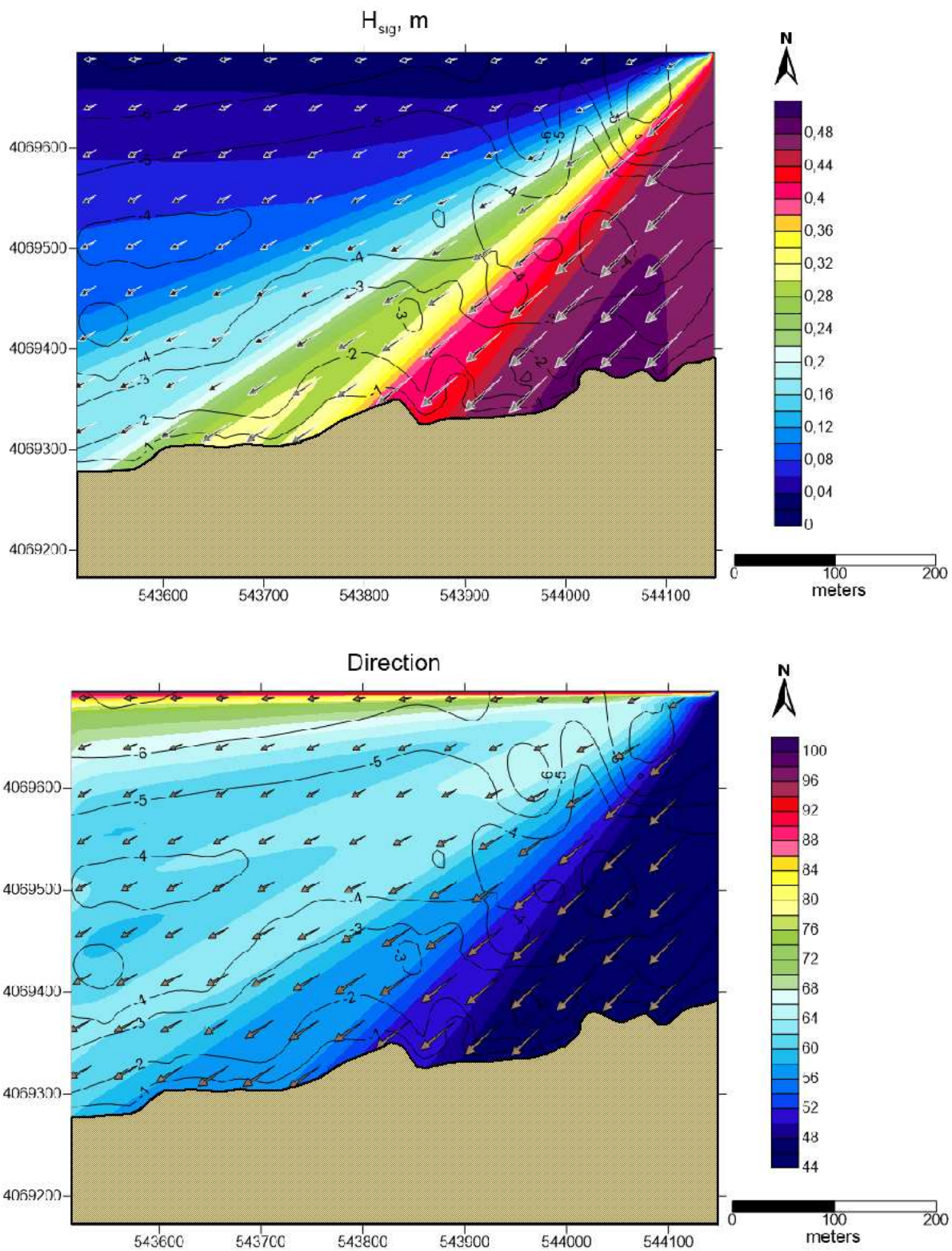


**Figure II.5 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N360° sur le petit domaine

**Run 4**

La hauteur significative  $H_s$  0,47 m,

La période de vague 6s.

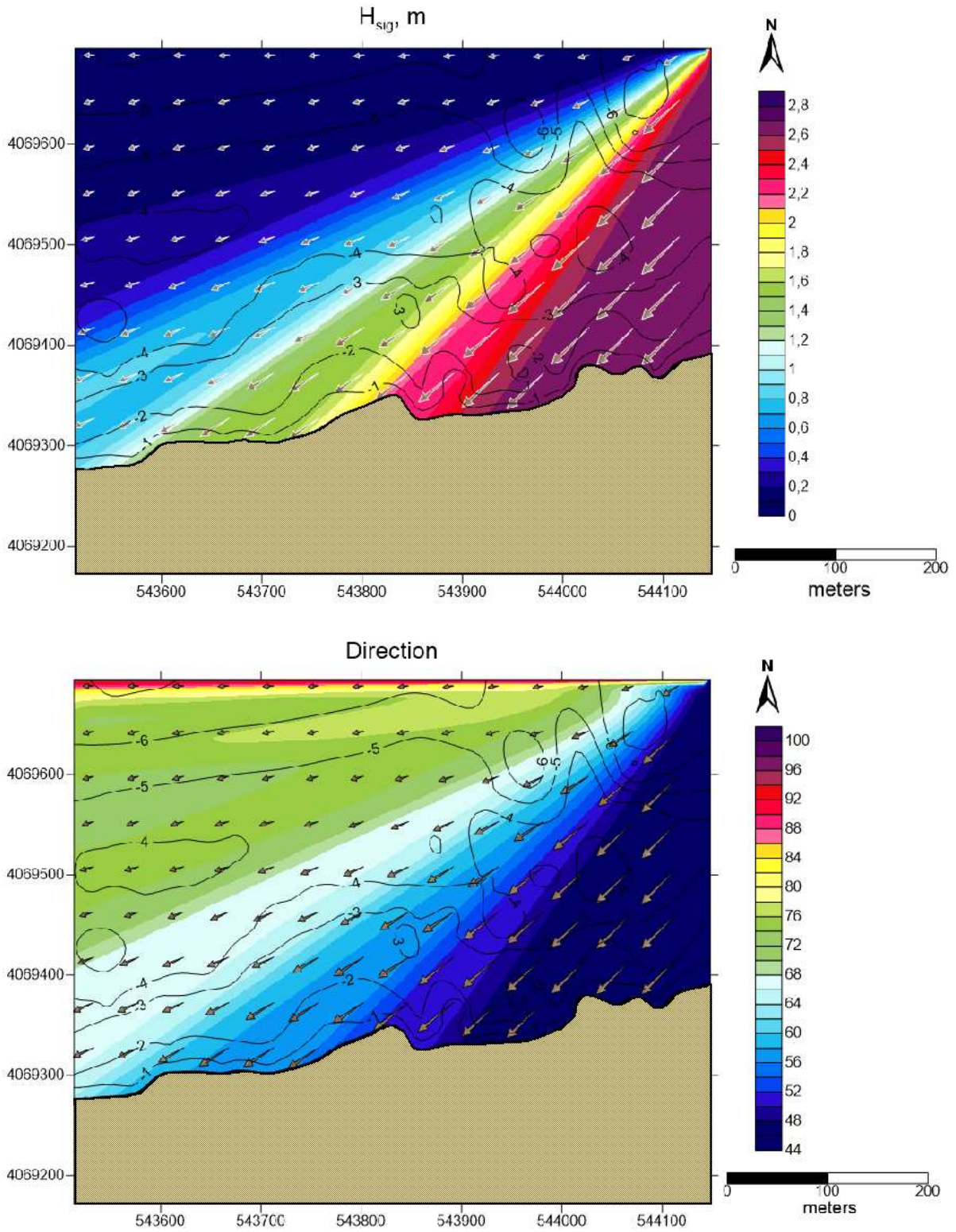


**Figure II.6 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de  $N45^\circ$  sur le petit domaine

**Run 5**

La hauteur significative  $H_s$  2,67 m,

La période de vague 8s.

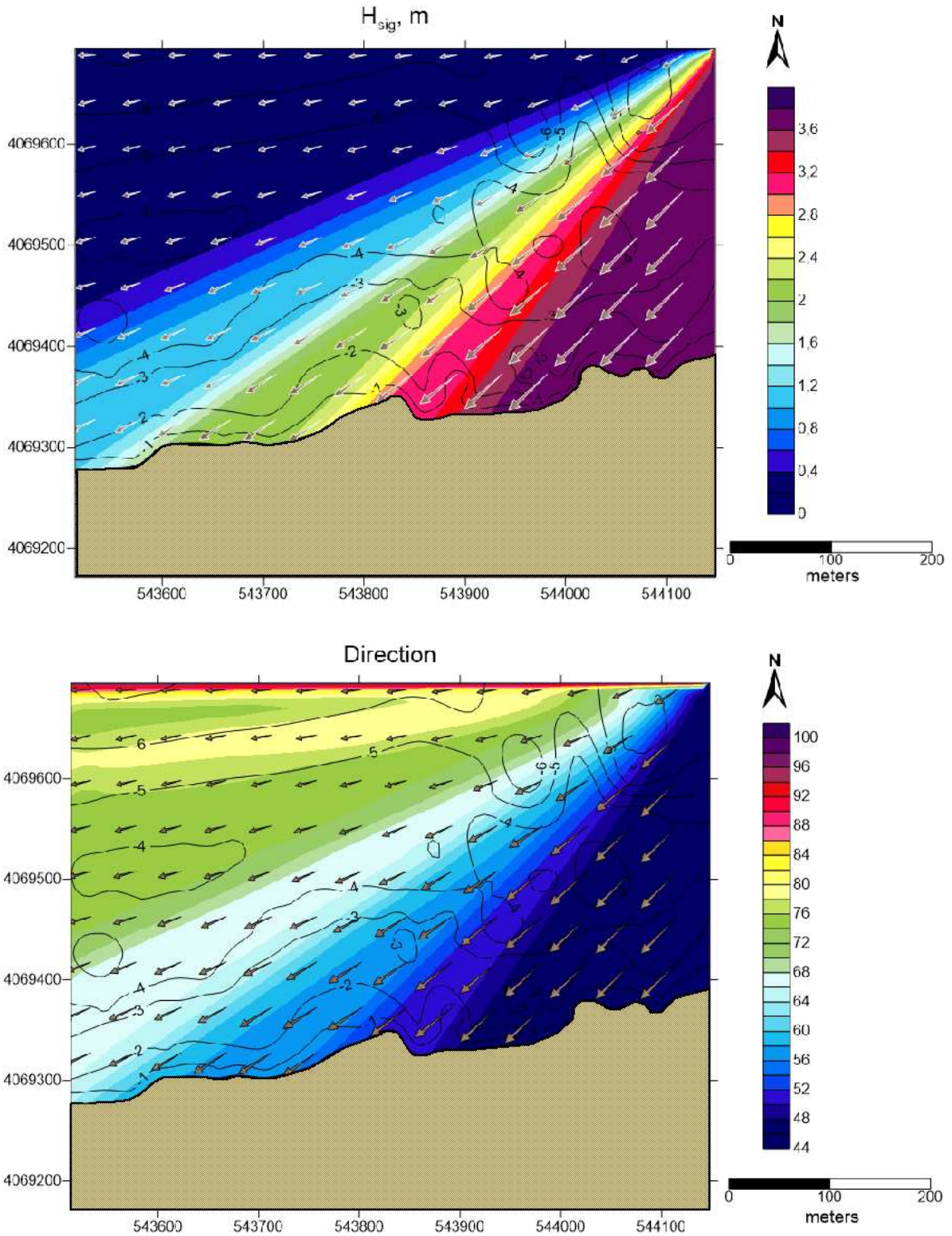


**Figure II.7 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N45° sur le petit domaine

**Run 6**

La hauteur significative  $H_s$  6,74 m,

La période de vague 10s.

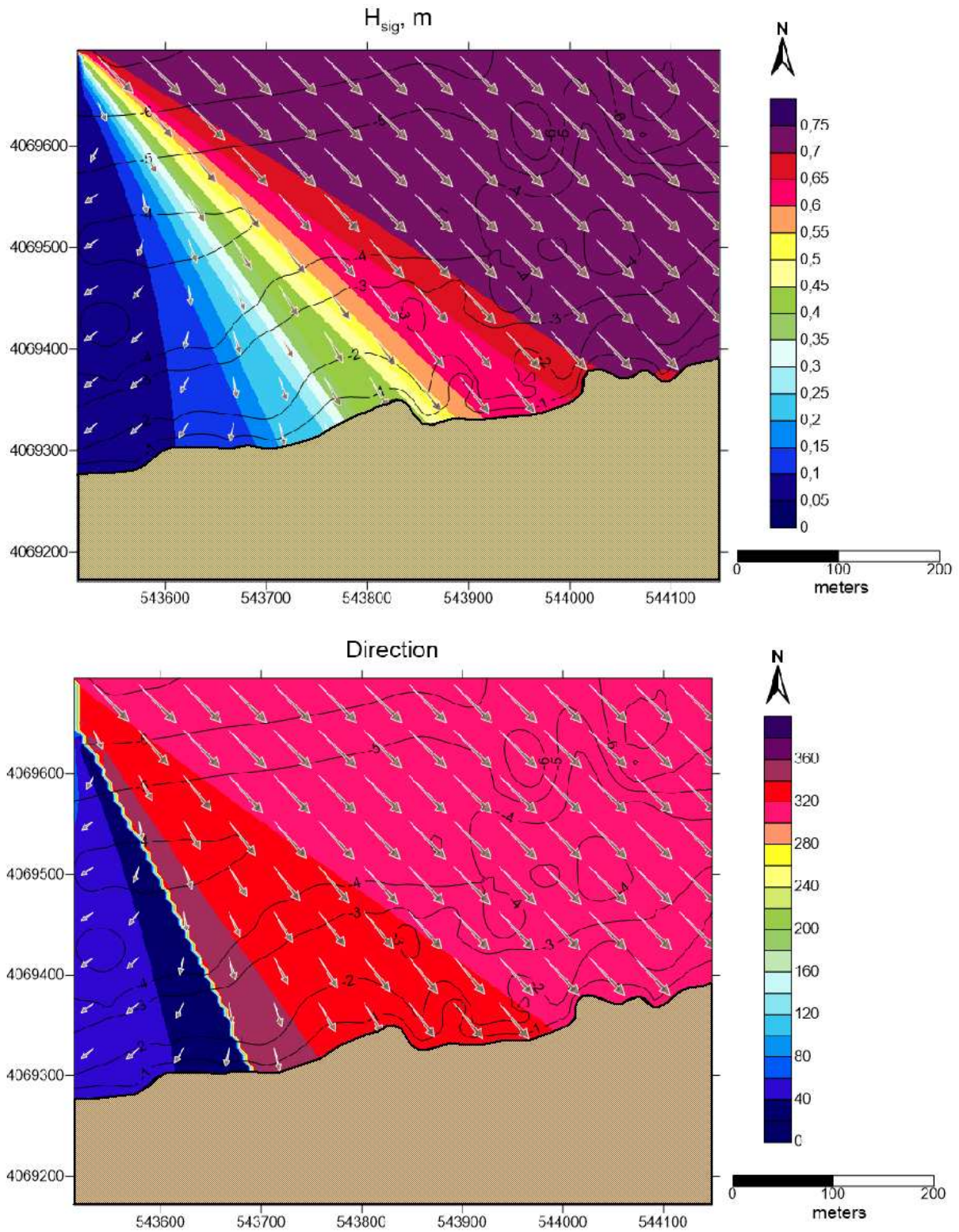


**Figure II.8 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N45° sur le petit domaine

**Run 7**

La hauteur significative Hs 0,72 m,

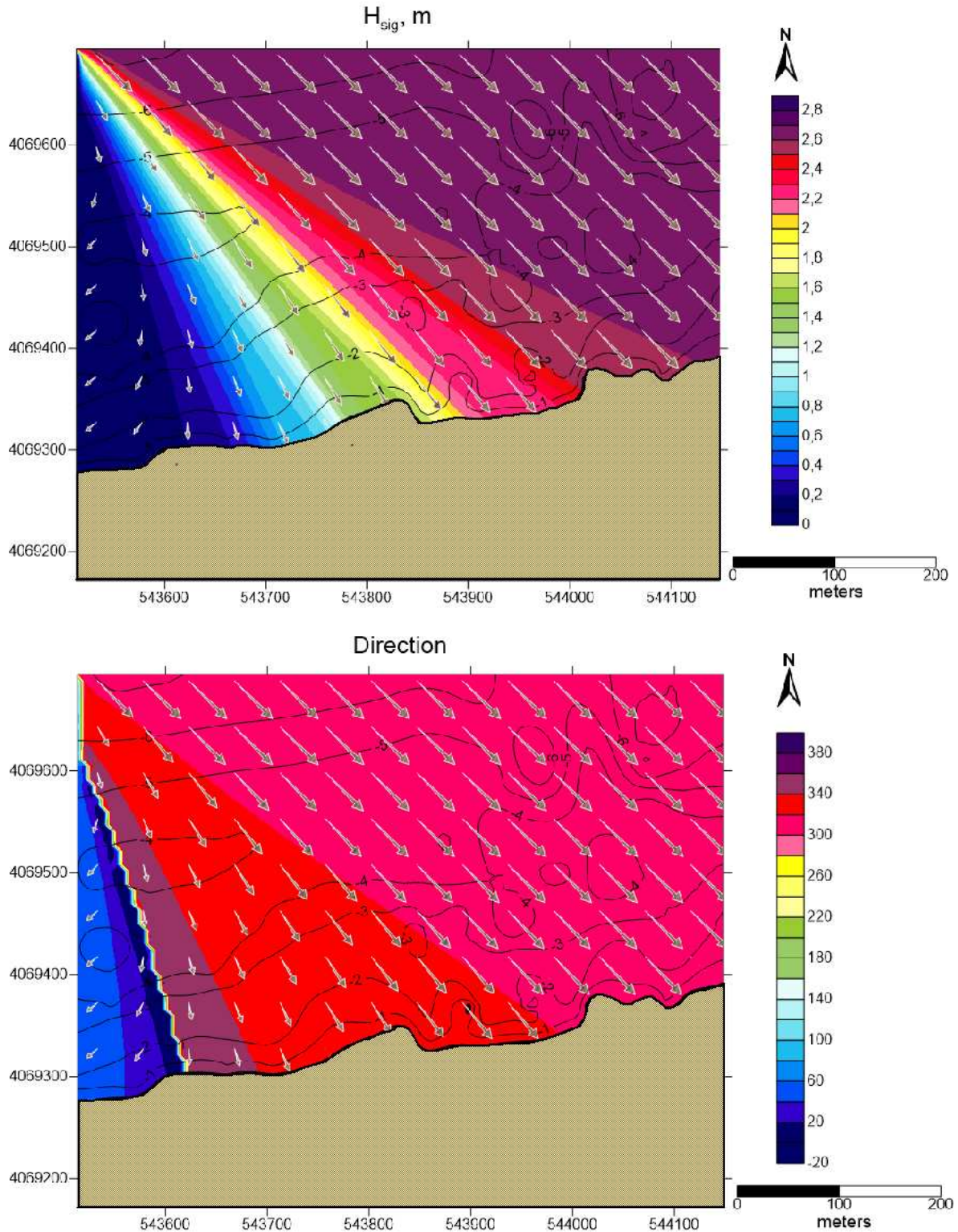
La période de vague 6s.



**Figure II.9 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N315° sur le petit domaine

**Run 8**

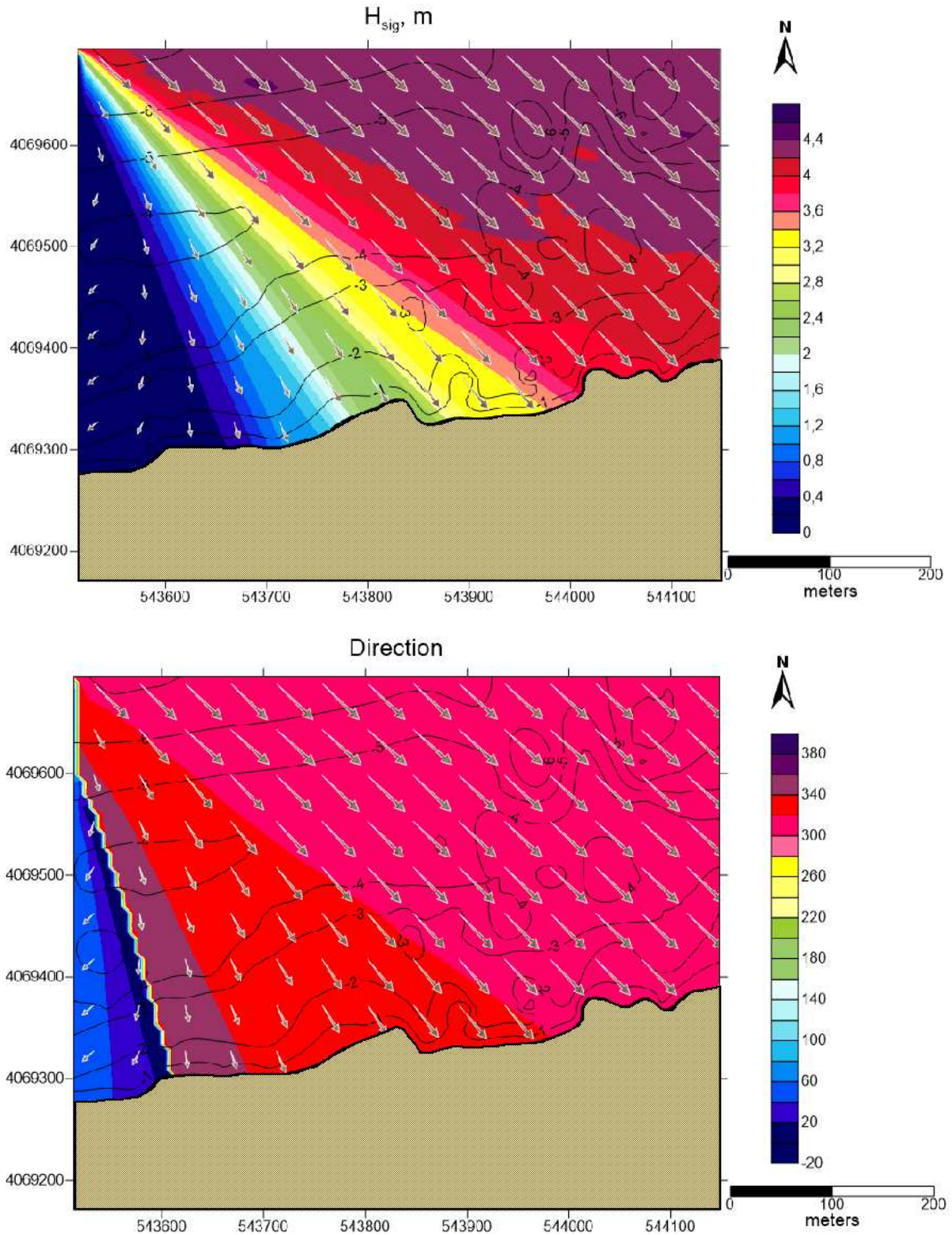
La hauteur significative  $H_s$  2,68 m,  
La période de vague 8s.



**Figure II.10 :** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de N315° sur le petit domaine

**Run 9**

La hauteur significative  $H_s$  4,2 m,  
La période de vague 10s.



**Figure II.11** Simulation de la propagation de la houle et leur direction réalisée avec SWAN pour une houle de  $N315^\circ$  sur le petit domaine

**CHAPITRE III**

**TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ET**

**MORPHODYNAMIQUE**

## CHAPITRE III

### TRANSPORT SÉDIMENTAIRE ET MORPHODYNAMIQUE

#### III.1. TRANSPORT SEDIMENTAIRE SUR LES PLAGES SABLEUSES

De nombreux processus physiques contrôlent le transport sédimentaire. Ce transport sédimentaire dépend de l'intensité et de la structure des courants dans la colonne d'eau. Or comme nous venons de le voir, en zone côtière les variations des vitesses couvrent une gamme d'échelle temporelle très large. Ainsi, les sédiments vont être transportés au gré du mouvement orbital des vagues, des courants moyens (courant de retour sagittal ou de dérive), ou encore des ondes longues. A cela s'ajoute la turbulence induite par le déferlement qui peut favoriser la remise en suspension des sédiments.

#### III.2. MECANISMES DE TRANSPORT SOLIDE

##### III.2.1. Les différents modes de transport

Les résultats décrits dans ce chapitre ont été établis pour des sédiments relativement uniformes, représentés par leur diamètre moyen  $D_{50}$

##### a. Le transport total

Le taux de transport total, noté  $Q_t$ , est classiquement décomposé en une composante  $Q_c$  qui représente le transport par charriage et une composante  $Q_s$  qui représente le transport en suspension :

$$Q_t = Q_c + Q_s \dots \text{(III.1)}$$

Le taux de transport représente le volume de matériaux transportés par unité de temps et par unité de longueur. Il s'exprime en  $m^2/s$  et peut être interprété comme le flux des concentrations, intégré sur la hauteur d'eau.

##### b. Transport par charriage

Le transport par charriage s'effectue dans une sous-couche concentrée près du fond, dont l'épaisseur, notée  $a$ , est typiquement de l'ordre de plusieurs fois le diamètre des particules ( $a \sim ks$ ). Ce mode de transport, qui s'effectue par contacts intermittents avec la surface du lit mobile, est considéré comme dominant pour des particules relativement grossières et des courants modérés.

Les forces exercées par l'écoulement sur les particules sont essentiellement les forces de frottement et de portance. La dissipation d'énergie s'effectue par contacts inter-granulaires (collisions, frottement et pression inter-granulaire...). La vitesse de déplacement des

particules transportées est de l'ordre de grandeur de la vitesse de frottement  $u_*$ , qui caractérise l'écoulement au niveau du fond.

### c. Transport en suspension

#### 1. Hypothèse de scalaire passif

En présence de courants plus intenses, les particules fines sont transportées en suspension dans la colonne d'eau. Les mécanismes de diffusion turbulente permettent de contrebalancer l'effet des forces de gravité. Dans la direction horizontale, on considère en général que les particules suivent l'écoulement moyen et turbulent. Cette hypothèse dite de « scalaire passif » est strictement valable pour des suspensions diluées, dont la concentration volumique  $C$  est inférieure à 1% environ. A l'extérieur de la sous-couche de charriage, on peut donc négliger les processus d'interaction entre l'écoulement turbulent et les particules (effets des collisions, vitesses de chute entravée, stratification...).

#### 2. Equation de transport-diffusion

On est amené dans le cas général, à résoudre une équation de transport-diffusion pour calculer la concentration des sédiments en suspension. Cette équation est identique à celle de la température ou salinité, hormis la prise en compte d'un terme d'advection supplémentaire, qui représente l'effet de la vitesse de chute des sédiments. Elle s'écrit :

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \text{div}\left((\bar{U} + \bar{W}_s)C\right) = \text{div}\left(\gamma_t \cdot \nabla C\right) \dots \text{(III.2)}$$

$U$  étant le champ de vitesses 3D,

$\bar{W}_s = -W_s \bar{Oz}$  le vecteur vitesse de chute dirigée vers le bas,

$\gamma_t$ , le coefficient de diffusivité turbulente des sédiments.

Dans le cas simple d'un écoulement uniforme et permanent, l'équation de transport-diffusion se simplifie ( $\delta/\delta_t = 0, \delta/\delta_x, \delta/\delta_y = 0$ ) et s'intègre une première fois en utilisant une condition de flux nul en surface ( $z=h$ ) pour donner :

$$w_s C = -\gamma_t \frac{\partial C}{\partial z} \dots \text{(III.3)}$$

Cette équation traduit l'équilibre entre le flux de sédiments par diffusion turbulente et la chute par gravité.

#### 3. Profil de Rouse des concentrations

On fait alors l'hypothèse supplémentaire que le coefficient diffusivité turbulente des sédiments est égal au coefficient de viscosité turbulente ( $\gamma_t = \nu_t$ ) et vérifie le profil parabolique. L'équation (III.3) peut s'intégrer analytiquement, en utilisant la condition au fond  $C = C_a$  en  $z = a$ , pour aboutir au résultat suivant :

$$C = C_a \left[ \frac{a(h-z)}{z(h-a)} \right]^R \dots(\text{III.4})$$

La concentration de référence  $C_a$  est définie à la limite de la sous-couche de charriage (typiquement,  $a \sim 2D_{50}$ ) et  $R$ , le nombre de Rouse, est défini par :

$$R = \frac{w_s}{ku_*} \dots(\text{III.5})$$

Le taux de transport en suspension peut ensuite être calculé en intégrant le flux des concentrations sur toute la colonne d'eau, de  $z = a$ , épaisseur de la sous-couche de charriage, jusqu'à la surface libre ( $z = h$ ) :

$$Q_s = \int_a^h C(z)U(z)dz \dots(\text{III.6})$$

$U(z)$  est donné par le profil logarithmique des vitesses

#### 4. Critères d'entraînement

Pour une même valeur du courant, les particules fines sont plus facilement mises en mouvement puis transportées préférentiellement en suspension, tandis que les particules grossières sont transportées par charriage sur le fond.

#### 5. Contrainte critique d'entraînement

La contrainte critique d'entraînement est, par définition, la valeur limite de la contrainte de frottement en deçà de laquelle les particules au repos restent immobiles. La valeur de la contrainte critique augmente avec la taille des particules. Cette propriété est mise en évidence sur le diagramme de Shields. La contrainte critique d'entraînement, noté  $\theta_{cr}$ , varie en fonction du nombre de Reynolds particulaire  $Re$ , défini par :

$$Re = u_* D_{50} / \nu \dots(\text{III.7})$$

$u_*$  étant la vitesse de frottement et  $\nu$ , la viscosité du fluide.

Le nombre de Shields critique est approximativement constant ( $\theta_{cr} \sim 0.05$ ) ; la contrainte critique d'entraînement augmente donc linéairement avec le diamètre des particules. Le paramètre de Shields critique peut aussi être relié au diamètre adimensionnel  $D_*$ . On peut utiliser par exemple une formule proposée par Soulsby (1997) et recommandée pour des particules fines :

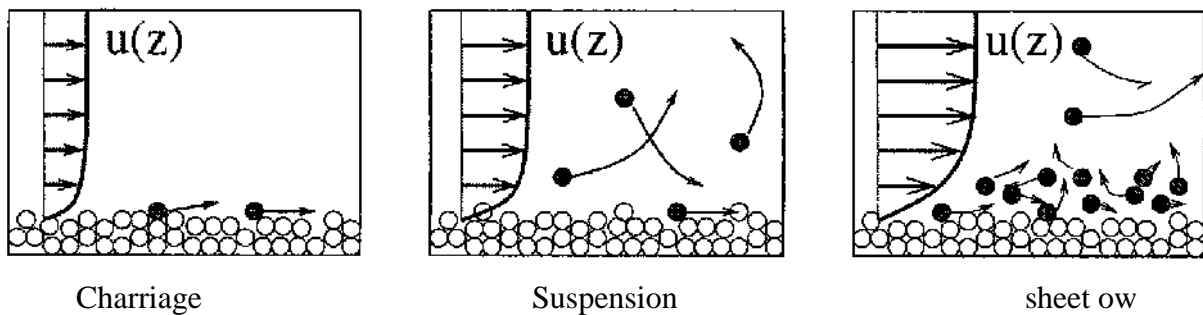
$$\theta_{cr} = \frac{0.30}{1 + 1.2D_*} + 0.055[1 - \exp(-0.020D_*)] \dots(\text{III.8})$$

6. Critère de mise en suspension

Le critère de mise en suspension fait intervenir la vitesse de chute des particules élémentaires,  $W_s$ . On considère que le transport en suspension devient possible, lorsque la vitesse de chute des particules est de l'ordre de grandeur ou inférieure à celle des fluctuations turbulentes. Le critère retenu est le suivant :

$$W_s < 0.8u_* \dots (III.9)$$

D'après Laursen (1958), les matériaux sont transportés en suspension seulement pour  $u_*/W_s > 10$ . Les matériaux sont transportés par charriage seulement pour  $u_*/W_s < 0.4$ . Entre ces deux valeurs, le transport s'effectue à la fois par charriage et en suspension. Dans le cas des plages sableuses, on s'attardera uniquement sur les processus physiques affectant le transport des sédiments non-cohésifs. On distingue trois modes de transport sédimentaire : le transport par charriage, par suspension, et par "sheet ow". La Figure III.1 montre une schématisation de ces trois modes de transport d'après Fredsoe and Deigaard (1994).



**Figure III.1** : Les trois modes de transport sédimentaire (Camenen, 2002) d'après Fredsoe and Deigaard (1994) : transport par charriage, transport par suspension, transport par "sheet ow"

Tout d'abord, les grains de sable peuvent être transportés par le courant en glissant sur le fond, en roulant ou encore en faisant des petits "sauts". Dans ce mode de transport, les sédiments sont en contact avec le fond (sauf pour de très courtes durées pendant le "saut"). Ce mode de transport sédimentaire est appelé transport par charriage. Sur les plages sableuses, ce mode sera favorisé par la présence de conditions peu énergétiques et/ou de sédiments grossiers.

Les sédiments peuvent être aussi arrachés du fond (par turbulence ou par la présence d'un courant suffisamment intense), les grains de sable sont advectés par l'écoulement et sont transportés dans la colonne d'eau. Lors de ce transport par suspension, le sédiment ne touche plus le fond pendant de longues périodes. Ce mode est favorisé par la présence de conditions énergétiques et de sédiments fins. Le dernier mode de transport est le transport par "sheet ow". On observe ce mode de transport en présence de courants intenses et de sédiments relativement grossiers. Les sédiments au fond sont soumis à de très fortes contraintes et se

déplacent à l'intérieure d'une couche très fine (de l'ordre de quelques diamètres de sable) de manière désorganisée.

### **III.3. TRANSPORT SEDIMENTAIRE SOUS L'ACTION DE LA HOULE DEFERLANTE ET LES COURANTS ENGENDRES**

#### **III.3.1. Transport sédimentaire sous l'action de la houle**

La détermination du climat de la houle requiert une estimation du transport sédimentaire littoral induit par les différentes catégories de houle.

Selon la vitesse et la direction de la houle, les courants générés par celle-ci auront un effet destructif ou constructif vis-à-vis de la plage (Gerrard, 1999). L'effet de la houle sera d'autant plus important sur la mobilité du sédiment au fond que la période et l'amplitude sont plus grande et que les fonds sont plus élevés. Les houles provoquent des transports :

- perpendiculairement à la ligne de rivage, provoqué par le frottement des vagues sur le fond, le jet de rive et la nappe de retrait dans la zone de déferlement. En période d'été, il se forme des accumulations en haut de plage, tandis qu'en hiver l'entraînement des sédiments se fait vers la plage avec une érosion de la plage et engraissement des barres pré littorales.
- Parallèlement au rivage : résulte du courant de dérive littorale, des sédiments sont arrachés en bas de plage et remontes lors du déferlement dans la direction de propagation de la houle. Le jet de retour qui suit le déferlement redescend le sable suivant la plus grande pente, perpendiculairement à la ligne de rivage. IL en résulte un mouvement en zigzag des sédiments, créant un déplacement sédimentaire le long du littoral.

#### **III.3.2. Transport sédimentaire sous l'action des courants engendrés**

Lorsque l'incidence de la houle est oblique, les vagues induisent un courant de dérive. Ce courant contribue donc au transit sédimentaire en déplaçant des volumes importants de sédiments d'un endroit à un autre le long de la côte, que l'on appelle "dérive littorale". Cette dérive littorale contrôle ainsi les apports sédimentaires le long de la côte.

Le courant de retour peut également induire un intense transport sédimentaire vers le large en particulier pendant les épisodes de tempête. Il peut ainsi exposer la plage à l'érosion et provoquer des mouvements importants des barres sédimentaires perpendiculairement à la côte. Les courants sagittaux peuvent transporter une grande quantité de sédiments loin au large. La zone où ce courant agit étant étroite, le courant sagittal contribue à couper les barres sédimentaires et donc aux instabilités des bancs de sable le long de la côte. Ce système de courants va alors contribuer à des échanges sédimentaires importants entre la zone de déferlement et la plage sous-marine.

### **III.4. VALIDATION DES FORMULES DE TRANSPORT LONGITUDINAL**

En géomorphologie et/ou en ingénierie côtière, la quantification du transit littoral est très souvent utile pour la compréhension et la quantification des déplacements sédimentaires à macro-échelle dans le système des cellules littorales (Kumar et al., 2000) ou dans des perspectives de modélisations simples d'évolution du rivage (Komar, 1998). Pouvoir quantifier les transits longitudinaux est fondamental, mais il existe un grand nombre de formules empiriques, qui contiennent toutes un coefficient empirique d'ajustement (K). Nous avons donc choisi de mener une étude comparative des formules les plus couramment utilisées pour le calcul du transport dans notre zone d'étude.

Les travaux expérimentaux restent encore cependant nécessaires pour intégrer les forçages locaux. Par exemple, les mesures des vitesses de courants saisonniers ont révélé des variations importantes du transport longshore le long des côtes indiennes (Kumar et al., 2000). Les auteurs démontrent que les formules de vitesse du courant surestiment les mesures de 6,5 à 32 %. Schoonees et Theron (1996) ont réalisé une étude statistique à partir de la formule de Kamphuis (1991), en utilisant plusieurs données antérieures et en différenciant les plages exposées aux houles avec des granulométries inférieures à 1 mm et des plages abritées à granulométrie plus grossière. Récemment, Miller (1999) a validé « l'ancienne » formule de Inman et Bagnold (1963) pour calculer le transit longitudinal pendant les tempêtes sur une côte à barres de l'Atlantique. En Méditerranée, certaines formules de transport ont été proposées par Jimenez et Sanchez-Arcilla (1993), mais leur validation ne repose sur aucune mesure in situ. La validation des formules de transport existantes demeure donc toujours d'actualité compte tenu des lacunes existantes et des différences géomorphologiques des sites étudiés.

#### **III.4.1. QUANTIFICATION DU DEBIT SOLIDE DU LITTORAL DE BOUMERDES**

##### **III.4.1.1 Calcul du débit solide par la méthode de Kamphuis (1991)**

Cette formule était obtenue après le développement de celle de 1986 du même auteur, qui traduit le transit sédimentaire parallèle à la côte.

Particularités : Distinction entre le transport par charriage et en suspension. Les résultats de l'expérience reflètent deux pics de distribution du transport, l'un dans la zone de déferlement provenant exclusivement du transport par charriage, et l'autre sur la ligne du déferlement provenant du couplage des transports par charriage et en suspension.

$$S = 2.27(H_{br})^2 (T)^{1.5} (\beta)^{0.75} (d)^{-0.25} (\sin 2\alpha_0)^{0.6} \dots \text{ (III.10)}$$

Avec : S : débit solide (m<sup>3</sup>/an)  
 H<sub>br</sub> : hauteur de la houle au déferlement (m).  
 T : période de la houle (s).  
 β : pente de la plage (°).  
 d : diamètre moyen du grain (m).  
 α<sub>0</sub> : angle d'incidence de la houle (°).

Le transport sédimentaire est ici exprimé en (m<sup>3</sup>) de sédiments immergés par an. Le transport est proportionnel au carré de la hauteur de la houle et dépend plus de la pente de la plage que de la taille des grains. Kamphuis a introduit la puissance 0.6 sur les sinus afin de modéliser l'interaction entre la houle et le courant que l'on néglige dans les approches énergétiques classiques.

**Les résultats obtenus**

Ces résultats sont regroupés dans le tableau III.2 et III.3.

Ces tableaux donnent un transport sédimentaire total vers l'Ouest de l'ordre de 389370 m<sup>3</sup>/an, un transport brut vers l'Est qui est d'environ 52064 m<sup>3</sup>/an et un transport résultant total vers l'Ouest qui est d'environ de 337306 m<sup>3</sup>/an. Nous remarquons que le transit sédimentaire prédominant est provoqué par les houles du secteur Ouest, Ouest-Nord-Ouest avec des volumes respectifs de l'ordre de 75740 m<sup>3</sup>/an, 84002 m<sup>3</sup>/an. Secteur Nord-Est d'environ 9033 m<sup>3</sup>/an.

**Tableau III.1** : Transit littoral en fonction de  $\theta_{br}$ , Hbr et selon kamphuis.

Ho = 1.2m T = 6s			Ho = 2.2m T = 8s			Ho = 3m T = 9s			Ho =4.5m T =11s		
$\Theta_{br}$ (°)	Hbr (m)	S (m <sup>3</sup> /an)	$\Theta_{br}$ (°)	Hbr (m)	S (m <sup>3</sup> /an)	$\Theta_{br}$ (°)	Hbr (m)	S (m <sup>3</sup> /an)	$\theta_{br}$ (°)	Hbr (m)	S (m <sup>3</sup> /an)
-2	1.30	-38221	-2	2.38	-197553	-2	4.91	-434878	-2	7.36	-434878
-6	1.29	-78719	-6	2.36	-405993	-7	3.18	-895725	-7	4.77	-2722076
-10	1.27	-101913	-11	2.31	-525655	-11	3.12	-1159886	-11	4.67	-3524890
-14	1.23	-113129	-14	2.23	-583544	-15	3.01	-1285271	-15	4.51	-3906005
17	1.16	-113064	17	2.12	-584450	18	2.86	-1287373	18	4.28	-3912411
20	1.07	-102781	20	2.96	-530204	20	2.64	1170204	20	3.96	-3556312
21	0.95	-83179	21	1.74	-429007	21	2.35	-946555	22	3.52	-2876561
20	0.79	-55948	20	1.44	-288441	21	1.93	-634455	21	2.89	-1927995
17	0.53	-22908	17	0.86	-11803	18	1.29	-259066	18	1.94	-789419
16	0.44	15696	16	0.84	80840	16	1.09	177891	16	1.64	540495
20	0.74	49653	20	1.35	256603	21	1.83	564238	21	2.74	1714583
21	0.93	78354	21	1.69	404082	22	2.27	889590	22	3.41	2703439
20	1.05	99560	20	1.92	513578	21	2.59	1133468	21	3.88	3444659
18	1.15	111887	18	2.99	577179	19	2.82	1273905	19	4.23	3871470
15	1.21	113905	15	2.21	587572	16	2.99	1296758	16	4.48	3940902
11	1.26	104995	11	2.29	545572	12	3.10	1195079	12	4.64	3631858
7	1.29	84400	7	2.35	435301	7	3.17	960425	7	4.75	2918707

**Tableau III.2 : Transit littoral total selon la formule de Kamphuis (1991)**

Direction de compas.	$\Theta_0$ (°)	T = 6s S (m <sup>3</sup> /an)	T = 8s S (m <sup>3</sup> /an)	T = 9s S (m <sup>3</sup> /an)	T = 11s S (m <sup>3</sup> /an)	Total (m <sup>3</sup> /an)
260°	-40°	-5447	-8673	-4648	-3174	-21942
270°	-14°	-11218	-17824	-9584	-19871	-58497
260°	-24°	-14523	-23076	-12410	-25731	-75740
290°	-34°	-16121	-25616	-13752	-28973	-84002
300°	-44°	-7463	-13560	-11328	-14475	-46826
310°	-54°	-6784	-12300	-10297	-13158	-42539
320°	-64°	-5490	-9952	-8329	-10643	-34414
330°	-74°	-3693	-6692	-5583	-7133	-23101
340°	-84°	-1512	-274	-129	-394	-2309
350°	86°	518	485	88	270	1361
360°	76°	1639	1539	282	514	3974
10°	66°	2585	2424	445	811	6265
20°	56°	3285	2208	1020	1033	7546
30°	46°	4083	2481	1146	1161	8871
40°	36°	4157	2527	1167	1182	9033
50°	26°	3832	2328	1075	1089	8324
60°	16°	3080	1871	864	875	6690

#### III.4.1.2. Calcul de débit solide par la formule de Bijker (1971)

Une des premières formulations du transport des sédiments qui est encore souvent utilisé dans les applications d'ingénierie a été proposée par Bijker (1971). Elle est dérivée de la formule de Frijlink (1952) qui tient en compte que de l'action du courant, avec une modification de la base de cisaillement en utilisant un modèle de vagues-courant. La direction du flux sédimentaire est toujours celle de courant étant donné que cette formule a été proposée pour estimer les taux du transit sédimentaire littoral (longshore).

$$q_{sb} = C_b d \sqrt{\frac{\mu_c \tau_c}{\rho}} \exp\left(-0.27 \frac{(\rho_s - \rho) g d}{\mu_c \tau_{cw}}\right) \dots \text{(III.11)}$$

$$q_{ss} = 1.83 q_{sb} \left( I_1 \ln \left[ \frac{33h}{\delta_c} \right] + I_2 \right) \dots \text{(III.12)}$$

Où  $q_{sb}$  : transport sédimentaire par charriage,  $q_{ss}$  transport sédimentaire en suspension,  $d$  la taille du grain moyen,  $h$  la profondeur d'eau,  $C_b$  paramètre de la vague déferlante,  $\mu_c$  paramètres des rides marines (ripple marks),  $\tau_c$  paramètre de cisaillement dû au courant,  $\tau_{cw}$  paramètre de cisaillement dû à l'interaction vague-courant,  $\rho_s$  densité des sédiment,  $\rho$  densité de l'eau,  $I_1$ ,  $I_2$  Einstein intégral et  $\delta_c = 100d/h$  épaisseur de la couche de charriage.

Les paramètres des ondulations introduits par Bijker, sont définis par l'équation suivante :

$$\mu_c = \left( \frac{f_{ct}}{f_c} \right)^{3/2} \dots \text{(III.13)}$$

$f_{ct}$  est le coefficient de frottement total dû au courant et  $f_c$  est le coefficient de frottement superficiel dû au courant. Le coefficient de la vague déferlante est défini par :

$$\begin{aligned} C_b &= 2 && \text{if } H_w / h < 0.05 \\ &= 2 + 3(H_w / h - 0.05) && \text{if } 0.05 < H_w / h < 0.4 \\ &= 5 && \text{if } 0.4 < H_w / h \end{aligned}$$

Où  $H_w$  est la hauteur de la vague et  $h$  la profondeur d'eau. Le paramètre de cisaillement dû à l'interaction vague-courant est calculé suivant la méthode proposée par Bijker introduisant le

facteur de suspension suivant :  $\tau_{cw} = \left[ 1 + 0.5 \left( \xi_B \frac{U_w}{U} \right)^2 \right] \tau_{cf} \dots \text{(III.14)}$

Avec  $\xi_B = \sqrt{f_{wt} / f_{ct}}$  paramètre due à l'interaction vague-courant,  $f_{wt}$  le coefficient de frottement total dû au vague,  $U_w$  la valeur maximale de la vitesse orbitale de la vague,  $U_c$  est la vitesse moyenne du courant. Einstein intégral pour le transit en suspension est obtenu par :

$$I_1 = \int_{\delta}^1 \left( \frac{1-y}{y} \right)^A dy \dots \text{(III.15)}$$

$$I = \int_{\delta}^1 \left( \frac{1-y}{y} \right)^A \ln y dy \dots \text{(III.16)}$$

**Tableau III.3** : Transit littoral selon Bijker.

Ho = 1.2m T = 6s			Ho = 2.2m T = 8s			Ho = 3m T = 9s			Ho = 4.5m T = 11s		
θ <sub>br</sub> (°)	H <sub>br</sub> (m)	S (m <sup>3</sup> /s) 10 <sup>-6</sup>	θ <sub>br</sub> (°)	H <sub>br</sub> (m)	S (m <sup>3</sup> /s) 10 <sup>-6</sup>	θ <sub>br</sub> (°)	H <sub>br</sub> (m)	S (m <sup>3</sup> /s) 10 <sup>-6</sup>	θ <sub>br</sub> (°)	H <sub>br</sub> (m)	S (m <sup>3</sup> /s) 10 <sup>-6</sup>
-2	1.30	-1155	-2	2.38	-6502	-2	4.19	-13889	-2	7.36	-14039
-6	1.29	-2497	-6	2.36	-13073	-7	3.18	-28513	-7	4.73	-86556
-10	1.27	-3181	-11	2.31	-16868	-11	3.12	-36899	-11	4.67	-112033
-14	1.23	-3587	-14	2.23	-18704	-15	3.01	-40885	-15	4.51	-124158
-17	1.16	-3535	-17	2.12	-18782	-18	2.86	-40972	-18	4.28	-124311
-20	1.07	-3259	-20	1.96	-17012	-20	2.64	-37266	-20	3.96	-113019
-21	0.95	-2587	-21	1.74	-13813	-21	2.35	-30185	-22	3.52	-91385
-20	0.79	-1774	-20	1.44	-9296	-21	1.93	-20318	-21	2.89	-61356
-17	0.53	-716	-17	0.96	-494	-18	1.29	-8424	-18	1.94	-25232
16	0.44	432	16	0.84	2763	16	1.09	5840	16	1.64	17288
20	0.74	1574	20	1.55	8336	21	1.83	18051	21	2.74	54529
21	0.93	2408	21	1.69	13063	22	2.27	28358	22	3.45	85885
20	1.05	3057	20	1.92	16435	21	2.59	36122	21	3.88	109429
18	1.15	3500	18	3.99	18502	19	2.82	40520	19	4.23	12286
15	1.21	3456	15	2.91	18831	16	2.99	41299	16	4.48	125085
11	1,26	3234	11	2.29	17373	12	3.10	38035	12	4.64	115165
7	1.29	1035	7	2.35	13953	7	3.17	30614	7	4,75	92701

**Tableau III.4** : Transit littoral selon la formule de Bijker.

Direction de compas (°)	θ° (°)	T = 6s 10 <sup>-6</sup>	T = 8s 10 <sup>-6</sup>	T = 9s 10 <sup>-6</sup>	T = 11s 10 <sup>-6</sup>	Total 10 <sup>-6</sup>
260	-4	-164.12	-285.42	-148.06	-102.49	-700.09
270	-14	-355.23	-573.07	-305.18	-631.86	-1865.34
280	-24	-453.37	-740.16	-394.21	-817.84	-1605.58
290	-34	-511.08	-821.16	-437.08	-906.35	-2675.67
300	-44	-233.11	-435.42	-360.13	-459.95	-1488.69
310	-54	-215.13	-394.33	-327.12	-415.17	-1351.75
320	-64	-170.02	-320.91	-265.01	-338.12	-1094.06
330	-74	-177.81	-215.42	-178.02	-266.87	-838.12
340	-84	-47.13	-3.37	-4.21	-12.61	-67.32
350	86	14.22	17.81	0.12	5.45	37.6
360	76	52.17	50.06	9.02	27.26	138.51
10	66	79.16	78.12	14.17	42.94	214.39
20	56	111.21	71.09	32.50	32.82	247.62
30	46	127.06	79.13	36.46	36.85	279.51
40	36	126.07	80.12	37.16	37.52	280.87
50	26	118.01	74.24	34.23	34.54	261.02
60	16	37.20	59031	27.55	27.81	151.47

Avec  $A = W_s / k(\tau_{cw} / \rho)^{0.5}$  est une fonction qui détermine le taux du transport en suspension,  $k = 0.41$  est la constante de Von Karman et  $W_s$  est la vitesse des sédiments

**Résultats obtenus** : L'analyse de ces tableaux (III.4 et III.5) montre que la direction du transit sédimentaire dominant dans la région de Boumerdès, se fait d'Est vers l'Ouest avec un débit solide net d'environ  $10075.10 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  ( $317725 \text{ m}^3/\text{an}$ ). Ce transport se répartit en un transport brut vers l'Ouest d'environ de  $368546 \text{ m}^3/\text{an}$  et un transport brut vers l'Est de l'ordre de  $50804 \text{ m}^3/\text{an}$ . Les courants associés à ces houles ont des vitesses moyennes qui varient entre 0.5m/s et 1.2m/s et charrient des cubatures de sédiments plus importantes dans le sens des houles les plus dominantes.

#### III.4.1.3. Calcul du débit solide par la méthode de CERC (1984)

La formule du CERC [1984] est la plus utilisée à travers le monde. Sa définition originale provient des travaux d'Inman et Komar [1970] à partir de traceurs fluorescents. Cette formule s'appuie sur la composante énergétique des vagues en relation avec l'incidence des houles déferlantes avec le rivage.

$$Q = K \cdot \frac{\rho \sqrt{g}}{16 \sqrt{\gamma} (\rho_s - \rho) (1-n)} H_b^{5/2} \cdot \sin 2\alpha_b \dots \text{ (III.17)}$$

$Q$  = transport longitudinal en  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$

$n$  = facteur de porosité (0,4)

$K = 0,39$  (CERC, 1984) ;  $0,375$  (Amin et Davidson-Arnott, 1997),  $0,31$  (Stone *et al.*, 1992),  $0,21$  moyen avec  $0,17 < K < 0,27$  (Caviglia *et al.*, 1991)

$K = 1,4 e^{(-2,5 D^{50})}$  (Del Valle *et al.*, 1993 dans CEM, 1998).

La hauteur au déferlement ( $H_b$ ) est calculée à partir de la formule de Goda (1970) récemment validée et améliorée par Rattanapitikon et Shibayama (2000) :

$$H_b = 0,17L_0 \left\{ 1 - \exp \left[ \frac{\pi d_b}{L_0} \cdot K \right] \right\}$$

$$K = 16,21 \tan \beta^2 - 7,07 \tan \beta - 1,55$$

Les valeurs calculées sont interprétées en termes de transport et de bilan sédimentaire potentiel. Les dynamiques à moyen terme, c'est à dire le transport annuel résultant et son interprétation en termes de bilan sédimentaire, sont effectuées de la manière suivante.

**Résultats obtenus :** Il ressort de l'analyse des tableaux III.6 et III.7, que la direction dominante du transit sédimentaire dans la région de Boumerdès, s'effectue d'Est en Ouest avec un volume de matériaux déplacé vers l'Ouest de l'ordre de 3002647 m<sup>3</sup>/an. Ce transport se répartit en un transport brut vers l'Ouest d'environ 3054266 m<sup>3</sup>/an et un transport brut vers l'Est de l'ordre de 51619 m<sup>3</sup>/an. Le transport sédimentaire le plus important, s'effectue vers l'Est, est provoqué essentiellement par les houles de secteur Ouest (280° - 290°). Des volumes charriés associées à ces houles sont de l'ordre de 632408 m<sup>3</sup>/an et 563235 m<sup>3</sup>/an. La cubature des sédiments charriés vers l'Ouest sont dus aux houles du secteur Nord (50°, 60°). Cette valeur du transit littoral net reste élevée et ne représente pas les quantités réelles qui transitent le long de la zone. La raison en est que la valeur de la constante K utilisée reste trop élevée, ne convient pas à la morphologie de la zone d'étude

**Tableau VI.5 :** Transit littoral selon la formule de CERC (1984).

Direction de compas (°).	$\theta^\circ$ (°)	T = 6s Qt (m <sup>3</sup> /an)	T = 8s Qt (m <sup>3</sup> /an)	T = 9s Qt (m <sup>3</sup> /an)	T = 11s Qt (m <sup>3</sup> /an)	Total
260	-4	-2677	-3714	-1901	-3683	-11979
270	-14	-8941	-12521	-6445	-12303	-40224
280	-24	-14027	-19642	-10268	-19302	-63263
290	-34	-1710	-24059	-12696	-2386	-40885
300	-44	-8418	-13327	-10946	-12681	-45416
310	-54	-771	-12331	-10035	-11625	-34816
320	-64	-6039	-9653	-7858	-9103	-32717
330	-74	-3690	-5900	-4850	-5619	-20133
340	-84	-596	-493	-891	-243	-2307
350	86	368	305	54	150	963
360	76	1603	1313	237	653	3882
10	66	2794	2310	417	1149	6736
20	56	3725	3079	550	1517	8927
30	46	461	2470	1109	1018	5104
40	36	4514	2417	1085	996	9048
50	26	3810	2040	1005	841	7722
60	16	2585	1384	621	570	5176

**Tableau III.6** : Transit littoral en fonction de  $\theta_{br}$ ,  $H_{br}$  et selon CERC (1984).

<b>Ho = 1.2 T = 6s</b>			<b>Ho =2.2 T = 8s</b>			<b>Ho = 3 T = 9s</b>			<b>Ho = 11.5 T = 11s</b>		
$\theta_{br}$ (°)	$H_{br}$ (m)	Qt (m <sup>3</sup> /an)	$\theta_{br}$ (°)	$H_{br}$ (m)	Qt (m <sup>3</sup> /an)	$\theta_{br}$ (°)	$H_{br}$ (m)	Qt (m <sup>3</sup> /an)	$\theta_{br}$ (°)	$H_{br}$ (m)	Qt (m <sup>3</sup> /an)
-2	1.30	-18786	-2	2.38	-84601.4	-2	3.09	-177664	-2	4.80	-504521
-6	1.29	-62743.9	-6	1.29	-285216	-7	3.18	-602336	-7	4.74	-1685342
-10	1.27	-98435.1	-11	1.27	-447426	-11	3.12	-959626	-11	4.64	-2644110
-14	1.23	-12000	-14	2.29	-548041	-15	3.01	-1186542	-15	4.51	-326849
-17	1.16	-127545	-17	2.12	-574440	-18	2.86	-1243864	-18	2.28	-3427297
-20	1.07	-11681.8	-20	1.96	-531509	-20	2.64	-1140341	20	3.96	-3141892
-21	0.96	-91500	-21	1.74	-416078	-21	2.35	-892955	22	3.52	-2460270
-20	0.79	-55909.1	-20	1.44	-254310	-21	1.93	-551136	21	2.89	-1518649
-17	0.53	-18060.6	-17	0.96	-82166.7	-18	1.29	-1782000	18	1.94	-486000
16	0.44	11151.52	16	0.81	50833.33	16	1.09	108000	16	1.64	300000
20	0.74	48575.76	20	1.36	218833.3	21	1.83	474000	21	2.74	1306000
21	0.93	84666.67	21	1.69	385000	22	2.27	834000	22	3.41	2298000
20	1.05	112878.8	20	1.92	513166.7	21	2.59	1100000	21	3.88	3034000
18	1.15	12630.14	18	2.09	411666.7	19	2.82	2218000	19	4.23	2036000
15	1.21	123671.2	15	2.21	562093	16	2.99	1205556	16	4.48	3320000
11	1.26	104383.6	11	2.29	474418.6	12	3.10	1116667	11	4.64	2803333
7	1.29	70821.92	7	2.35	321860.5	7	3.17	690000	7	4.75	1900000

#### III.4.1.4. Comparaison des résultats obtenus par les trois (03) formules

L'étude comparative des résultats du transit sédimentaire obtenus dans la région de Boumerdès, selon les trois formules, sont représentés dans le tableau suivant.

**Tableau III.7** : Comparaison des volumes obtenus d'après les trois formules.

<b>Formules empiriques</b>	<b>Volumes (m<sup>3</sup>/an)</b>	<b>Direction des transits.</b>
Kamphuis	337306	Est vers Ouest
Bijker	317725	Est vers Ouest
CERC	3002647	Est vers Ouest

L'étude comparative de l'estimation du transit sédimentaire selon la formule de Kamphuis, Bijker et celle de CERC donne un ordre de grandeur très rapproché qui peut être pris comme quantités réelles qui transitent le long de la côte de Boumerdès. Du fait que ces trois formules sont basés sur les paramètres les plus importants dans un transport sédimentaire (caractéristiques de la houle, vitesse du courant littoral, la taille du grain et la pente de la plage). Les formules des Kamphuis, de Bijker et CERC de surestiment systématiquement le transport sédimentaire dans la côte de Boumerdès. Pour bien quantifier ce transit, il faut déployer une instrumentation lourde et coûteuse (traceurs radioactifs ou des pièges à sédiments) et procéder par la suite à une comparaison entre débit calculé et mesuré.

**CHAPITRE IV**  
**TRANSPORT EOLIEN DANS LE SYSTEME DUNE-  
PLAGE**

## CHAPITRE IV

### TRANSPORT EOLIEN DANS LE SYSTEME DUNE-PLAGE

#### INTRODUCTION

L'évaluation des quantités de sables transportées et l'intensité du transport éolien sont des données primordiales pour comprendre et quantifier les échanges sableux qui ont lieu à l'interface dune-plage.

Depuis une vingtaine d'années, un certain nombre d'études expérimentales ont également été menées sur la dynamique éolienne, en particulier sur les conditions de vent (vitesse, direction) favorables au transport du sable à l'interface plage-dune bordière. En effet, les échanges de sable entre ces unités représentent un élément central de la stabilité des dunes bordières. Ces différentes mesures ont permis de montrer la grande gamme de conditions environnementales qui entrent en jeu dans les processus de mobilisation des sables et l'extrême variabilité des conditions de transport éolien réel, très loin des prédictions fournies par certains modèles semi-empiriques, basés sur les formulations, entre autres, de Bagnold (1941), Kawamura (1964) et Lettau et Lettau (1978).

Les mesures du transit sableux par piégeage in situ, dans la plage de Boumerdès, ont pour objectif de :

1. quantifier le transit sédimentaire qui sera réalisé avec des pièges à sables, simultanément avec la mesure des paramètres dynamiques et météorologiques (direction et vitesse du vent).
2. déterminer les seuils de mise en mouvement des sables.
3. valider et vérifier quelques formules de transport existantes pour déterminer celles qui pourraient être utilisables pour calculer le transport éolien sur le littoral des trois sites d'étude.

Cette démarche a été fréquemment appliquée sur plusieurs littoraux dans le monde (Pedreros, 2000, Sabatier et al., 2002), mais pas encore sur un littoral algérien. Avant de présenter les résultats de nos travaux, nous effectuons une synthèse bibliographique sur les mécanismes de transport éolien.

#### IV.1. FORMULES THEORIQUES ET SEMI-EMPIRIQUES DU TRANSPORT EOLIEN

Plusieurs formules de prévision de la quantité du transport de sable par le vent ont été obtenues théoriquement et expérimentalement par les chercheurs depuis 50 ans, soit en modèles réduits (souffleries) soit à partir de mesures in situ. Ces formules peuvent prévoir le

transport avec un degré d'exactitude raisonnable si le coefficient empirique est bien déterminé. Plusieurs travaux concernant le taux du transport de sable ont été présentés par Horikawa et Shen, (1960), Nakamura, (1971), Phillips et Willettes, (1978), Hsu, (1974), Pye et Tsoar, (1990), Bretel, (1995), Sherman et Bauer, (1996), Hotta et Kraus (1986) ont fait récemment d'autres recherches sur le même sujet, en résumant toutes les formules prédictives et les données qui ont été utilisées pour les vérifier.

Ces formules ont été testées à plusieurs reprises dans différents endroits (Chaibi, 1999 à l'Espiguette, Sabatier, 2001 en camargue, Pedreros, 2000, à la Girond, Vanhee, 2002, dans la côte d'Opale,...)

*1. La formule de Bagnold (1936)*

Cette formule repose sur des mesures en laboratoire est la première à utiliser la vitesse de cisaillement. Elle présente l'intérêt de tenir compte de la granulométrie et du classement des sédiments, exprimés par un coefficient K.

$$Q = K \cdot \left( \frac{D_{50}}{D} \right)^{0.5} \frac{\rho_a}{g} \cdot u_*^3 \dots \text{(IV.1)}$$

K = 1,5 sable homogènes, 1,8 sables bien classés, 2,5 sables mal classés.

D = diamètre d'un grain moyen standard (0,250 mm).

*1- Formule de Zingg (1953) :*

$$Q = K \cdot \left( \frac{D_{50}}{D} \right)^{0.75} \frac{\rho_a}{g} \cdot u_*^3 \dots \text{(IV.2)}$$

K = 0,83

Cette formule est similaire à celle de Bagnold en donnant plus d'importance à la granulométrie. Elle a été obtenue à partir de la mesure de la répartition verticale en soufflerie. Selon Pye (1990) cette formule serait plus adaptée pour les sables mal classés.

*2- Formule de Kawamura (1951) :*

$$Q = K \cdot \frac{\rho_a}{g} [u_* + u_{*c}]^2 [u_* - u_{*c}] \dots \text{(IV.3)}$$

Le coefficient K varie entre 1 (Horikawa, 1988) et 2,8 (Pye et tsoar, 1990). Cette formule réalisée à partir des recherches théoriques et expérimentales est la première à prendre en compte la vitesse critique de cisaillement.

$$Q = K \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot \left( \frac{D_{50}}{D} \right)^{0.50} \cdot [u_* - u_{*c}] u_*^2 \dots \text{(IV.4)}$$

K = 4,2

*1- La formule de White (1979) :*

Cette formule est basée sur des études en laboratoire et à partir des particules parfaites (billes de verre).

$$Q = K.u_*^3 \cdot \frac{\rho_a}{g} \cdot \left(1 - \frac{u_{*c}}{u_*}\right) \cdot \left(1 + \frac{u_*^2}{u_*^2}\right) \dots \text{(IV.5)}$$

K = 2,61

Q = taux du transport en g/s/cm

$u_*$  = vitesse de frottement en cm/s

$u_{*c}$  = seuil de la vitesse du frottement en cm/s

D = taille du grain moyen du sable en mm

$\rho_a$  = densité de l'air ( $1,226 \times 10^{-3}$  g/cm<sup>3</sup>)

g = accélération par la gravité (980 cm/s<sup>2</sup>)

K = coefficient.

## **IV.2. FACTEURS PHYSIQUES AFFECTANT LES PROCESSUS EOLIENS**

Plusieurs paramètres influencent la prise en charge puis le transport des grains de sable par le vent. Ils déterminent les seuils de l'action éolienne. Parmi ces différents paramètres on trouve :

- Facteurs de rugosité (végétation, reliefs, ...)
- Facteurs de cohésion des sables (humidité, salinité, granulométrie, marée, ...)
- Facteurs hydrodynamiques (marée, ...)
- Facteurs dynamiques (vitesse du vent, fetch, ...)
- Facteurs humains (piétinement, tassement de sédiments, destruction de la végétation, aménagements,...)

## **IV.3. VALIDATION ET COMPARAISON DES FORMULES DE TRANSPORT EOLIEN**

La vitesse de cisaillement [ $u_*$ ] est déterminée traditionnellement par la formule :

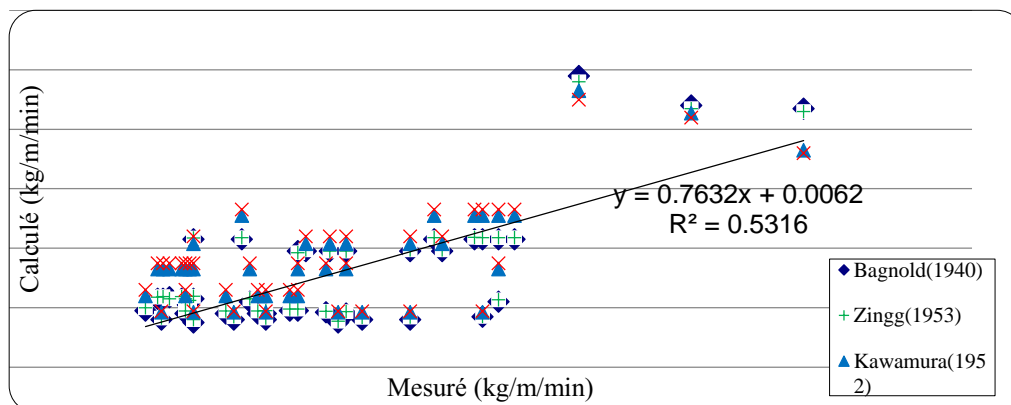
$$U_z = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \dots \text{(VII.8)}$$

A partir de plusieurs mesures de vitesse du vent à différentes altitudes. Disposant que des mesures d'une seule altitude, nous avons dû appliquer la formule pour calculer la répartition verticale du profil de vitesse logarithmique.

Cette formule implique d'estimer la longueur de rugosité [ $z_0$ ]. La rugosité dépend de la granulométrie des sédiments, des formes de fonds de la surface de transit et de la densité des sables en mouvement. Les flux sédimentaires, de la plage aérienne, mesurés et calculés sont présentés dans la figure IV.1 pour notre site d'étude (Boumerdès). Nous avons d'abord

effectué une comparaison entre les différentes formules empiriques et les valeurs mesurées. Il existe un écart entre les flux mesurés et ceux calculés. Les valeurs prédites même si elles ont une tendance identique, varient d'un modèle à l'autre. La formule de Bagnold et celle de Zingg nous donnent les meilleurs résultats en comparant avec les trois autres formules qui affichent des simulations moins précises et une sous-estimation systématique des débits éoliens.

La comparaison de ces formules empiriques avec les mesures même si elle s'avère fructueuse, se caractérise par un  $R_{ms}$  relativement élevé. L'importance de ces pourcentages d'erreurs et les sous-estimations des valeurs mesurées sont à attribuer aux limites de la méthode expérimentale en relation avec les facteurs physiques affectant le transport éolien dans cette zone. Premièrement, les vitesses des vents n'ont pas été mesurées sur place. Les vitesses moyennes enregistrées à trois km de la côte et à une hauteur de 30 m ne représentent pas la réalité de l'effet des vents près de la côte. Cela conduit à une mauvaise détermination de la vitesse de cisaillement. Les irrégularités topographiques par rapport au positionnement des pièges éoliens perturbent l'intensité de l'écoulement de l'air et influencent les flux sédimentaires éoliens. L'effet de la marée dans la détermination du fetch, l'humidité et la cohésion entre les sédiments, ne sont pas prises en compte.



**Figure IV.1 :** Comparaison du transport éolien mesuré *in situ* et calculé avec les formules pour le site de Boumerdès (Mezouar, 2009)

## CONCLUSION

Le transport éolien a été mesuré pendant des coups de vents significatifs au moyen de pièges à sables conventionnels, lors de vents de secteur Nord, Nord-Ouest et Ouest, surtout présents pendant la période d'été et printemps, lors des vents obliques. L'utilisation de pièges à sables a aussi été valorisée par une comparaison des valeurs du transport mesuré avec celles de transport calculé à partir de formules semi-empiriques. En utilisant les données de vents de la zone d'étude, ainsi qu'une longueur de rugosité ( $Z_o$ ) de 0,1 mm, identique à celle d'Arens (1997), nous obtenons une erreur approximative de 32% avec la formule de Bagnold (1941) et un coefficient d'ajustement ( $K = 1,5$ ) pour la plage aérienne de Boumerdès.

Ces résultats montrent un transport dirigé depuis le secteur Ouest vers l'Est et depuis la plage aérienne vers la plage immergée dans la majorité des cas et permet d'obtenir une vision globale en vue de la gestion des plages.

**CHAPITRE V**  
**REPARTITION SPATIALE ET DYNAMIQUE DES**  
**DEPOTS SEDIMENTAIRES**

## CHAPITRE V

# REPARTITION SPATIALE ET DYNAMIQUE DES DEPOTS SEDIMENTAIRES

### INTRODUCTION

L'approche abordée dans ce chapitre a pour objectif de définir les caractéristiques granulométriques actuelles des accumulations sableuses de la zone d'étude. Un échantillonnage sédimentaire dense associé aux outils d'interpolation permet de réaliser une cartographie des paramètres granulométriques des accumulations sableuses de la zone d'étude.

La dynamique sédimentaire est abordée à travers le calcul des tendances de transport selon la méthode de Gao & Collins (1994a). L'originalité de cette méthode réside dans l'utilisation simultanée des trois paramètres statistiques usuels, pour mettre en évidence les filiations entre les sédiments prélevés et les exprimer ensuite sous la forme de directions de transport sédimentaire (Vanwesenbeeck & Lanckneus, 2000 ; Gao & Collins, 2001 ; Garnaud, 2003; Poizot et al., 2006). La plupart des études basées sur cette méthode ont permis de prédire les sens de transport sédimentaire en domaine marin avec une assez bonne fiabilité, tout en réduisant le coût des moyens d'investigations directs (e.g. traceurs, sonar à balayage latéral, vidéo sous-marine).

### V.1. COMPAGNES SEDIMENTOLOGIQUES : ECHANTILLONNAGE ET METHODES D'ANALYSES

La répartition spatiale des sédiments dans la dépression de la partie sous-marine du plage est étroitement liée à la circulation des masses d'eau, conditionnée par les forçages physiques extérieurs. La connaissance actuelle de la circulation au sein de l'avant plage décrit une dérive littorale parallèlement (longshore) à la côte, et des entrées d'eau perpendiculairement (cross-shore) à la côte. L'intensité de ces courants n'est pas connue et le rôle de la circulation cross-shore ou longshore dans le transport sédimentaire ne peut pas être actuellement déterminé.

#### V.1.1. METHODES D'ANALYSES SEDIMENTOLOGIQUES

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

**1- Une phase technique expérimentale :** Cette phase conduit à l'évaluation en pourcentage de chaque dimension de particule à la masse totale du sédiment. Pour chaque échantillon, on procède de la manière suivante :

- Séchage d'une fraction de sédiment à l'étuve (105°) pendant 24 h.
- Lavage de 150 g de sédiment séché à l'eau douce et séparation de la fraction pélique de la fraction grossière, à l'aide d'un tamis de 40  $\mu\text{m}$
- Séchage de la fraction grossière à l'étuve (105°) pendant 24 h.
- Pesée de la fraction grossière séchée, ainsi la différence entre ce poids et le poids initial nous donnera le taux de pélite.
- Tamisage de la fraction grossière séchée sur une colonne de tamis répondant aux normes AFNOR, pendant 10 mn : constituée de haut en bas, de tamis de dimension croissante.
- Pesée de refus de chaque tamis à l'aide d'une balance de précision
- Evaluation en pourcentage des refus de chaque tamis.

**2- Une phase d'interprétation des résultats obtenus :** Pour cela, nous avons procédé de la manière suivante :

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

### V.1.2. REPARTITION DES FACIES SEDIMENTAIRES

Dans le but d'analyser et de comprendre la répartition des sédiments superficiels dans l'estran de site d'étude nous avons représenté les résultats obtenus à partir de l'analyse de la fraction sableuse sur les courbes cumulatives représentant le pourcentage des refus cumulés en fonction du logarithme des mailles, des tamis utilisés. A partir de ces courbes découlent les paramètres caractérisant chaque sédiment. On adopte la classification suivante en fonction du diamètre moyen des grains, en accord avec le Coastal Engineering Manual (1998) :

- Sables fins             $0.075 \text{ mm} < D < 0.425 \text{ mm}$
- Sables moyens       $0.425 \text{ mm} < D < 2 \text{ mm}$
- Sables grossiers     $2 \text{ mm} < D < 4.75 \text{ mm}$
- Gravieres             $4.75 \text{ mm} < D < 7.5 \text{ mm}$

### V.1.3. ANALYSE DES COURBES CUMULATIVES

La plupart des sédiments prélevés au niveau de la plage sous-marine du Boumerdès sont caractérisés par des courbes cumulatives ayant la forme d'un S peu régulier et étalé et par un faciès parabolique, indiquant une hétérogénéité du stock sableux. Ce faciès caractérise la quasi-totalité des sédiments prélevés au-delà de l'isobathe -2m. Il correspond à des sédiments déposés par excès de charge et caractérise les sables triés au cours d'un transport dans un

milieu à forte énergie. Cependant, quelques échantillons dont les courbes cumulatives semi logarithmiques sont assimilables à des droites, présentent un faciès logarithmique. Les sédiments présentant ce faciès ont été prélevés au voisinage de la côte à des profondeurs de (-05, -1m).

#### **V.1.4. CALCUL DES PARAMETRES GRANULOMETRIQUES**

La taille des particules est la propriété la plus fondamentale des sédiments qui les soumet aux phénomènes d'érosion, de transport et de dépôt (Blott & Pye, 2001). L'analyse des paramètres granulométriques fournit des informations importantes sur la provenance, l'historique du déplacement et les conditions de dépôt des particules sédimentaires (Friedman, 1979 ; Bui et al., 1990). Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont ceux précédemment cités, à savoir :

- la taille moyenne des sédiments ( $\mu$ ),
- l'indice de tri ( $\sigma$ ),
- l'indice de symétrie de la distribution ( $Sk$ ).

Les indices globaux simples utilisent les dimensions géométriques des grains. Ces indices qui sont définis à partir des moments statistiques. Cette méthode est utilisée dans notre travail pour le calcul des différents indices texturaux Boggs (1987), pour prendre en compte l'ensemble de la distribution granulométrique de l'échantillon, contrairement aux autres méthodes graphiques. C'est la méthode la plus employée couramment. Nous noterons  $D$  le diamètre de la particule dont le pourcentage cumulé vaut  $x$  et  $\Phi_x$  sa dimension correspondante en base de phi. L'unité Phi ( $\Phi$ ), qui correspond au système d'unité anglo-saxonne, a été choisie pour représenter les paramètres granulométriques par souci d'homogénéité avec la méthode de Gao & Collins utilisée. Cette unité est une transformation logarithmique en base 2 des diamètres de particules exprimées en millimètres selon la formule :

$$\Phi_x = -\text{Log}_2 D = \frac{\text{Log}D(mm)}{\text{Log}2} \dots (V.23)$$

Il faut également que l'intervalle soit constant entre chaque limite de classe granulométrique. Par cette méthode, on peut obtenir les indices qui vont être utilisés dans l'application du modèle mathématique de Gao et Collins 1994, pour déterminer le sens du transit sédimentaire. Les paramètres qui ont été utilisés dans cette étude ont été obtenus comme suit :

**1<sup>er</sup> moment** : grain moyen :  $\bar{X}\phi = \sum fm/n \dots (V.24)$

**2<sup>ème</sup> moment** : déviation standard (indice de classement) :

Sorting  $So = \sqrt{\frac{\sum fm(m-x)^2}{100}} \dots (V.25)$

**3<sup>ème</sup> moment** : indice d'asymétrie (Skewness)  $SK = \frac{\sum fm(m-x)^3}{100 * S_o^3} \dots$  (V.26)

Avec : *f* : le pourcentage du poids de chaque classe de taille ;

*m* : Midpoint, qui est la moyenne de chaque classe de taille ;

*n* : égal à 100 si ne perd pas de grain.

**V.1.5. GRANULOMETRIE**

Après l'analyse granulométrique des sédiments de notre zone d'étude, nous avons calculé les indices essentiels pour l'analyse sédimentaire.

- *Le grain moyen* : Le grain moyen est l'expression de la force d'un courant (vent, eau) capable d'avoir mis en mouvement l'essentiel d'un sédiment donné (Chamley, 1987). Les valeurs obtenues dans le fond de la zone d'étude, varient de 100 µm à 2000 µm avec une dominance des tailles comprises entre 110 µm et 200 µm. Ce qui correspond aux sables fins.

- *Indice de classement (sorting)* : Il nous renseigne sur l'importance du tri lors du transport et de la sédimentation (Chamley, 1987), suivant les valeurs obtenues le sédiment sera classé suivant la classification du tableau précédent. Le calcul de cet indice montre que les sédiments sont moyennement, à bien classés avec des valeurs comprises entre 0,32 et 0,75.

- *Indice d'asymétrie (Skewness)* : Les valeurs d'asymétrie obtenues ont montré que nos sédiments ont une tendance granulométrique vers les particules fines.

**Tableau V.1:** classification des sédiments selon les valeurs des trois paramètres granulométriques

Taille moyenne	Indice de tri ou Sorting <i>S<sub>o</sub></i>	Asymétrie ou Skewness <i>S<sub>k</sub></i>
$\bar{X}\phi = \sum fm / n$	$S_o = \sqrt{\frac{\sum fm(m-x)^2}{100}}$	$SK = \frac{\sum fm(m-x)^3}{100 * S_o^3}$
Sable très grossier -1 Φ - 0 Φ	Très bien trié < 0.35	Très asymétrique > 1.30
Sable grossier 0 Φ - 1 Φ	Bien trié 0.35 - 0.50	vers les fines
Sable moyen 1 Φ - 2 Φ	Assez bien trié 0.50 - 0.70	Asymétrique vers 0.43 - 1.30
Sable fin 2 Φ - 3 Φ	Assez peu trié 0.70 - 1.00	les fines
Sable très fin 3 Φ - 4 Φ	Peu trié 1.00 - 2.00	Presque symétrique -0.43 - 0.43
	Très peu trié 2.00 - 4.00	Asymétrique -0.43 - -1.30
	Extrêmement peu trié > 4.00	vers les grossiers
		Très asymétrique < -1.30
		vers les grossiers

**V.2. CARTOGRAPHIE DE LA COUVERTURE SEDIMENTAIRE**

La cartographie des fonds de la dépression d'arrière récif résulte de l'interpolation des paramètres granulométriques calculés précédemment. Cependant, trouver une méthode d'interpolation appropriée qui permet de créer une grille régulière, à pas d'espace constant et

à partir d'une grille non uniforme, impose plusieurs contraintes. Les champs de données à interpoler sont souvent complexes et présentent une hétérogénéité spatiale avec un échantillonnage souvent loin d'être optimal (Mitas & Mitasova, 1999). Le choix d'une méthode d'interpolation implique également une connaissance préalable des phénomènes du milieu afin d'évaluer celle qui produit le résultat le plus représentatif de la vérité terrain.

### V.2.1. DISTRIBUTION SPATIALE DES DONNEES

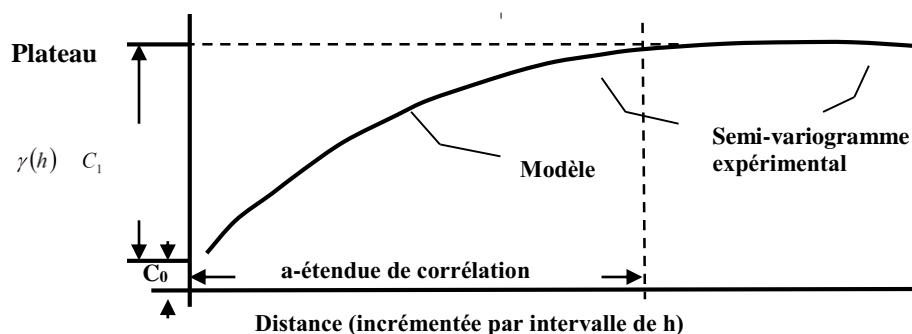
L'analyse de la distribution spatiale des sédiments récoltés se fait à partir du semi-variogramme. Le semi-variogramme représente l'évolution de la variance en fonction de la distance qui sépare deux points expérimentaux. Pour un jeu de données régionalisées  $z, \{Z(U_\alpha), \alpha = 1, \dots, n\}$  et pour une distance  $h$  de séparation entre deux points d'observation, le semi-variogramme peut être estimé par la formule suivante (Caeiro et al., 2003) :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \text{var} [z(u_\alpha + h) - z(u_\alpha)] \approx \frac{1}{2N(h)} \sum_{\alpha=1}^{N(h)} [z(u_\alpha + h) - z(u_\alpha)]^2 \dots \text{(V.27)}$$

avec  $N(h)$  le nombre de paires de points séparées par la distance  $h$

De manière générale, la variance augmente avec la distance entre deux points, appuyant ainsi le fait que deux points expérimentaux proches montrent des valeurs similaires de la variable mesurée. Une représentation graphique préliminaire du semi-variogramme constitue la carte des variances qui est une représentation 2D des variances calculées région par région. Cette représentation est effectuée afin de vérifier s'il existe une anisotropie dans les données expérimentales, c'est à dire une direction privilégiée dans la variabilité des paramètres granulométriques. Le semi-variogramme est ensuite tracé en fonction de la distance incrémentée par pas d'espace d'une valeur  $h$  (Figure V.1). Un modèle de variabilité spatiale, supposé caractéristique des données échantillonnées, est ensuite ajusté au semi-variogramme expérimental. La variance augmentant avec la distance, le semi-variogramme atteint un plateau à partir d'une distance  $a$  appelée étendue de corrélation.

Les données qui sont séparées par une distance supérieure à  $a$  sont alors considérées comme spatialement indépendantes. De manière générale, le semi-variogramme est utilisé en préliminaire à l'échantillonnage afin de mettre en place une stratégie d'échantillonnage dans l'objectif de récolter des observations non redondantes. Les prélèvements doivent être éloignés d'une distance au moins égale à  $a$  (Caeiro et al., 2003)



**Figure V.1 :** Exemple de semi-variogramme et de modèle ajusté (Caeiro et al., 2003)

### **V.3. LA METHODE DE CALCUL LES TENDANCES DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE**

Si la méthode de Gao & Collins (1992) a fait l'objet de certaines controverses dans ses premiers développements (Le Roux, 1994a, b), ses applications en domaine marin sont maintenant courantes dans les problématiques de recherche scientifique (Garnaud, 2003 ; Poizot et al., 2006). La plupart des applications sont réalisées dans des environnements côtiers ouverts sur l'océan, depuis les plages aux canyons sous-marins en passant par les estuaires (Tableau V.2)

**Tableau V.2** : Synthèse non exhaustive des applications de la méthode de calcul des tendances de transport sédimentaire. (Mezouar, 2009)

<b>Domaines d'application</b>	<b>Auteurs</b>
Ports	(Gao & Collins, 1992)
Estuaires	(Mc Laren & Little, 1987 ; Wu & Shen, 1999 ; Mallet et al., 2000 ; Chang et al., 2001)
Plages et zones intertidales	(Masselink, 1992 ; Pedreros et al., 1996 ; Mohd-Lokman et al., 1998)
Plateau continental	(Gao & Collins, 1994a ; Gao et al., 1994 ; Garnaud, 2003)
Rivière	(Asselman, 1999)
Canyons sous-marins	(Liu et al., 2002)
Bancs sableux	(Lanckneus et al., 1992 ; Vanwesenbeeck & Lanckneus, 2000)

L'objectif ici n'est pas de reprendre en détail la méthode de calcul des tendances de transport sédimentaire déjà présentée par de nombreux auteurs. Les fondements, les principes et les apports de ce travail par rapport aux limites de cette méthode seront tout de même brièvement abordés.

### **V.4. LA METHODE DE MCLAREN /GAO ET COLLINS**

Ces auteurs constatent qu'il est possible de remarquer une augmentation de la taille de ces sédiments dans le sens du transport lorsque l'intensité du courant augmente dans la même direction. McLaren et al (1985), indiquent que classement des sédiments peut s'améliorer en raison d'un tri sélectif du matériel sous l'action des processus de transport. Sur cette base, une technique développée par Gao et Collins (1994) pour la détermination du sens du transport sédimentaire a été mise en évidence, et ces derniers se basent sur la connaissance de trois (03) paramètres qui sont la taille moyenne (1<sup>er</sup> moments), l'indice de dispersion : le Sorting (2<sup>ème</sup> moment) et l'indice d'asymétrie, le Skewness (3<sup>ème</sup> moment).

Dans cette étude nous allons utiliser le modèle proposé par McLaren (1981) et modifié par Gao et Collins (1991, 1992). Ce modèle appliqué à plusieurs reprises dans des domaines différents (littoral, estuaire,...) (Gao et Collins, 1994, Sabatier et, Balouin et al, 2000, et Mazouar, 2009).

V.4.1. PRINCIPE DU MODELE

Le modèle développé par McLaren (1981, 1985) est basé sur le principe suivant : les variations dans la répartition granulométrique d'un sédiment depuis sa source jusqu'au moment du dépôt dépendent de la dynamique hydro sédimentaire. Cette dynamique (érosion, transport, tri et dépôt sélectif) peut traduire les directions du transport résiduel. Ce modèle repose sur la comparaison entre les échantillons des trois paramètres sédimentologiques ; la moyenne ( $\mu$ ), l'indice de classement ( $\sigma$ ) et l'indice d'asymétrie ( $S_k$ ) entre deux prélèvements. Par comparaison de (n) paramètres,  $2^n$  cas possibles peuvent apparaître entre deux échantillons. Théoriquement, les cas possibles sont au nombre de huit (McLaren et Bowles, 1985) :

Cas Définition des cas en unité phi

- $\mu_1 \geq \mu_2$       $\sigma_1 \geq \sigma_2$       $S_{k1} \leq S_{k2}$
- $\mu_1 \leq \mu_2$       $\sigma_1 \geq \sigma_2$       $S_{k1} \geq S_{k2}$
- $\mu_1 \geq \mu_2$       $\sigma_1 \geq \sigma_2$       $S_{k1} \geq S_{k2}$
- $\mu_1 \leq \mu_2$       $\sigma_1 \geq \sigma_2$       $S_{k1} \leq S_{k2}$
- $\mu_1 \geq \mu_2$       $\sigma_1 \leq \sigma_2$       $S_{k1} \leq S_{k2}$
- $\mu_1 \leq \mu_2$       $\sigma_1 \leq \sigma_2$       $S_{k1} \geq S_{k2}$
- $\mu_1 \geq \mu_2$       $\sigma_1 \leq \sigma_2$       $S_{k1} \geq S_{k2}$
- $\mu_1 \leq \mu_2$       $\sigma_1 \leq \sigma_2$       $S_{k1} \leq S_{k2}$

Les expériences menées en laboratoire et sur le terrain ont conduit les auteurs à ne retenir que deux cas, comme représentatifs d'un transport sédimentaire dans un environnement marin non-extrême (McLaren et Bowles, 1985).

**Tableau V.3 :** Relations entre les paramètres granulométriques (en unité  $\Phi$ ) de deux stations A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB+. (Mezouar. K, 2009).

Cas de transport sédimentaire	Définition	Relations entre les paramètres granulométriques (en unité $\Phi$ )
<b>FB-</b>	<b>Finner, Better sorted, negatively skewed.</b> Le sédiment est érodé à sa source, transporté puis totalement déposé. Le sédiment résultant du dépôt est plus fin, mieux trié et présente une asymétrie vers les particules grossières (asymétrie < 0 en unité $\Phi$ ).	$\mu_1 \leq \mu_2$ $\sigma_1 \geq \sigma_2$ $S_{k1} \geq S_{k2}$
<b>CB+</b>	<b>Coarser, Better sorted and positively skewed.</b> Le sédiment érodé à sa source est transporté et subit un dépôt sélectif le long du trajet de son transport du fait d'une diminution de l'énergie de l'agent de transport. Le sédiment qui résulte de ce transport est plus grossier, mieux trié avec une asymétrie vers les particules fines (asymétrie > 0 en unité $\Phi$ ).	$\mu_1 \geq \mu_2$ $\sigma_1 \geq \sigma_2$ $S_{k1} \leq S_{k2}$

#### V.4.2. PRINCIPE ET LIMITES DU CALCUL DES TENDANCES DE TRANSPORT SEDIMENTAIRE

- Déterminer les paramètres granulométriques ( $\mu$ ,  $\sigma$  et  $Sk$ ).

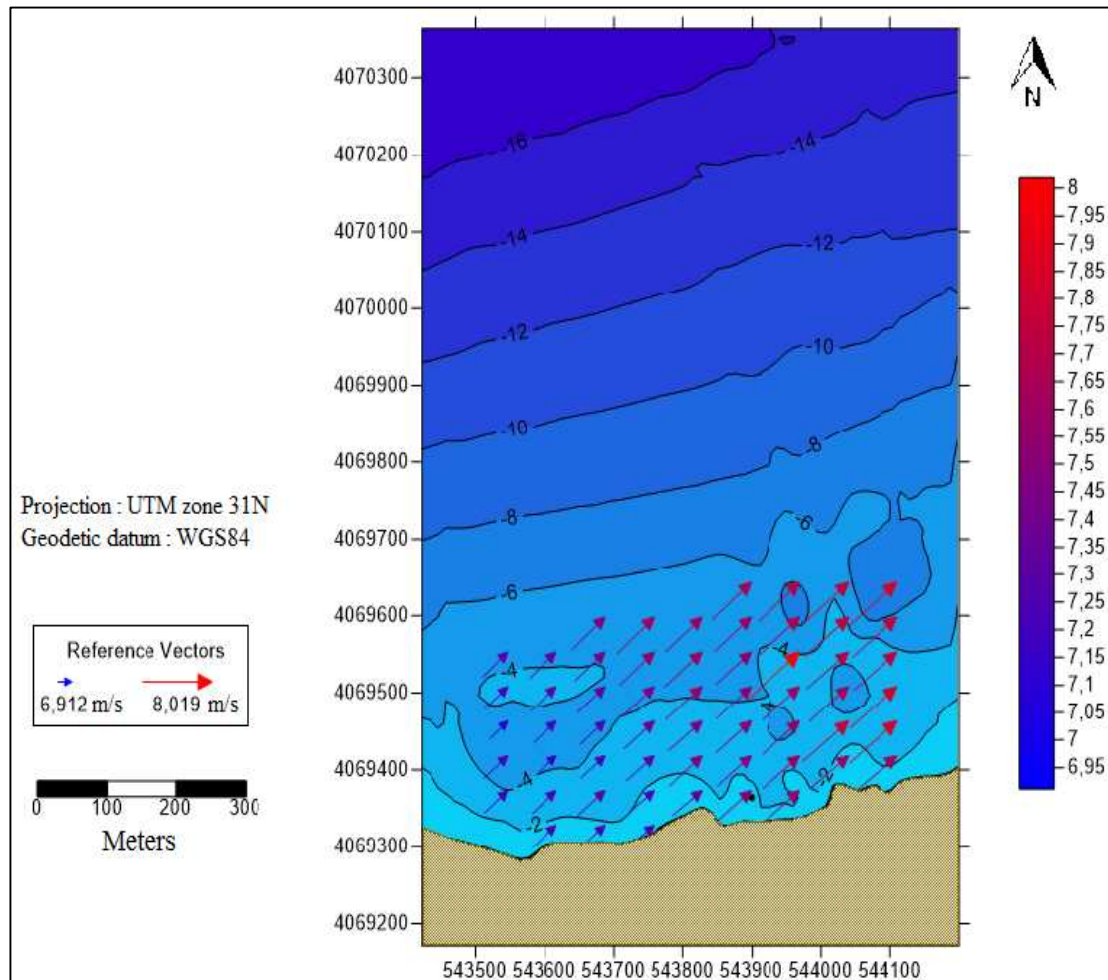
$$\mu = \sum fm/n, \sigma = \sqrt{\frac{\sum fm(m-x)^2}{100}}, SK = \frac{\sum fm(m-X)^3}{100 * So^3}$$

- Déterminer une distance critique (DCR) entre les échantillons. Cette distance définie comme étant l'écart minimal entre deux sites qui sont côte à côte (c'est-à-dire, la diagonale pour une maille carrée). Il faut que la distance qui les sépare soit inférieure à cette distance critique.
- Comparaison entre les trois (03) paramètres (grain moyen, Sorting et Skewness) entre deux échantillons.

Le calcul des tendances de transport se fait en comparant les valeurs des paramètres granulométriques entre des stations échantillonnées voisines. Quand la relation pour un transport FB- ou CB+ est respectée (Tableau V.3), un vecteur de transport est assigné au point de calcul. Le transport total est obtenu en sommant et en moyennant tous les vecteurs de transport obtenus pour une même station. La pertinence des vecteurs ainsi obtenus est évaluée par un test statistique, le test Z, de comparaison des proportionnalités des vecteurs. La sélection des stations voisines pour le calcul des vecteurs initiaux se fait dans un rayon inférieur ou égal à une distance critique DCR. Cette valeur représente généralement la distance maximale séparant deux points voisins afin d'inclure le maximum de points dans le calcul des vecteurs de transport.

Il apparaît alors évident que les caractéristiques de la grille d'échantillonnage influencent fortement les résultats du modèle. La pertinence du choix de DCR limite la méthode de calcul des tendances de transport sédimentaire. Selon Mc Laren & Bowles (1985), 9 points suffisent pour évaluer correctement une direction de transit sédimentaire.

Cependant, une grille non uniforme peut induire des erreurs dans la définition des directions des vecteurs de transport en fonction du nombre de stations voisines comprises dans le cercle de rayon DCR (Le Roux, 1994a, 1994b). Gao & Collins (1994b) recommandent alors l'utilisation d'une grille d'échantillonnage uniforme.



**Figure V.2 :** Distribution de vecteur résiduel de transport des sédiments dans la plage Ouest de Boumerdès à l'aide de l'approche de GSTA. (Adjal, 2014)

#### V.4.3. INTERPRETATION DES RESULTATS

Un premier regard sur la carte des vecteurs résiduels (figure V.2), fait ressortir que la plage Ouest de Boumerdès se trouve comme étant le siège d'une dynamique sédimentaire active. Les déplacements sédimentaires les plus dominants s'effectuent de l'Est ou autrement dit du Rocher Noir vers l'extrémité ouest de l'oued Tatareg, avec un certain transit dans le sens opposé un peu plus au large, c'est à dire de l'Ouest vers l'Est.

Mais le plus intéressant reste le transit qui se fait de la côte vers le large, dû aux courants de retour qui sont à l'origine de l'érosion du côté Est de cette plage.

Ces déplacements peuvent être influencés par la géométrie de la côte et sa morphologie sous-marine. L'usage des indices granulométriques (moyenne, indice d'asymétrie et indice de dispersion) à travers une analyse analytique descriptive et vectorielle avec méthode statistique, donne des résultats acceptables.

## **CONCLUSION GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

Les plages sableuses sont des systèmes complexes. Leur fonctionnement est dominé par l'interaction de différents forçages qui apportent de l'énergie et transportent des éléments entre les compartiments du système. La compréhension globale des processus mis en jeu est bien souvent délicate et nécessite des études pluridisciplinaires. Le résultat du fonctionnement complexe des plages sableuses s'observe généralement par une modification du volume des compartiments et par une évolution de la morphologie des interfaces.

L'objectif de cette étude était de comprendre les mécanismes de la morphogenèse littorale actuelle et de proposer une première étude hydro-sédimentaire (un premier bilan sédimentaire, action des agents hydrodynamiques sur le profil de la cote qui conduisent à une érosion/accumulation. Dans les faits, mon travail scientifique partagé entre le terrain et le laboratoire d'Aménagement (Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral) ne m'a pas permis de traiter l'ensemble du linéaire côtier. J'ai donc consacré toute mon attention à la plage sableuse, dont la typologie est très variée, et à propos des quelles ma formation me permettait d'appliquer les outils et les connaissances acquis durant ma formation.

Plusieurs thèmes principaux ont été abordés dans cette recherche. Nous en rappellerons l'essentiel des résultats.

- Premièrement j'ai synthétisé les principaux paramètres qui influencent potentiellement la partie comprise entre la zone de surf et la zone de swash. L'hydrodynamique littorale a pour but de décrire et de modéliser les phénomènes physiques à l'origine de la dynamique des fluides en milieu littoral. Son intérêt est d'une part fondamental pour une meilleure compréhension et modélisation en océanographie physique littorale, d'autre part appliqué à des problèmes d'environnement (érosion et accrétion, ensablement,...).
- Deuxièmes j'ai décrit les unités géographiques de la zone de Boumerdès et analysé les facteurs de la mise en place de ces paysages. J'ai abordé l'analyse des agents de forçage de la dynamique côtière. D'après l'analyse de la houle au large on constate que : les fréquences mensuelles de la houle au large par direction que les houles du secteur Nord arrivent à la côte avec une énergie importante, elles subissent une rotation de  $1.5^\circ$  pour aborder la côte suivant une direction  $N358.5^\circ$ . Le coefficient de réfraction  $K$  varie entre 0.90 et 0.92. L'analyse des régimes de vent nous montre que les vents dominants soufflent des secteurs Est et Ouest.
- Pour l'étude de la propagation de la houle et sa direction, nous avons utilisé le modèle spectral de vagues SWAN. Les résultats de l'étude de la réfraction démontre que la houle de secteur Nord et Nord-Ouest ne perdent que très peu de leur énergie et attaque le site frontalement donc on constater que la plage de Boumerdès est exposée à

l'érosion (recule de la ligne de côte) pour cela ces résultats vont être prise dans le dimensionnement des ouvrages de protection.

- Le chapitre qui suis-j'ai montré l'importance des transports longitudinaux à court terme et à l'échelle de l'ensemble des trois littoraux. J'ai analysé les processus sédimentaires longitudinaux et transversaux par différentes formules empiriques (Kamphius, Bijker, CERC,...). Le volume du transit sédimentaire selon la formule de kamphius 337306 m<sup>3</sup>/an, Bijker 317725 m<sup>3</sup>/an, CERC 3002647 m<sup>3</sup>/an et la direction du transit sédimentaire est de l'Est vers Ouest. Mes données confirment donc les travaux antérieurs en ce qui concerne l'importance de l'énergie de la houle et la vitesse des courants sur le transport.
- Dans le quatrième chapitre j'ai évalué le transport éolien, les résultats montrent la coexistence de mouvements *cross-shore* lors de coups de vents de mer qui engraisent le cordon dunaire, et *longshore* lors de vents subparallèles à la côte. Les mesures effectuées ont permis de rechercher une validation de différentes formules empiriques de transport, parmi lesquelles nous avons retenu celle de Bagnold (1941). Son application reste cependant faussée du fait que nous n'avons pas pu disposer de mesures de vents réelles *in situ*. Elle aboutit à un taux de transport potentiel élevé (6000 à 15000 m<sup>3</sup>/an), certainement exagéré et à des directions dominantes *cross-shore*, pas toujours validées sur le terrain.
- Dans dernier chapitre d'étude j'ai fait une analyse hydrosédimentaire qui a pour objectif de déterminer les modalités de la dynamique sédimentaire dans la plage sous-marine. La méthode de Gao & Collins (1992) est choisie dans ce but. Cette méthode est une approche semi-quantitative du transport sédimentaire qui permet d'expliquer les directions des flux sédimentaires entre les différents compartiments constituant cette partie de la plage.

## **BIBLIOGRAPHIE**

## BIBLIOGRAPHIE

**AMIN, S.M.N. and DAVIDSON-ARNOTT, R.G.D., 1997.** A statistical analysis of the controls on shoreline erosion rates, Lake Ontario. *Journal of coastal research*, vol. 13(4), pp. 1093-1101.

**ARENS, S.M., 1997.** Transport rates and volume changes in a coastal foredune on a Dutch Wadden island. *Journal of coastal conservation* 3, pp. 49-56.

**ASSELMAN, N. E. M., 1999.** Grain-size trends used to assess the effective discharge for floodplain sedimentation, River Waal, the Netherlands. *Journal of sedimentary research*, vol. 69(1), pp. 51-61.

**BAGNOLD, R.A., 1936.** The movement of desert sand. *Proc. Roy. Soc. London*, A157, pp 594-620.

**BAGNOLD, R.A., 1941.** The physics of blown sand and desert dunes. Chapman and Hall (Ed.), London, 265 p.

**BALOUIN, Y., 2001.** Les embouchures mésotidales (tidal intels) et leur relation avec les littoraux adjacents – Exemple de la Barra, Nova, Sud Portugal. Thèse, université de Bourdeau, p. 297.

**BERTHOIS, L., 1969.** Contribution à l'étude sédimentologiques du Kangerd-lugssuag, côte ouest du Groenland. *Medd. Gronland*, vol. 187 (1). 118 p.

**BIJKER, E.W., 1971.** Longshore Transport Computations. *Journal of Waterways, Harbors and coastal engineering division*, American society of civil engineers, Volume 97, WW4.

**BLOTT, S. J. & PYE, K., 2001.** Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments. *Earth surface processes and landforms* 26, pp. 1237-1248.

**BOGGS, S., Jr. 1987.** *Principales of Sedimentology and Stratigraphy*. Merrill publishing, Columbus, Ohio.

**BRETEL, P., C.1995.** Processus éoliens en milieu littoral et morphodynamique dunaire : synthèse bibliographique. B.R.G.M. Laboratoire de géologie marine. Université de Caen, C.R.E.C., 75p.

**BUI, E. N., MAZULLO, J., WILDING, L. P., 1990.** Using quartz grain size and shape analysis to distinguish between aeolian and fluvial deposits in the Dallol Bosso of Niger (West Africa). *Earth surface processes and landforms*, pp. 157-166.

- CAEIRO, S., PAINHO, M., GOOVAERTS, P., COSTA, H., SOUSA, S., 2003.** Spatial sampling design for sediment quality assessment in estuaries. *Environmental modelling & software*, pp. 853-859.
- CAMENEN, B., 2002.** Modélisation numérique du transport sédimentaire sur une plage sableuse. Ph.D. thesis, Université Grenoble I.
- CAULET, J., 1972.** Les sédiments organogènes du pré-continent algérien. Mémoire du muséum national d'histoire naturelle, Paris, nouvelle série, C, Sciences de la terre. Tome XXV, Fascicule unique, 289p.
- CAVIGLIA, F.J., POUSA, J.L. AND LANFREDI, N.W., 1991.** A determination of the energy flux constant from dredge records. *Journal of coastal research*, vol. 7(2), pp. 543-549.
- CERC., 1984.** Shore Protection Manual, 2 Volumes. U.S. Army engineer waterways experiment station, Coastal engineering research centre, Washington.
- CHAIBI, M., 1999.** Dynamique sédimentaire et morphogenèse actuelle du littoral d'el jadida (maroc). Docteur de l'université Aix Marseille I.
- CHAMLEY, H., 1987.** Bases de sédimentologie. 2<sup>ème</sup> Ed DUNOD, Paris.
- DE VRIEND, H.J., 1991.** Mathematical modelling and large-scale coastal behavior, Part I: Physical processes. *Journal of hydraulic research* 29, pp. 727-740.
- DEL VALLE, R., MEDINA, R., AND LOSADA, M. A. 1993.** "Dependence of Coefficient *K* on Grain Size, Technical Note No. 3062, Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering, Vol 119, No. 5, September/ October, pp 568-574.
- DESMAZ, F., 2005.** Caractérisation des barres sableuses d'une plage de la côte aquitaine. Exemple de la plage du truc vert. Thèse de Doctorat, Université bordeaux I.
- FREDSOE, J., AND DEIGAARD R., 1994.** Mechanics of coastal sediment transport. World Scientific, Singapore.
- FRIEDMAN, G. M., 1979.** Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*, 26, pp. 3-32.
- FRIJLINK, H., 1952.** Discussion des formules de débit solide de Kalinske, Einstein et Meyer-Peter and Muller compte tenue des mesures récentes de transport dans les rivières néerlandaises. 2<sup>nd</sup> Journal hydraulique, Société hydraulique de France, pp. 98– 103.
- GALVIN, C.J., 1968.** Breaker type classification on three laboratory beaches. *Journal of Geophysical Research*, 73, pp. 3651-3659.
- GAO, S. & COLLINS, M. B., 1991.** A critique of the "McLaren method" for defining sediment transport paths - discussion. *Journal of sedimentary petrology*, vol. 61(1), pp. 143-146.

- GAO, S. & COLLINS, M. B., 1992.** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors". *Sedimentary geology*, vol. 81(1-2), pp. 47-60.
- GAO, S. & COLLINS, M. B., 1994a.** Analysis of Grain Size Trends, for defining sediment transport pathways in marine environments. *Journal of coastal research*, vol. 10 (1), pp.70-78.
- GAO, S. & COLLINS, M. B., 1994b.** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"--reply. *Sedimentary geology*, vol. 90(1-2), pp.157-159
- GAO, S. & COLLINS, M. B., 2001.** The use of grain size trends in marine sediment dynamics: A Review. *Chinese journal of oceanology and limnology*, vol. 19(3), pp.265-271.
- GARNAUD, S., 2003.** La sédimentation fine sur une plate-forme interne actuelle macrotidale : la Baie de Seine Sud-Orientale (France). Thèse de doctorat Université de Caen, 307 pp.
- GERRARD, A.J., 1999.** Landsliding in the Likhu Khola drainage basin, Middle Hills of Nepal. *Physical geography* 20, 240–255.
- GODA, Y., 1970.** A synthesis of breaker indices. *Transactions of ASCE* 2 (2), pp. 27–229.
- HORIKAWA, K. AND SHEN, H.W.1960.** Sand movement by wind action (on the characteristics of sand traps), U.S. Army corps of engineers, Beach erosion board technical memorandum, N°119, 51pp.
- HORIKAWA, K., 1988.** Nearshore dynamics and coastal processes. University of Tokyo Press, Tokyo, 522p.
- HORIKAWA, K., HOTTA, S. & KRAUS, N.C., 1986.** Literature review of sand transport by wind on a dry sand surface. *Coastal Engineering* 9, pp. 503-526.
- HSU, S.A., 1974.** Computing eolian sand transport from routine weather data, 14th Coastal engineering conference, Copenhagen, pp. 1619-1626.
- INMAN, D.L. AND BAGNOLD, R.A., 1963.** Beach and nearshore processes, II: Littoral processes. In: E.M.N. Hill (Editor), *the Sea*. Interscience, New York, pp. 529-553.
- JIMENEZ, J.A. AND SANCHEZ-ARCILLIA, A., 1993.** Medium-term coastal response at the Ebro delta, Spain. *Marine geology*, 114, pp. 105-118.
- KAMPHUIS, J.W., 1991.** Alongshore sediment transport rate. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 117, pp. 624-640.
- KAWAMURA R., 1964.** Study of sand movement by wind. Hydraulic engineering laboratory technical report, HEL- 2-8, University of California, Berkeley, pp. 99-108.
- KAWAMURA, R., 1951.** The study of sand movement by wind. HEL 2-8, University of California Hydraulics engineering laboratory, Berkeley.
- KOMAR, P.D., 1998.** Beach Processes and Sedimentation. Prentice- Hall, New Jersey, USA.

- KOMAR, P.D., AND INMAN, D., 1970.** Longshore sand transport on beaches: *Journal of Geo-physical Research*, vol. 75, pp. 5914-5927.
- KROON, A., 1994.** Sediment transport and morphodynamics of the beach and nearshore zone near Egmond, The Netherlands. PhD Thesis, Utrecht University.
- KUMAR, V.S., CHANDRAMOHAN, P., KUMAR, K.A., GOWTHAMAN, R. AND PEDNEKAR, P., 2000.** Longshore currents and sediment transport along Kannirajapuram coast, Tamilnadu, India. *Journal of coastal research*, vol 16(2), pp. 247-254.
- LANCKNEUS, J., DE MOOR, G., DE SCHAEPMEESTER, G., MEYUS, I. & SPIERS, V., 1992.** Residual sediment transport directions on a tidal sand bank. Comparison of the «Mc Laren model» with bedform analysis. *Bulletin society belge d'études géographiques*, Vol. 2, N°. 2, pp. 425–446.
- LAURSEN, E.M., 1958.** "The total sediment load of streams, J. of the Hyd. Div., ASCE, Vol. 84, N°. HYI, Paper 1530, pp. 1-36.
- LE ROUX, J. P., 1994a.** An alternative approach to the identification of net sediment transport paths based on grain-size trends. *Sedimentary geology*, vol. 94(1-2), pp. 97-107
- LE ROUX, J. P., 1994b.** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"--comment. *Sedimentary geology*, vol. 90(1-2), pp.153-156
- LETTAU K. ET LETTAU H (EDS.), 1978.** Experimental and micrometeorological field studies of dune migration. In H. Lettau, K. Lettau (Eds.): *Exploring the world's driest climate*. Center for climate research, Univ. Wisconsin, pp. 110-147.
- LIU, J.T., LIU, K.J., HUANG, J.C., 2002.** The effect of a submarine canyon on the river sediment dispersal and inner shelf sediment movements in southern Taiwan. *Mar. Geol.*, vol. 181 (4), pp.357–386.
- MALLET, C., HOWA, H., GARLAN, T., SOTTOLICHIO, A., LE HIR, P., 2000.** Residual transport model in correlation with sedimentary dynamics over an elongated tidal sandbar in the Gironde estuary (Southwest France). *Journal of sedimentary research*, vol.70 (5), pp. 1005-1016.
- MASSELINK, G., 1992.** Longshore variation of grain size distributions along the coast of the Rhone Delta, Southern France: a test of the "Mc Laren Model". *Journal of coastal research*. vol 8 (2), pp. 286–291.
- MC LAREN, P. & BOWLES, D., 1985.** The effects of sediment transport on grain-size distributions. *Journal of sedimentary petrology*, vol. 55(4), pp.457-470.
- MC LAREN, P. & LITTLE, D. I., 1987.** The effects of sediment transport on contaminant dispersal: An example from Milford Haven. *Marine pollution bulletin*, vol. 18(11), pp.586-594.

- MCLAREN, P., 1981.** An interpretation of trends in grain size measures. *Journal of sedimentary petrology*, vol. 51(2), pp. 611-624.
- MEZOUAR, K., 2009.** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain. Thèse Université technique de construction de Bucarest.
- MILLER, H.C., 1999.** Field measurements of longshore sediment transport during storm. *Coastal engineering*, vol. 36, pp.301-321.
- MILLOT, C., 1985.** Some feature of the Algerian current. *J. Geophys. Res.*, 90, C4, pp. 7169-7176.
- MITAS, L., & MITASOVA, H., 1999.** Spatial interpolation. *Geographical information systems: principles, techniques, management and applications* (Vol. 29, pp. 481 -492). London: Wiley.
- NAKAMURA, R., 1971.** Runoff analysis by electrical conductance of water. *J. Hydrology*, 14, pp.197-212.
- NOVA, R., 2005.** Fondements de la mécanique des sols, Lavoisier, Paris, 17p.
- PEDREROS, R., 2000.** Quantification et modélisation du transport éolien au niveau des zones côtières - Application au littoral Girondin, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.
- PEDREROS, R., HOWA, H.L. ET MICHEL, D., 1996.** Application of grain size trend analysis for the determination of sediment transport pathways in intertidal areas. *Marine geology*, 135, pp. 35-49.
- PHILLIPS C.J., AND WILLETTS B. B., 1978.** A review of selected literature on sand stabilisation. *Coastal engineering*, 2, pp.133-148.
- POIZOT, E., MEAR, Y., THOMAS, M., GARNAUD, S., 2006.** The application of geostatistics in defining the characteristic distance for grain size trend analysis. *Computer & geosciences* 32, pp.360-370.
- PYE KENNET and TSOAR HAIM, 1990.** Aeolian sand and sand dunes. UNWIN HYMAN, London, 396pp.
- PYE, K., 1990.** Physical and human influences on coastal dune development between the Ribble and Mersey estuaries, northwest England. In: Nordstrom, K.F., Psuty, N. & Carter, R.W.G. (eds.) *Coastal dunes. Form and process*. John Wiley & Sons, Chichester, pp. 339-359.
- RATTANAPITIKON, W. and SHIBAYAMA, T., 2000.** Verification and modification of breaker height formulas. *Coastal engineering journal*, vol. 42(4), pp.389-406.
- RIVIERE, A., 1977.** Méthodes granulométriques, techniques et interprétations. Masson, 167pp.
- SABATIER, F., 2001.** Fonctionnement et dynamiques morpho-sédimentaires du littoral du delta du Rhône. Docteur de l'université Aix Marseille III.

- SABATIER, F., CHAIBI, M. IN ADDITION, PONS, F., 2002.** Validation of eolian sediment transport formulae by sediment traps. MEDCOAST 02, pp.3-27; Sarigeme/Dalaman, Turkey.
- SCHOONEES, J.S. AND THERON, A.K., 1996.** Improvement of the most accurate longshore transport formula. In: ASCE (Editor), 25th Coastal engineering conference, pp. 3652-3665.
- SHAHBUDDIN, S., H. MOHD LOKMAN, Y. ROSNAN and T. ASANO., 1998.** Sediment accretion and variability of sedimentological characteristics of a tropical estuarine mangrove: Kemaman, terengganu, Malaysia. *Mangroves and salt marshes*, 55, pp.1-8.
- SHERMAN, D.J., BAUER, B.O., GARES, P.A. and JACKSON, D.W.T., 1996.** Wind blow sand at Castroville, California, *coastal engineering*, pp. 4214-4226.
- SHORT, A.D., & AAGAARD, T., 1993.** Single and multi-bar beach change models. *Journal of coastal research*, 15(SI), pp.141-157.
- SOULSBY, R., 1997.** Dynamics of marine sands. A manual for practical applications. *Thomas telford publications*, 249 pp.
- STEPANIAN, A., 2002.** Evolution morphodynamique d'une plage à barres : Omaha beach (Normandie). Thèse de doctorat, Université de Caen, Basse-Normandie.
- STONE, G.W., STAPOR JR, F.W., MAY, J.P. AND MORGAN, J.P., 1992.** Multiple sediment sources and cellular, non-integrated, longshore drift system: northwest Florida and southeast Alabama coast. *Marine geology*, 105, pp. 141-154.
- VANHEE, S., 2002.** Processus de transport éolien à l'interface plage macrotidale-dune bordière : le cas des plages à barres intertidales, côte d'Opale, Nord de la France. Thèse, Université du littoral côte d'Opale.
- VANWESENBEECK, V. & LANCKNEUS, J., 2000.** Residual sediment transport paths on a tidal sand bank: a comparison between the modified McLaren model and bedform analysis. *Journal of sedimentary research*, vol. 70(3), pp.470-477.
- WHITE, B.R., 1979.** Soil transport by winds on Mars. *Journal of geophysical research*, 84, pp.4643-4651.
- WRIGHT, L.D., & SHORT, A.D., 1984.** Morphodynamics of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, 56, pp.93-118.
- WRIGHT, L.D., & THOM, B.G., 1977.** Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. *Progress in physical geography*, vol. 1(3), pp. 412-459.
- WU, J. X., & SHEN, H. T., 1999.** Estuarine bottom sediment transport based on the "McLaren model": a case study of Huangmaohai estuary, South China. *Estuarine, coastal and shelf science*, 49, pp.265-279.

## Bibliographie

**ZINGG, A.W., 1953.** Wind tunnel studies of the movement of sedimentary material, 5th Hydraulics Conf. Bull, Iowa, pp. 111-135.