

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل

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



MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE MASTER

EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : AMENAGEMENT DU LITTORAL

*Sujet :*

*La méthode GSTA (Grain Size Trend Analysis) appliquée à  
la côte de Stora-Skikda*

Présenté par:

➤ **Mr. ZEROUALI Karim**

Encadré par :

Soutenu le 09/10/2013 devant le jury suivant :

<b>M. HEMDANE Y.</b>	Maître de conférences A (ENSSMAL)	Président.
<b>M. BOUAICHA F.</b>	Maître assistant A (ENSSMAL)	Examineur.
<b>Mme. BENZOUAI S.</b>	Maître assistante B (ENSSMAL)	Examinatrice.
<b>M. KHELLAF M C.</b>	Maitre de conférences A (USTHB)	Promoteur.
<b>Mme. AMARA Z.</b>	Ingénieur senior (LEM)	Co-promotrice.

**Promotion: 2013**

# Remerciements

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

Je suis très reconnaissant envers Mr KHELLAF et Mme AMARA d'avoir proposés un sujet si intéressant et de m'avoir permis d'apporter mon modeste contribution à un sujet si sensible qui est la méthode GSTA appliquée à la côte de Stora-Skikda, ainsi que de m'avoir si bien encadrés, orientés, éclairés et de suivre constamment le progrès de ce travail, par ses suggestions et ses critiques constructives, dont la patience et la sympathie m'ont fait aimer le domaine de l'aménagement et pour mener à bien mon travail.

A cet effet, je tiens à remercier Mr. HAMDENE d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance, ainsi que Mme BENZOUAI et Mr BOUAICHA d'avoir accepté d'examiner ce travail et dont les critiques nous serviront sûrement.

Je n'oublie pas de remercier mes enseignants, qui tout au long du cycle d'étude m'ont transmis leur savoir que je considère « l'or de la vie ».

Je remercie aussi le personnel de la bibliothèque de l'ENSSMAL pour leur précieuse aide.

Enfin, j'exprime toute mon gratitude à ma Co-promotrice, Mme AMARA pour sa disponibilité, la confiance qu'elle m'a toujours témoignée et la sollicitude dont elle m'a entourée, et ce tout au long de l'élaboration du présent travail.

## Dédicaces

À mes très, très chers parents, source d'amour et d'affection ;

À mes très chers frères, sœurs, cousins et cousines qui comptent énormément pour moi ;

À tous mes autres proches exclusivement mes grands pères, grandes mères, oncles et tantes ;

À mes chers amis, Abd Elmalek, Younes, Elwali, Oussama, Redouane, Badrou, Samir, Youcef, Kouider, Kadour, Zinou, Nabil, Amine, Abdou, Roussi, Brahim, à qui je tiens plus particulièrement; j'espère que je n'ai oublié personne ;

À toutes les personnes qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de cette année ;

Ainsi qu'à tous ceux qui me connaissent à l'ENSSMAL et avec qui j'ai passé cinq ans inoubliables ;

À vous tous qui m'aimez ;

Je dédie ce travail.

*Karim*

## Liste des acronymes

- **ENSSMAL**: Ecole Nationale Supérieure de Science de la Mer et l'Aménagement du Littoral.
- **LEM** : Laboratoire des Etudes Maritimes.

## Liste des abréviations

- **D<sub>Cr</sub>** : **D**istance **C**ritique.
- **GSTA** : **G**lobal **S**ize **T**rend **A**nalysis.
- **P.D.A.U** : **P**lan **D**irecteur d'**A**ménagement et d'**U**rbanisme.
- **QGis** : **Q**uantum **G**is.
- **RN** : **R**oute **N**ationale.
- **SIG**: **S**ystème d'**I**nformation **G**éographique.

## Liste des tableaux

- **Tab. I.1.** Classification des sédiments (**Wentworth .C. K, 1922**).....(4)
- **Tab. I.2.** Les échelles de similitude déduites de la condition de Froude (**Pechon. P et Coeffe. Y, 1984**).....(11)
- **Tab. I.3.** Les échelles de similitude de la réfraction de la houle (**Pechon. P et Coeffe. Y, 1984**).....(12)
- **Tab. II.1.** Relations entre les paramètres granulométriques de deux station A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB (**Mezouar. K, 2009**).....(19)
- **Tab. III.1.** Fréquences d'apparition de la houle par direction et par an (**LEM, 2011**).....(25)

## Liste des figures

- **Figure. I.1.** Modes de transport sédimentaire (**Francois. M, 2011**).....(6)
- **Figure. I.2.** Schéma général de la dynamique sédimentaire (**Parker.R, 1986 Mehta. A.J et al., 1989**).....(9)
- **Figure. III.1.** Délimitation de Stora (**Google Earth, 2013**).....(24)
- **Figure. III.2.** Evolution du trait de la Côte de Stora (**LEM, 2011**).....(25)
- **Figure. III.3.** La bathymétrie de Stora-Skika (**LEM, 2011**).....(27)
- **Figure. III.4.** Répartition spatiale de la fraction fine (**LEM, 2011**).....(29)
- **Figure. III.5.** Répartition spatiale de la médiane (D50) (**LEM, 2011**).....(30)
- **Figure. III.6.** Répartition spatiale du décile supérieur (D90) (**LEM, 2011**).....(32)
- **Figure. III.7.** Les vecteurs résiduels obtenus à l'aide du modèle GSTA.....(35)

# *Sommaire*

# Sommaire

<b>Introduction générale</b> .....	(1)
<b>Chapitre I : Généralités</b>	
I.1. Sédiments, définitions et classification.....	(3)
I.1.1. Les sables .....	(4)
I.1.2. Les silts .....	(4)
I.1.3. Les argiles .....	(5)
I.1.4. les colloïdes .....	(5)
I.2. Modes de transport des sédiments .....	(6)
I.2.1. Le transport par roulement ou charriage .....	(6)
I.2.2. Le transport par saltation.....	(6)
I.2.3. Le transport en suspension (ou suspended load).....	(6)
I.3. Processus mis en jeu dans le transport sédimentaire .....	(7)
I.4. Moyens de Solution du transport sédimentaire.....	(10)
I.4.1. Modélisation physique (Modèle réduit).....	(10)
I.4.1.1. Définition.....	(10)
I.4.1.2. La similitude.....	(10)
I.4.1.2.1. Généralités .....	(10)
I.4.1.2.2. Echelles de similitude.....	(11)
I.4.1.3. Avantages et inconvénient .....	(12)
I.4.1.3.1. Avantages.....	(12)
I.4.1.3.2. Inconvénients .....	(12)
I.4.2. Modèle mathématique (Numérique).....	(13)
I.4.2.1 Généralités .....	(13)

I.4.2.2. Définition.....	(13)
I.4.2.3. Evaluation qualitative des mouvements sédimentaires à partir des résultats des modèles numériques-Association entre Modèles mathématiques et études sur plans.....	(13)
I.4.2.4.Etat de l'art de la modélisation numérique classique du transport sédimentaire.....	(14)
I.4.2.5. Avantages et inconvénient.....	(15)
I.4.2.5.1. Avantages .....	(15)
I.4.2.5.2. Inconvénients.....	(15)

## **Chapitre. II. Modélisation numérique (Méthode GSTA)**

II.1. Principe du GSTA.....	(16)
II.2. Méthodologie .....	(16)
II.3.Limites de calcul des tendances .....	(21)

## **Chapitre. III. Application et résultats**

III.1. Acquisition des données.....	(22)
III.1.1. Présentation de la zone d'étude.....	(22)
III .1.2. Evolution du trait de côte.....	(24)
III.1.3. Houles .....	(25)
III.1.4. Courantologie .....	(26)
III.1.5. Analyse bathymétrique.....	(26)
III.1.6. Etude sédimentologie.....	(28)
III.1.6.1. Répartition spatiale de la fraction fine (< 50 microns).....	(28)
III.1.6.2. Répartition spatiale de la fraction grossière.....	(30)
IV.1.6.2.1: La Médiane (D50).....	(30)
IV.1.6.2.2: Le décile supérieur (D90).....	(31)
III.1.6.3 : Conclusion sur l'étude sédimentologie .....	(32)

III.2. Application du modèle GSTA dans la zone de Stora.....	(33)
III.2.1. Calcul des paramètres granulométriques.....	(33)
III.2.2. Détermination de la distance critique Dcr .....	(33)
III.2.3. Simulation numérique.....	(33)
III.2.4. Interprétation des résultats.....	(36)
<b>Conclusion générale</b> .....	(37)

## **Bibliographie**

## **Annexes**

*Introduction  
générale*

### **Introduction générale :**

Sous l'action des courants, des vents ou des houles, les particules solides, qui forment les sédiments que l'on rencontre dans les fleuves et le long des littoraux, peuvent être arrachées des fonds, entraînées sur des distances plus ou moins grandes et déposées dans la zone calme. Ces remaniements sédimentaires provoquent, dans certains cas, des érosions ou des dépôts préjudiciables à l'équilibre naturel d'un site, ou à son aménagement.

La connaissance du volume de sables mobilisés parallèlement à la côte par la dérive littorale et l'étude de son évolution en fonction des conditions environnementales constituent l'une des démarches indispensables à toute analyse prévisionnelle de gestion de l'érosion marine le long des plages de la baie.

Le rivage de Stora-Skikda est un exemple de l'attaque de la mer mais aussi l'influence des ouvrages portuaires sur l'équilibre sédimentaire littoral. La perturbation du transit sédimentaire induit à la dégradation des plages adjacentes. Ce littoral, écologiquement riche et très vulnérable concentre sur un espace restreint une forte activité socio-économique et une démographie dynamique (**LEM, 2011**).

En général, on ne retrouve pas toutes les catégories granulométriques au même endroit, mais il s'effectue une ségrégation des particules, dans les directions horizontales et sur la verticale. On observe géographiquement des alternances de zones de galets, de sables grossiers et de sables fins, ainsi que des zones dominées par des sédiments cohésifs constitués d'argiles et de vases. En un point donné, la nature du substrat peut aussi varier sur la verticale avec la présence de strates de natures différentes (**EDF. S, 2004**).

Il existe des différentes techniques pour modéliser la direction et la distribution des sédiments transportés, ces techniques ont évoluées depuis des formules empiriques à des équations semi-empiriques numériques programmées sur dans des outils informatiques bien développés (**TELEMAC-3D**).

Les sédiments qui subissent un transport vont connaître un classement sélectif plus au moins important, ce qui aura un effet sur la distribution granulométrique des sédiments qui auront été transportés puis déposés (**Héquette. A, Hemdane. Y & Anthony. E. J, 2008**).

Pour (**Bagnold, R.A, 1980**), il est difficile voire impossible d'utiliser un cadre mathématique déterministe pour obtenir une expression précise des processus de transport. L'utilisation de la

modélisation axée sur les données est une approche alternative. Il est particulièrement adapté dans le cas de la modélisation du transport des sédiments, lorsque la connaissance de la physique est limitée.

L'étude des phénomènes hydrodynamiques et des mouvements sédimentaires par l'application d'un modèle GSTA (Global Size Trend Analysis) développé par Gao et Collins, permettra de mieux comprendre le schéma des mouvements sédimentaires le long de la zone d'étude. Dans notre projet, nous présentons un modèle piloté par les données basée sur le système information géographique SIG pour déterminer le transport des sédiments à l'aide des propriétés des grains, c'est une méthode d'analyse des tendances des grains.

Notre travail a été départagé en trois grands chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à décrire des généralités sur le transport sédimentaire ainsi que les différentes méthodes de modélisation de ce phénomène ;
- Le second chapitre résume le principe du modèle utilisé (GSTA) ainsi que la méthodologie utilisée durant notre travail;
- Le troisième et dernier chapitre est une application du modèle GSTA dans la zone d'étude, ainsi que le résultat obtenus et leur interprétation.

*Chapitre I*  
*Généralités*

## Chapitre. I. Généralités :

Les interactions possibles entre les fluides en mouvements et les sols, sont extrêmement complexes en nature et les mouvements sédimentaires que l'on peut constater dépendent de multiples paramètres, gradients de vitesse dans le fluide, nature des matériaux, porosité et cohésion des dépôts..., vont intervenir dans les conditions d'érosion et de transport sédimentaires.

Dans ce chapitre, nous allons décrire les processus physiques influençant sur transport sédimentaire et à leur modélisation. Tout d'abord, nous rappelons quelques définitions concernant les sédiments, leurs modes de transport, les processus influençant le transport sédimentaire en milieux côtiers et différents types de modélisation.

### I.1. Sédiments, définitions et classification:

Les sédiments sont généralement issus de l'altération des formations continentales superficielles et de l'activité biologique in situ, etc. L'altération constitue l'ensemble des mécanismes qui libèrent les particules des roches et soustraient les éléments dissous à la surface terrestre, avant qu'interviennent les processus d'érosion, puis de transport et de dépôt. Les sédiments sont de nature très variée selon les roches dont ils dérivent et sont dominés par des silicates, surtout le quartz pour les fractions grossières, et les minéraux argileux et les carbonates d'origine biogénique (**Chauchat. J, 2007**).

Un sédiment (particule élémentaire) est caractérisé par son diamètre, sa densité, sa forme et son état de surface. Dans une eau calme, une particule alimentaire est soumise à trois forces : Gravité (proportionnelle à la masse de la particule), poussée d'Archimède et la résistance opposée par le fluide en mouvement

Le spectre granulométrique est très étendu, depuis les fines poussières jusqu'aux gigantesques blocs, et les sédiments ont des formes très variées : ils sont curviformes, allongés, aplatis ou en feuillets mais rarement sphériques. Ces formes compliquent beaucoup la mesure de la taille des particules et introduisent des incertitudes. L'analyse des tailles fait appel à une échelle partagée en classe granulométrique, dont la progression est géométrique par commodité historique. La progression la plus utilisée est celle de (**Wentworth .C. K, 1922**), pour laquelle chaque classe principale correspond à un diamètre du double ou de la moitié de la classe voisine, la classe de base correspondant à 1 mm (**Tableau. I.1**) :

**Tab. I.1.** Classification des sédiments (Wentworth .C. K, 1922):

Nom en français		Nom en anglais	Taille	
Blocs		Boulders	$\geq 256$	Sédiments grossiers
Gros cailloux		Cobbles	64 - 256	
Graviers		Gravels	32 - 64	
Petits cailloux		Pebbles	4 - 32	
Granules		Granules	2 - 4	
Sable	Sable très grossier	Very Coarse Sand	1 - 2	
	Sable grossier	Coarse sand	0,5 - 1	
	Sable moyen	Medium sand	0,25 - 0,5	
	Sable fin	Fine sand	0,125 - 0,25	
	Sable très fin	Very fine sand	0,0625 - 0,125	
Silt	Silt grossier	Coarse Silt Medium silt Fine silt Very fine silt	0,0312 - 0,0625	Sédiments fins
	Silt moyen		0,0156 - 0,0312	
	Silt fin		0,0078 - 0,0156	
	Silt très fin		0,00390625 - 0,0078	
Argile		Clay	0,0001 - 0,00390625	
Colloïde		Colloid	< 0,0001	

En milieux estuariens et côtiers les sédiments ont des tailles inférieures à quelques millimètres. On y retrouve les sables, les silts, les argiles et les colloïdes :

**I.1.1. Les sables:** sont constitués de petites particules provenant de la désagrégation d'autres roches, dont la dimension est comprise entre 0,063 et 2 mm. Ils sont classés selon leur granulométrie. Ils sont souvent, du fait de l'érosion, le produit de la décomposition du granit et des roches carbonatées ainsi que des organismes à squelette calcaire ou siliceux;

**I.1.2. Les silts:** sont des particules très fines, de diamètre compris entre 4–63  $\mu\text{m}$ , obtenues par l'effritement mécanique des roches sur le fond, et plus particulièrement sous l'action des courants pour les silts d'origine fluviale. Ce sont des particules suffisamment fines pour être transportées sur de longues distances par les courants.

**I.1.3. Les argiles:** sont composées, par des aluminosilicates hydratés, qui présentent une structure feuilletée ou fibreuse qui explique leur plasticité. On les classe en trois familles :

- La kaolinite ;
- La montmorillonite, également connue sous l'appellation de terre de Sommières ;
- L'illite, qui est la plus répandue.

À noter que ces minéraux ne se rencontrent pas isolément dans la nature mais dans des roches composées d'un mélange de minéraux typiques des argiles et d'autres minéraux ou matériaux associés (sable, oxyde de fer, calcaire, débris végétaux). L'interstice entre les feuillets contient de l'eau ainsi que des ions. Il en résulte des variations de distance entre les feuillets, et donc des variations dimensionnelles macroscopiques de l'argile quand elle s'hydrate (dilatation) ou s'assèche (contraction) et donc une grande variabilité des propriétés rhéologiques.

**I.1.4. Les colloïdes :** sont des éléments d'origine minérale ou organique de diamètre inférieur à 0,1 micron. Ils jouent un rôle important dans les processus de cohésion et de floculation.

Les sédiments fins sont caractérisés par une taille arbitraire inférieure à 62,5  $\mu\text{m}$ , ce sont les sables très fins, les silts, les argiles et les colloïdes. Ils sont facilement transportables et sont à l'origine de l'envasement des estuaires et des zones côtières adjacentes.

Le comportement des sédiments ne dépend pas uniquement de leur granulométrie (**Tableau. I.1**) mais aussi de leur composition et notamment de leur teneur en argile et en matières organiques. C'est ainsi qu'on différencie les sédiments non-cohésifs des sédiments cohésifs :

- Les particules constitutives des sédiments non-cohésifs sont indépendantes les unes des autres et conservent leur individualité dans leur déplacement, elles n'ont pas tendance à s'agglomérer. Elles constituent les sables;
- Les sédiments cohésifs résultent principalement de la présence d'argiles et/ou de matières organiques. Les grains tendent à se lier entre eux et à former des agrégats ou floccs, la taille effective des floccs change continuellement sous l'effet des propriétés physicochimiques du milieu (tel que salinité) et de l'énergie turbulente de l'écoulement (**Verney .R, 2006**). Leur densité varie en fonction de leur teneur en matières organiques, en eau interstitielle ou encore selon leur composition minéralogique. Ce sont les vases.

## I.2. Modes de transport des sédiments:

Une particule sédimentaire déposée sur les fonds ne peut être mise en mouvement que si les forces hydrodynamiques qui agissent sur elle sont supérieures aux forces stabilisatrices. Pour les éléments fins, il faut tenir en plus des effets de cohésion entre les particules.

D'après (Chauchat, J, 2007), il existe trois modes de transport des particules : le roulement ou charriage, la saltation et la suspension. Ces trois modes peuvent se produire simultanément et les particules concernées par chaque mode dépendent des conditions d'écoulement (contrainte de cisaillement sur le fond) (Fig. I.1):



Figure. I.1 : Modes de transport sédimentaires (Francois, M, 2011)

**I.2.1. Le transport par roulement ou charriage:** concerne les grains de la couche superficielle des sédiments non-cohésifs qui roulent sur le fond dans le sens de l'écoulement jusqu'à trouver une nouvelle position d'équilibre. Ce mode de transport se produit essentiellement lorsque la contrainte de frottement est proche de la contrainte critique de mouvement;

**I.2.2. Le transport par saltation:** apparaît lorsque le seuil de mouvement est dépassé. L'impulsion fournie par le fluide fait sauter les particules au-dessus du fond suivant une trajectoire balistique. La hauteur maximale atteinte par les grains est de l'ordre de grandeur du diamètre de celle-ci ;

**I.2.3. Le transport en suspension (ou suspended load):** se produit lorsque l'écoulement est suffisamment fort pour maintenir en suspension les particules sans que celles-ci ne se redéposent. Les particules concernées par ce mode de transport sont les

sables, les silts et les argiles. La taille et le poids des particules transportées sont en relation directe avec l'intensité de l'écoulement.

D'après (**Bagnold. R.A, 1973**) la distinction principale se fait entre le transport en suspension et le transport par charriage sur le fond (bed load) comprenant le roulement et la saltation. Dans le cas du transport par roulement et par saltation, l'impulsion fournie par le fluide est sur l'horizontale contrairement au transport en suspension.

Les sédiments non-cohésifs peuvent être transportés par ces trois modes, charriage sur le fond, saltation et transport en suspension. Par contre, les sédiments cohésifs sont principalement transportés en suspension (suspended load) et leur érodabilité varie en fonction de l'état de consolidation des dépôts de vase sur le fond (**Chauchat. J, 2007**).

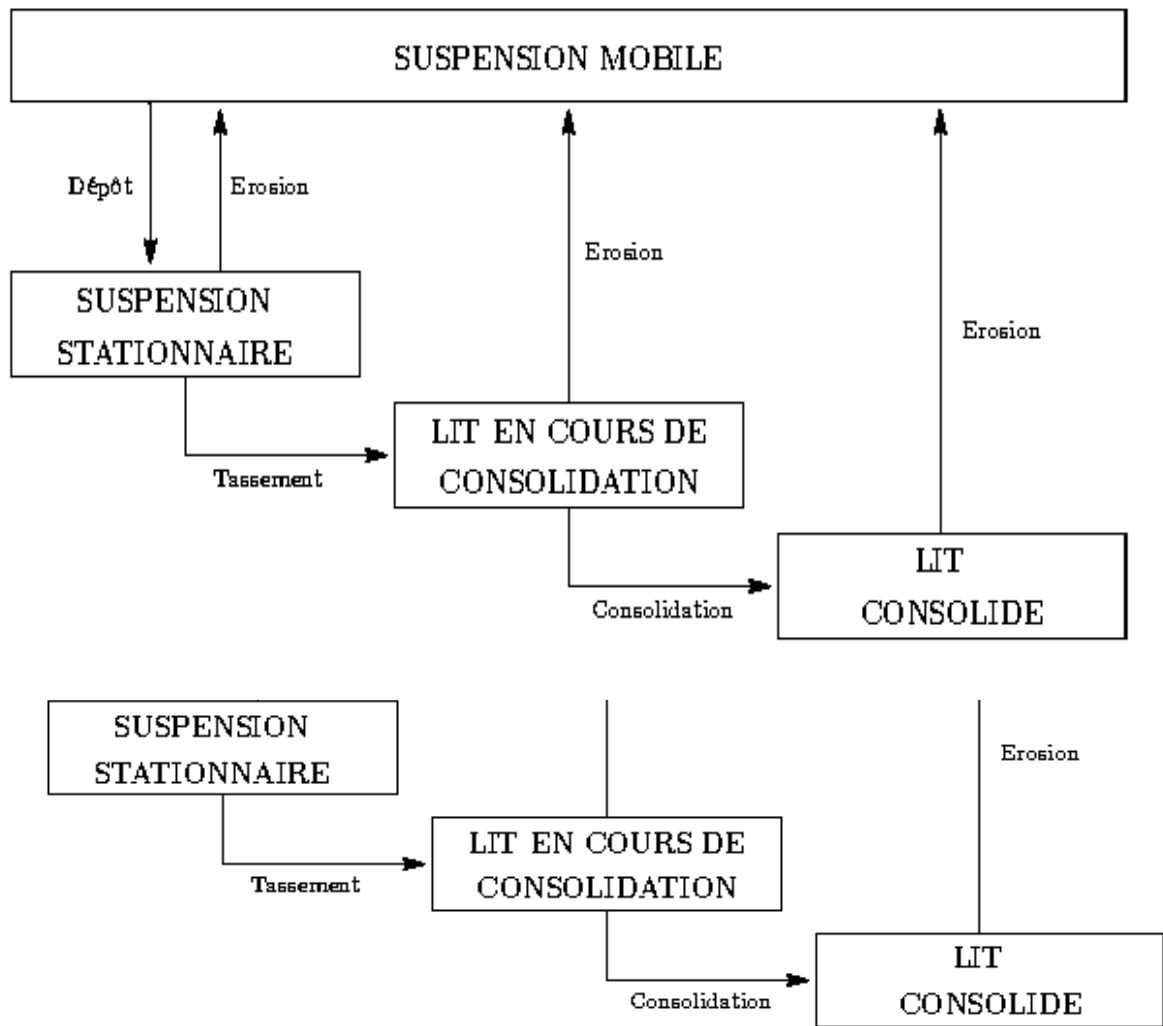
### **I.3. Processus mis en jeu dans le transport sédimentaire:**

Le comportement des sédiments dans les zones côtières et estuariennes est influencé par de nombreux phénomènes. Les particules chutent, sédimentent et se déposent sur le fond pour former le sédiment. Dans le sédiment se produisent les processus de tassement et de consolidation. Lorsque l'agitation engendrée par les courants et les vagues est suffisante, les sédiments peuvent être remis en suspension ou érodés puis transportés dans l'eau (**Chauchat.J, 2007**).

Au cours de ce transport les sédiments cohésifs peuvent flocculer pour former des agrégats, modifiant ainsi leur chute. (**Parker. R, 1986**) puis (**Mehta. A.J et al., 1989**) ont proposé un modèle conceptuel de la dynamique sédimentaire estuarienne reliant les processus de dépôt - érosion - transport aux états spécifiques des vases (**Fig. I.2**). Les phénomènes hydrodynamiques tels que la marée, les vagues, le mélange des eaux douces et salées vont fortement influencer la dynamique sédimentaire. Nous allons décrire succinctement ces différents processus :

- **La sédimentation** : est définie comme le processus de chute d'éléments solides (particules, flocons, agrégats, ...) dans un liquide sous l'action de la pesanteur et des forces de frottement dues à la viscosité du fluide ; au cours de ce processus, les grains sont distants les uns des autres de sorte que les interactions directes entre particules sont faibles tant que la distance inter-particulaire est grande ;

- **Le transport en suspension des sédiments** est assuré par l'advection, mouvement moyen, d'une part, et la dispersion liée aux fluctuations turbulentes d'autre part. Lorsque l'intensité de la turbulence devient trop faible, les particules sédimentaires se déposent sur le fond (**Eisma. D, 1992**), entre autres). Le processus de floculation peut fortement influencer la sédimentation lorsque la teneur en argile de la suspension est importante ;
- **La floculation** : est donc un processus spécifique aux sédiments cohésifs. En observant une suspension concentrée au microscope, on peut voir sous certaines conditions des amas de particules appelés floccs, eux-mêmes constitués de petits amas compacts de particules fines appelés agrégats (**Mewis. J and Spaul. A, 1976**). La formation d'une telle structure est appelée agrégation, coagulation ou floculation. Les floccs et les agrégats se forment par fixation de particules après une collision. Les mécanismes contribuant principalement à ce processus sont le mouvement brownien résultant de l'agitation thermique des molécules fluides, le cisaillement dû aux gradients de vitesse au sein du fluide et la vitesse de chute différentielle résultant des différences de forme et de taille des amas (**Hayter, E. J, 1983**). La fréquence des collisions augmente évidemment avec la concentration. Lorsque deux particules cohésives sont suffisamment proches, elles peuvent coaguler sous l'action de forces inter-particulaires attractives diverses;
- **La consolidation** correspond au tassement et à la densification d'un dépôt de sédiments par évacuation du liquide interstitiel sous l'action de la pression due au poids propre des grains et/ou à un chargement extérieur. Dans ce processus, le fluide interstitiel circule dans la matrice solide constituée par des grains très voisins voire en contact ;
- **L'érosion** peut être définie comme la remise en mouvement des particules du fond sédimentaire. L'érosion se produit lorsque la contrainte de frottement au fond devient suffisamment grande pour vaincre les forces de cohésion et de pesanteur qui maintiennent les particules au fond (**Partheniades. E, 1962**). L'érosion est d'autant plus efficace que la vase est fraîchement déposée et donc peu consolidée. Les vagues peuvent jouer un rôle important sur l'érosion en imposant un chargement cyclique du fond qui favorise la liquéfaction et la formation de rides « ripple marks », modifiant ainsi la rugosité.



**Figure. I.2:** Schéma général de la dynamique sédimentaire (Parker.R, 1986 Mehta. A.J et al., 1989)

#### I.4. Moyens de Solution du transport sédimentaire:

Le transport sédimentaire est un phénomène complexe, la modélisation de ce dernier s'impose le plus souvent, surtout si l'on cherche à obtenir le meilleur rapport efficacité/cout de la réalisation, permet d'abord des problèmes complexes dans les meilleures conditions en offrant la possibilité de prévoir l'avenir d'un littoral ou la faisabilité d'un port en comparant expérimentalement différents projets.

##### I.4.1. Modélisation physique (Modèle réduit):

###### 1.4.1.1. Définition:

Un modèle est la reproduction physique, selon certaines échelles géométriques, du site que l'on désire étudier. Il présente l'avantage de pouvoir tester en un temps relativement court (par rapport au prototype) la validité de plusieurs projets, leur coût de construction étant bien sûr minime sur le modèle.

###### 1.4.1.2. La similitude:

Le choix des différentes échelles de réduction et la représentation des différents paramètres hydrauliques et sédimentologiques font appel à l'application des lois de similitude.

###### I.4.1.2.1. Généralités :

La théorie de la similitude met en évidence une série de nombres adimensionnels (Mach, Froude, Euler, Reynolds, etc.) qu'il convient de conserver sur le modèle. Comme tous les nombres ne peuvent être conservés (deux paramètres étant les mêmes sur le modèle et dans le prototype : gravité et le fluide), il faut faire un choix en fonction du type de phénomène à représenter (Valembois, J, 1960).

Pour les modèles maritimes, il est admis de conserver le nombre de **FROUDE** représenté dans la formule [I.1] :

$$F = \frac{v^2}{gd} \quad \dots\dots\dots (I.1)$$

(**V** : vitesse de l'eau ; **d** : profondeur et **g** : gravité = 9.81 m/s<sup>2</sup>)

Qui représente le rapport des forces d'inertie aux forces de pesanteur.

En revanche, le nombre de **Reynolds** ( $\mathbf{R} = \frac{Vd}{\nu}$ ) rapport des forces d'inertie aux forces de viscosité, ne peut pas également être conservé dans le prototype et sur le modèle sous peine d'avoir des échelles géométriques égales à l'unité. On s'affranchit de cette condition en s'imposant d'être dans le même régime d'écoulement dans le modèle et le prototype, c'est-à-dire que l'on doit généralement satisfaire la condition  $\mathbf{VD}/\nu > 500$  sur le modèle.

#### I.4.1.2.2. Echelles de similitude:

Pour différentes raisons (superficie du modèle et similitude sédimentologique notamment), il est nécessaire de distordre le modèle (échelle en plan différente de l'échelle des hauteurs).

Sur les modèles distordus de propagation de houle, la condition de similitude de Froude sera satisfaite en représentant les longueurs d'onde de la houle à l'échelle des hauteurs afin d'assurer la représentation correcte de la réfraction (**Tableau. I.2**). En revanche, il faut savoir que les phénomènes de diffraction ne seront pas correctement représentés.

**Tab. I.2.** Les échelles de similitude déduites de la condition de Froude (**Pechon. P et Coeffe. Y, 1984**):

Grandeurs	Longueurs	Hauteurs	Distorsion	Surfaces Horizontales	Surfaces Verticales
Echelles	$\frac{1}{m}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{m}{n}$	$\frac{1}{m^2}$	$\frac{1}{mn}$

grandeurs	volumes	Débits horizontaux	Vitesses horizontales	Vitesse verticales	Temps Hydrauliques (marée)
Echelles	$\frac{1}{m^2n}$	$\frac{1}{m^{3/2}}$	$\frac{1}{n^{1/2}}$	$\frac{m}{n^{3/2}}$	$\frac{n^{1/2}}{m}$

Les échelles propres à la houle sont alors, en adoptant une similitude de réfraction (**Tableau. I.3**):

**Tab. I.3** : Les échelles de similitude de la réfraction de la houle (**Pechon. P et Coeffe. Y, 1984**):

Grandeurs	Longueurs d'onde	Célérités	Périodes	Hauteurs	Courant de houle
Echelles	$\frac{1}{n}$	$\frac{1}{n^{1/2}}$	$\frac{1}{n^{1/2}}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{m^{1/3}}{n^{5/6}}$

Tel que (**n** : nature et **m** : modèle).

#### I.4.1.3. Avantages et inconvénient :

##### I.4.1.3.1. Avantages:

- ✓ Basés sur des lois de similitude appropriées aux objectifs de recherches ;
- ✓ Représentation correcte des transports simultanés en charriage et en suspension: respect des triages granulométriques ;
- ✓ Visualisation des phénomènes et comparaison directe avec la nature: les utilisateurs peuvent contrôler à tout moment les phénomènes qui pourront se produire à la suite d'un aménagement ou de la réalisation d'un ouvrage.

##### I.4.1.3.2. Inconvénients :

- ✓ Encombrement assez grand nécessitant des superficies de halls d'essais appréciables (la superficie d'un modèle sédimentologique peut atteindre 800 à 1000 m<sup>2</sup> pour un très grand modèle et 100 m<sup>2</sup> pour un petit modèle) ;
- ✓ Similitude délicate pour tenir compte de l'ensemble des phénomènes (houles, marées, courants) ; nécessité d'adapter les échelles entre elles pour réduire les incompatibilités ;
- ✓ Durée des études et prix de revient assez importants tendant à diminuer grâce à l'évolution de l'appareillage et à une meilleure connaissance des lois de l'hydrodynamique sédimentaire (réduction considérable de la durée de tarage des modèles).

## **I.4.2. Modèle mathématique (Numérique) :**

### **I.4.2.1 Généralités :**

L'utilisation du modèle mathématique a fortement progressé au cours des trente dernières années et les domaines d'application ainsi que la précision de cette technique sont en augmentation continue. Cette évolution rapide est liée, comme pour les modèles physiques, à l'amélioration de la connaissance des mécanismes responsables des mouvements sédimentaires et à leur formulation théorique associée au développement considérable de la puissance des ordinateurs.

De même qu'un modèle physique se construit dans des installations prévues à cet effet (cuve ou canal, pompes, générateurs de houle, instruments de mesure, matériaux mobiles ...), un modèle mathématique se construit à partir d'un ou plusieurs codes de calcul appropriés. Un code de calcul est un logiciel informatique bâti pour résoudre une classe particulière de problèmes physiques. Pour chaque problème concret appartenant à cette classe, il faut construire un modèle particulier. Concrètement cela signifie qu'il faut fournir au logiciel un ensemble de données relatives au site à étudier. Le logiciel fournira alors les résultats qui s'en déduisent.

### **I.4.2.2. Définition:**

La modélisation de l'hydrodynamique en milieu côtier a trouvé un plein épanouissement depuis ces dernières années avec la simulation numérique des courants de marée. Ces modèles permettent de résoudre les équations non linéaires des ondes longues à faible cambrure en régime non permanent et dans un domaine très complexe. La prise en compte de la variation de la géométrie des zones couvertes et découvertes par la marée, offre un progrès supplémentaire récent et permet de disposer avec une très bonne précision des champs de courants, direction, et vitesse sur toute l'étendue d'une zone littorale soumise à la marée (**Latteux. B, 1989**).

### **I.4.2.3. Evaluation qualitative des mouvements sédimentaires à partir des résultats des modèles numériques-Association entre Modèles mathématiques et études sur plans:**

On peut toujours, partant des modèles numériques de la houle ou de courant, déterminer par le calcul des contraintes tangentielles exercées par l'eau sur les fonds et en appliquant les équations de transport des sédiments, obtenir une cartographie de l'intensité des transports au

cour d'une période déterminée et en déduire des prévisions sur les zones probables d'érosion et de dépôt sur une période de temps assez courte. Partant de ce nouvel état des fonds, il sera ensuite possible de reprendre le calcul hydraulique et de réinjecter dans les résultats des équations de transport.

Dans tous les cas, une telle approche ne peut être valable que si l'on a bien pris en compte les transports par charriage et par suspension qui peuvent conduire à des évolutions des fonds diamétralement opposées si l'on s'est trompé dans l'évaluation du pourcentage de chacun de ces types de transport (**Bouchard. J.B; Cordelle. M; Lorin. J, 1989**).

Cette association entre le modèle mathématique hydraulique et l'étude sédimentologique sur plans, peut présenter un réel intérêt pour évaluer qualitativement les risques d'érosion ou de sédimentation d'un secteur géographique déterminé. Par exemple, en partant d'une étude statistique des houles au large (direction, fréquence de période et de hauteur) il sera possible à partir des plans de réfraction des houles de définir en chaque point et pour chaque direction de houles du large, le bilan de remaniement sédimentaire local des houles et d'introduire par une évaluation des courants induits dans la couche limite, le bilan de transport résultant dans un sens préférentiel. Sur la côte la même approche permettrait de calculer le transit littoral par direction, la profondeur du transport, le bilan résiduel annuel ... Il ne s'agit pas d'une étude approfondie sur modèle mathématique sédimentologique mais d'une approche qualitative des phénomènes sédimentaires par utilisation des résultats des modèles mathématiques hydrauliques en admettant certaines relations entre hauteur des vagues ou vitesses moyennes et contraintes tangentielles exercées par l'eau sur les fonds.

#### **I.4.2.4. Etat de l'art de la modélisation numérique classique du transport sédimentaire:**

L'approche couramment utilisée pour modéliser le transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens suppose que le domaine de calcul soit divisé en deux sous-domaines.

L'un est constitué d'un milieu fluide au sein duquel la concentration de sédiments est faible. Dans ces conditions, les interactions fluide-particule peuvent être négligées et les particules sont considérées comme un "scalaire passif" exception faite de leur vitesse de chute qui doit être prescrite. L'autre sous-domaine, au fond, traite les phénomènes de tassement et de consolidation (**Ghezali. F, 2004**).

La définition de la transition entre le fond et le fluide au-dessus est toujours un problème délicat, dans la nature comme dans les modèles. Cette transition est souvent définie à partir d'une concentration ou d'une densité de référence. Cette ambiguïté dans la définition du

fond est une des motivations fortes pour l'approche diphasique qui ne nécessite pas une telle définition. L'un des points délicats dans l'approche classique consiste à modéliser les échanges de matières entre ces deux sous-domaines. Ils doivent être paramétrisés par l'intermédiaire de formules empiriques (**Partheniades. E, 1965**).

#### **I.4.2.5. Avantages et inconvénient :**

##### **I.4.2.5.1. Avantages :**

- ✓ Peuvent englober des étendues très importantes (Manche, embouchure d'un estuaire, ensemble d'une zone littorale...) et être transposés à des secteurs plus réduits en partant des conditions aux limites du modèle d'ensemble ;
- ✓ Exploitation assez rapide et prix de revient intéressant, lorsque le code de calcul existe ;
- ✓ Peuvent traiter actuellement de nombreux problèmes d'hydraulique purs avec une bonne précision: Ecoulements moyens en rivière, ressaut, réfraction diffraction réflexion des houles, simulation des courants de marées, prise en compte du vent ... ;
- ✓ Visualisation de plus en plus conviviale avec l'apparition de processus graphiques spécialisés et les images de synthèse. Possibilités d'animation vidéo en temps réel.

##### **I.4.2.5.2. Inconvénients :**

- ✓ Mode de calcul délicat et long à mettre au point (plusieurs mois voire plusieurs années) ;
- ✓ Difficultés de faire des modèles tridimensionnels qui prennent en compte les variations des vitesses, densités ... sur la verticale.

# *Chapitre II*

*Modélisation numérique  
(Méthode GSTA)*

## Chapitre. II. Modélisation numérique (Méthode GSTA) :

La méthode GSTA est une méthode des vecteurs a été développée avec des modèles de tendances variées pour prendre en considération ses modèles de transport possible qui ne peuvent être dérivé qu'empiriquement, puisque leur rapport avec les conditions hydrodynamiques est inconnu (Gao. S, Collins. M, 1994a).

Ce chapitre est consacré à définir le principe d'un modèle numérique à savoir le GSTA ainsi que la méthodologie suivie et les limites d'utilisation de ce modèle.

### II.1. Principe du GSTA :

Le principe du modèle GSTA repose sur le postulat que la répartition des sédiments sur le fond résulte des processus de transport sédimentaire (Mc Laren. P, 1981; Mc Laren. P, Bowles. D, 1985; Gao et Collins, 1992 and Cordier, E, 2007).

L'érosion, le transport par traction, saltation ou suspension, le dépôt sélectif ou total ainsi que le mélange de sédiments en provenance de différentes sources, sont à l'origine de la variation de la distribution spatiale des paramètres granulométriques. Les directions privilégiées du transport sédimentaire peuvent être décrites par l'évolution de la taille moyenne ( $M_z$ ), du tri ( $S_o$ ) et de la symétrie de la distribution sédimentaire ( $S_k$ ) (Mc Laren. P, 1981).

### II.2. Méthodologie :

#### 1<sup>ère</sup> étape :

Elle consiste à calculer les indices granulométriques en unités de « Phi ». Les trois paramètres granulométriques usuels utilisés en sédimentologie sont : la taille moyenne des sédiments ( $M_z$ ), l'indice de tri ( $S_o$ ), l'indice de symétrie de la distribution ( $S_k$ ). Le calcul de ces paramètres est possible par les formules de Folk et Ward (1957) qui nécessite l'élimination de la fraction coquillière de l'échantillon :

- **Indice central (diamètre moyen  $M_z$ )** : permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des grains. Il traduit la puissance moyenne des paléo-écoulement (Losson.B , Corbonnois.J, 2006). Où qui est le logarithme à base de 2 du diamètre D en millimètre ; on l'obtient par l'équation [II.1]:

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3} \dots\dots\dots(II.1)$$

- **Le tri** : il donne une idée sur l'étalement de la courbe au tour de son grain moyen, et il nous renseigne sur la croissance du tri lors du transport et de la sédimentation (Chamley.H, 1987), ce paramètre est calculé par la relation [II.2] :

$$Si = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6} \dots\dots\dots(II.2)$$

- **Indice d'asymétrie (Skewness Sk)** : ce paramètre indique sur l'enrichissement en particules grossières (asymétrie négative), l'enrichissement en particules fines (asymétrie positive) ou s'il y'a symétrie. Il exprime le milieu de dépôt, plutôt que les conditions du transport (Losson. B, Corbonnois. J, 2006). Il peut être calculé par la formule suivante [II.3] :

$$Sk = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(95\phi - \phi_5)} \dots\dots\dots(II.3)$$

### 2<sup>ème</sup> étape :

Une distance critique doit être ensuite déterminée entre les stations de l'échantillonnage. Il s'agit de la distance maximale qui existe entre deux échantillons voisins en prenant en compte l'ensemble des échantillons prélevés. Cette distance permettra à la suite de distinguer les échantillons qui seront considérés comme voisins lors des étapes ultérieures. Si la distance entre deux échantillons est inférieure à « D<sub>Cr</sub> », les deux sites seront alors considérés comme voisins.

### 3<sup>ème</sup> étape :

Cette étape est une sorte de comparaison des trois paramètres déjà calculés ; 2<sup>3</sup>=8 cas possibles peuvent apparaître entre un échantillon et son voisin, reconnu par le modèle de (Gao. S, Collins. M, 1992) :

- 1)  $Mz1 \geq Mz2$  ;  $So1 \geq So2$  ;  $Sk1 \leq Sk2$
- 2)  $Mz1 \leq Mz2$  ;  $So1 \geq So2$  ;  $Sk1 \geq Sk2$
- 3)  $Mz1 \geq Mz2$  ;  $So1 \geq So2$  ;  $Sk1 \geq Sk2$
- 4)  $Mz1 \leq Mz2$  ;  $So1 \geq So2$  ;  $Sk1 \leq Sk2$
- 5)  $Mz1 \geq Mz2$  ;  $So1 \leq So2$  ;  $Sk1 \leq Sk2$
- 6)  $Mz1 \leq Mz2$  ;  $So1 \leq So2$  ;  $Sk1 \geq Sk2$
- 7)  $Mz1 \geq Mz2$  ;  $So1 \leq So2$  ;  $Sk1 \geq Sk2$
- 8)  $Mz1 \leq Mz2$  ;  $So1 \leq So2$  ;  $Sk1 \leq Sk2$

Partant du principe que le dépôt est mieux trié dans la direction du transport sédimentaire, deux cas d'évolution peuvent alors être rencontrés, qui représentent avec une plus grande probabilité les réelles tendances de transport sédimentaire, les transports de type FB- et CB+ (Mezouar, K, 2009). Le (Tableau. II.1) définit ces deux cas de transport et présente les relations requises par les paramètres granulométriques, exprimés en unité phi ( $\phi$ ), pour un transport allant d'une station A vers une station B.

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 [II.4] :

$$d_{\phi} = -\log_2(d_{mm}) \dots\dots\dots(\text{II.4})$$

Avec :

$d_{\phi}$  la taille des sédiments en unité  $\phi$  ;

$d_{mm}$  la taille des sédiments en mm.

**Tab. II.1:** Relations entre les paramètres granulométriques de deux station A et B, pour un transport sédimentaire de A vers B, de type FB- et CB+ (Mezouar. K, 2009).

Cas	Définition	Relations
FB-	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 $\phi$ ).	$Mz1 \leq Mz2$ $So1 \geq So2$ $Sk1 \geq Sk2$
CB+	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 $\phi$ ).	$Mz1 \geq Mz2$ $So1 \geq So2$ $Sk1 \leq Sk2$

Le cas FB- correspond à des processus de transport de faible énergie et le cas CB+, des processus de forte énergie.

#### 4<sup>ème</sup> étape :

Gao et Collins (1991) ont défini un vecteur sans dimension qui peut être appliquée à chaque fois que FB- ou tendances CB+ sont identifiés entre un point central donné et une station voisine. Les vecteurs de tendances identifiées pour chaque station sont ensuite additionnés pour produire un seul vecteur. Dans cette approche, les stations voisines sont dans la distance critique (Dcr) et correspondent aux points les plus proches autour d'une gare centrale. (Gao et Collins, 1994) ont indiqué que les tendances de sédiments peuvent prédire la direction de transport, mais pas l'ampleur.

(Roux, 1994) a proposé une pondération des paramètres statistiques, c'est-à-dire, le tri et l'asymétrie, en tenant compte de la distance et de la direction des quatre stations de voisins les plus proches. De cette façon, les nouveaux paramètres statistiques sont définis dans les quatre directions cardinales, à savoir, Nord, Sud, Est et Ouest, à l'unité de distance de la gare centrale. Ensuite, une recherche est effectuée à l'existence de tendances FB et CBTH.

Cette étape consiste à esquisser une première carte vectorielle à partir des échantillons qui répondent au 1er et 2nd cas. Tous les vecteurs ont alors la même longueur car il n'est pas à ce stade d'analyser de déterminer une indication plus ou moins forte d'un transport à l'aide des trois indices granulométriques utilisés.

### 5<sup>ème</sup> étape :

Quand la relation pour un transport FB- ou CB+ est respectée (**Tableau. II.1**), 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. Dans ce cas la résultante R de ces vecteurs peut s'exprimer par **[II.5]** :

$$\vec{R}(x, y) = \sum_{n=1}^n \vec{r}(x, y) \dots\dots\dots(\text{II.5})$$

Avec :

$\vec{R}$ (x, y): somme des vecteurs de la tendance ;

$\vec{r}$ : Vecteur de la tendance ;

n: Nombre de vecteurs de la tendance identifiée pour le site ;

(x, y) : coordonnées du vecteur.

Enfin, une technique de filtrage semi quantitatif est utilisée pour enlever les vecteurs considérés comme bruit dont la direction est éloignée de la direction générale du transport, également, pour faire participer au transport les sites qui ne répondent pas à l'un des deux cas (Cas 1 , Cas 2) et ce, sur la base d'un voisinage relatif à une distance critique (Dcr) inférieure à telle du départ, le calcul de ces vecteurs est obtenu par l'équation suivante **[II.6]**:

$$\overrightarrow{R_{av}}(x, y) = \frac{1}{K+1} \left[ \vec{r}(x, y) + \sum_1^K \overrightarrow{R_j} \right] \dots\dots\dots(\text{II.6})$$

$\vec{r}(x, y)$ : Le vecteur des points sélectionnés;

$\overrightarrow{R_j}$  : Les vecteurs voisins ;

K : nombre totale de sites voisins ayant impérativement un voisin.

C'est le logiciel GSTA qui s'occupe de ces calculs, pour en tirer un tableau, qu'on peut schématiser et obtenir les tendances aux transports.

### II.3.Limites de calcul des tendances :

La pertinence du choix de la distance critique (Dcr). En effet, il faut bien choisir cette distance.

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 (Mezouar. K, 2009).

# *Chapitre III*

*Application et résultats*

## Chapitre. III. Application et résultats :

Avant d'appliquer le modèle GSTA, nous allons délimiter notre zone d'étude et détailler un peu ses caractéristiques, en présentant une évolution de trait de côte, la bathymétrie, la sédimentologie... obtenues suite à une mission réalisée par le LEM en 2011.

### III.1. Acquisition des données :

L'état des lieux consiste à rassembler toute les informations et la documentation disponible au laboratoire des études maritime (LEM) et relative aux Levés topo bathymétriques du Stora effectués en 2011 y compris collecte et analyse des données de base.

#### III.1.1. Présentation de la zone d'étude:

La zone d'étude se trouve à 345 Km d'Alger à vol d'oiseau et à 3 Km de la ville de Skikda, et est compris entre les parallèles :  $36^{\circ}54'0''$  N et  $6^{\circ}52'0''$  E en DMS (degrés, minutes, secondes) ou 36.9 et 6.86667 (en degrés décimaux).

La zone d'étude (**Fig.III.1**) présente un périmètre délimité (**LEM, 2011**) :

Du coté Est, par la ville de Skikda qui longe la mer jusqu'au tunnel ou le pont romain, elle est toutefois séparée de la mer par le port mixte sur un linéaire de 1600 ml environ avec une passe d'entrée orientée vers l'Ouest.

Du coté Ouest, par le village de Stora, surplombant le port de pêche, le village des pêcheurs est d'origine phénicienne. La surface du village est la même puisque entourée de terrains inconstructibles ou difficilement urbanisables de 8,64 Hectares.

L'agglomération est suffisamment dotée en équipements selon le rapport du P.D.A.U, avec notamment la présence de deux hôtels.

Au-delà du village une superficie de terre est susceptible d'accueillir des équipements touristiques, pour faire profiter le village du transit des estivants en créant un espace d'arrêt. Notons que l'esplanade du port de pêche reçoit aussi, la majeure partie des randonneurs de Skikda et autres estivants des plages situées au-delà du port de pêche avec quelques établissements de restauration.

Du coté Sud, par la corniche de Stora avec des constructions tout le long ; séparées de la montagne de Boulkeroud par la route supérieure qui est d'un tracé sinueux, d'une largeur moyenne de 4 mètres et qui subit les conséquences des glissements de terrain de la corniche

en aval, où sont implantées des constructions individuelles, une forêt récréative et le château Ben Gana.

Au delà du Pont romain, l'urbanisation devient moins dense, due en grande partie aux fortes pentes qui caractérisent cette limite entre la mer et la terre.

La RN 03A sur une longueur de 3 km, dont la largeur varie entre 10 et 12 mètres avec un seul trottoir de 1,5 à 2 mètre qui donne sur la mer.

Du coté Nord, par la mer Méditerranée avec une topographie sous marine sur 12 km environ présentant un plateau continental avec un rebord plus net devant la baie de Skikda, le relief de ce plateau apparaît comme remarquablement peu compacté avec une surface relativement plane de dimensions extrêmement variables entre 0 et 150 m de profondeur, la première interruption de pente à -50m conduit à qualifier cette première partie de bordure littorale et la seconde de plate forme continentale.

Cette nature laisse supposer une étroite relation entre la structure et la nature géologique de l'arrière pays. Celle de l'Ouest de Stora au pied de cap Akmes est assez serrée ce qui rend difficile la formation de côtes sableuses de grande étendue.

Deux (02) débouchés d'oueds sont présents : oued Saf Saf situé entre le port mixte et le port d'hydrocarbure à l'Est et oued El Kantara de moindre importance à l'Ouest.

Pour pouvoir comprendre et résoudre les problèmes de l'érosion de la côte de Stora, il est important de définir clairement des cellules sédimentaires côtières.

Les cellules sédimentaires sont généralement délimitées par deux obstacles au transit sédimentaire longitudinal ; naturels (promontoires, fleuves) ou artificiels (ouvrages construits) à l'intérieur desquels se produit une redistribution de sédiments. Tout littoral peut donc être partagé en plusieurs unités « les cellules sédimentaires ».

La définition de notre cellule sédimentaire est donc considérée par la présence d'infrastructures côtières et fluviales au niveau de la zone d'étude :

A l'Est, le port de Stora y compris son extension,

A l'Ouest le port mixte matérialisé par sa jetée secondaire et sa passe d'entrée,

Au Centre le tunnel situé au niveau du cap et l'Oued El Kantara.



**Figure. III.1:** Délimitation de Stora (Google Earth, 2013)

### III .1.2. Evolution du trait de côte:

L'étude diachronique du trait de côte du littoral entre le port de Stora « à l'Est » et l'ancien port de Skikda « à l'Ouest » depuis 1960 à 2010 donne un recul du trait de côte de 15 et 30 cm /an et une avancée aux droits des ouvrages tels que les jetées secondaires des deux ports et au niveau des zones abritées naturellement et observe depuis un équilibre précaire (**Fig. III.2**).



**Figure. III.2 :** Evolution du trait de la Côte de Stora (1960-2011)

### III.1.3. Houles :

Les directions de provenance essentiellement comprises dans le quadrant Nord Ouest à Nord-Est au large avec deux directions de provenance préférentielles pour le site d'étude: le Nord, le Nord-Nord-Est et le Nord Est (**LEM, 2011**), on retiendra que :

- Les houles d'Ouest, Nord, Nord -Ouest, Est et Nord sont les plus observées ;
- Les fréquences d'observations sur l'année, des houles de directions Ouest et Est sont les plus importantes ;
- La direction Ouest est dominante notamment durant le premier, deuxième et quatrième trimestre ;
- Les directions Est et Nord Est dominant avec une moindre importance durant la période estivale ;
- Les fortes houles proviennent du secteur Ouest mais n'atteignent pas le site d'étude.

En résumé : le (**Tableau. III.1**) suivant donne les fréquences d'apparition de la houle par direction et par an.

**Tab. III.1:** Fréquences d'apparition de la houle par direction et par an (**LEM, 2011**)

Direction	Ouest	Nord-Ouest	Nord	Nord-Est	Est
fréquence (%)	37.60	19.50	10.70	12.60	19.60

#### III.1.4. Courantologie :

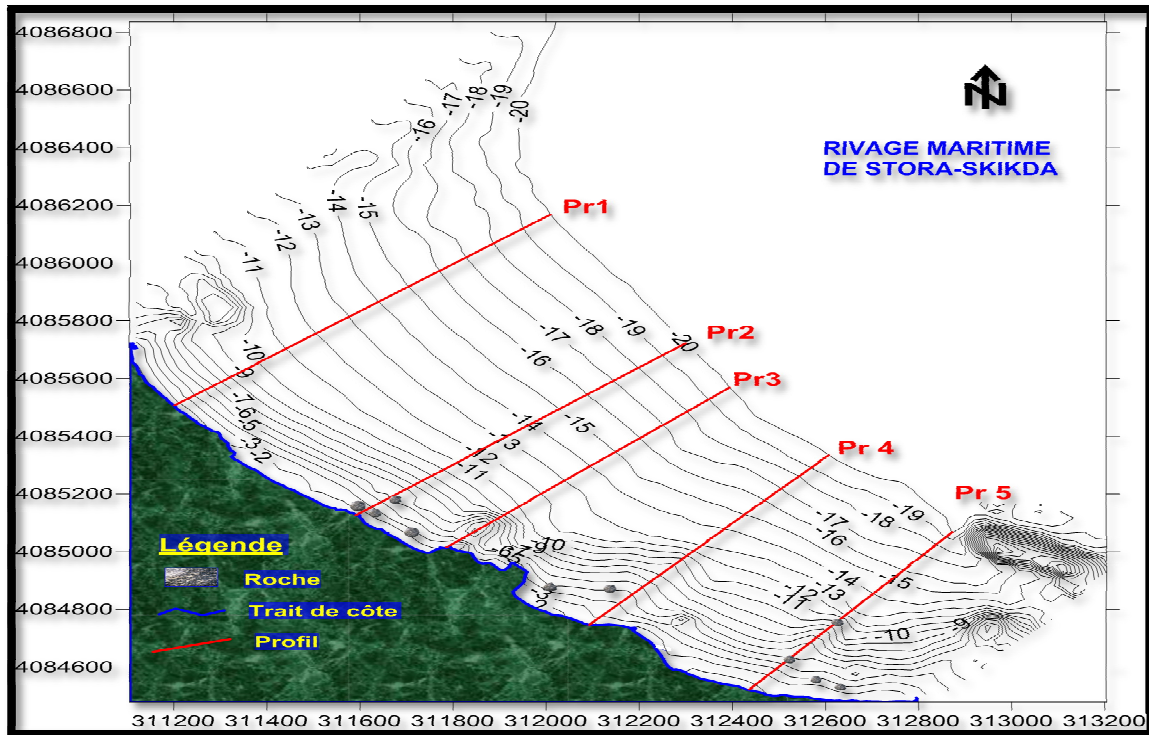
Les données de la simulation par le Mike 21 révèlent que les courants de marée, du fait du faible marnage des marées, sont négligeables voire même inexistantes. L'influence des vents est sensible et on admet généralement que le vent crée un courant de dérive dont l'intensité en surface est voisine de 3% de la vitesse du vent.

Les courants de houle conditionnent beaucoup les transferts côtiers ; pendant l'hiver ils ont une direction Ouest-Est du fait de la houle dominante du Nord-Ouest, le reste de l'année les courants ont plutôt une direction Est-Ouest. Lorsque la houle est frontale, des échanges importants peuvent se faire entre la côte et le large par des courants, orientés vers le large (rip currents) ; ces courants traversent la zone de déferlement et peuvent être importants et dépasser 1.0 m/s (2 nœuds) (LEM, 2012).

#### III.1.5. Analyse bathymétrique:

Un levé bathymétrique d'une superficie totale de 192 Ha, réalisé suivant 42 profils parallèles espacés de 50 m, atteignant l'isobathe de -20 m a été réalisé pour les besoins de l'étude (LEM, 2012).

La carte bathymétrique de la région de Stora montre des isobathes régulières espacées et parallèles à la côte, des profils perpendiculaires à la côte (P1, P2, P3, P4 et P5) (Annexe 1) montrent une topographie sous marine régulière avec des accidents topographiques majeurs.



**Figure. III.3** : La bathymétrie de Stora-Skikda (LEM, 2011)

D'après l'analyse bathymétrique de la bande côtière longeant la côte de Stora (**Fig. III.3**), nous avons informé d'un fond marin formé par des isobathes parallèles au trait de côte et assez serrés jusqu'à l'isobathe -10 m, à l'exception de la partie médiane de la zone nous avons remarqué une bathymétrie irrégulière et chahutée, dû à l'existence d'un haut fond entre les isobathes -5 m et -10 m et dont sa profondeur varie de -2 à -3 m.

Au-delà de -10 m de profondeur, les isobathes ont tendance à s'élargir au fur et à mesure qu'on s'éloigne vers le large, ce qui nous renseigne également sur la pente des fonds qui a tendance à s'adoucir :

De la côte à -10 m de profondeur, on ressort une pente de 6% des deux profils 1 et 2, au niveau de la partie Ouest du site (**Annexe 1**).

Le profil 3 qui représente la partie médiane de la zone, traduit la présence d'un haut fond entre les isobathes -5 et -10 m (**Annexe 1**).

Les deux derniers profils (4 et 5) (**Annexe 1**) au niveau de la partie Est de la zone, présentent une pente moyenne de 4%, donc une bathymétrie moins serrée que celle au niveau de la partie Ouest mais qui reste importante.

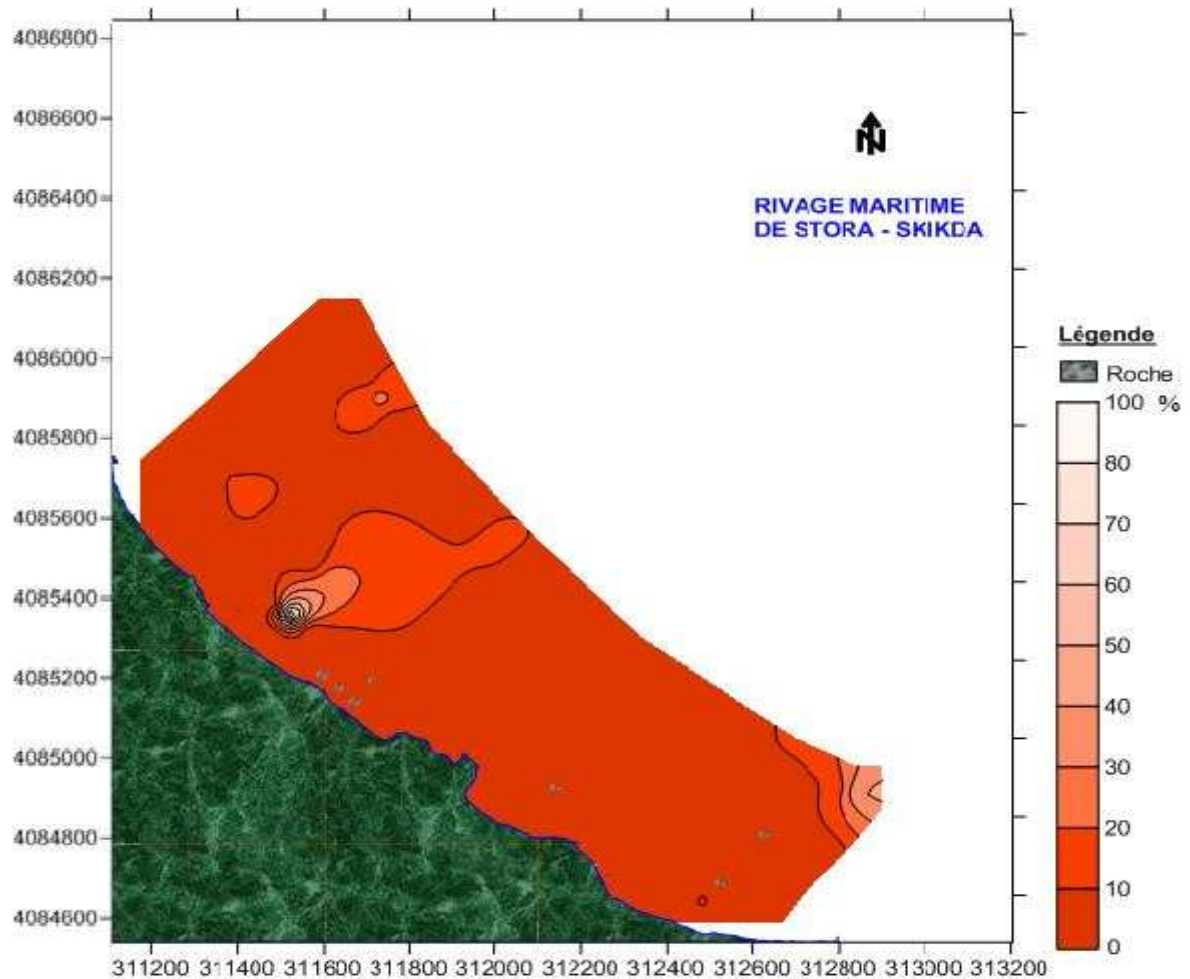
### **III.1.6. Etude sédimentologie:**

Dans le cadre de l'étude, 120 échantillons de sédiments superficiels ont été prélevés en mer aux profondeurs de 2.5, 5, 10, et 15 m et 05 échantillons sur les plages.

Pour réaliser l'étude sédimentologie, il a été prélevé au niveau de toute la zone d'étude 120 échantillons de sédiments superficiels. Sur l'ensemble de ses échantillons prélevés, onze (12) se sont révélés de nature rocheuse. L'étude sédimentologie a donc porté sur 108 échantillons de sédiments couvrant toute la zone sur des profondeurs de 2.50m, -5.00m, -10.00m et -15.00m voir (**Annexe 2**).

#### **III.1.6.1. Répartition spatiale de la fraction fine (< 50 microns) :**

Cette étude permet de connaître les teneurs en fraction fine (diamètre inférieur à 50 microns) dans les sédiments ainsi que sa répartition spatiale dans la zone d'étude. La répartition de la fraction fine est réalisée à partir d'un pourcentage caractéristique de chaque échantillon, la répartition de la fraction fine (**Fig. III.4**) montre de faibles teneurs, variant entre 0 et 10 % sur l'ensemble du site. Vers les grandes profondeurs et aux alentours de la passe de l'ancien port de Skikda, à partir de -10 m de fond, les teneurs évoluent pour atteindre des taux allant de 20 à 80 %.



**Figure. III.4:** Répartition spatiale de la fraction fine (LEM, 2011)

On remarque que l'ensemble de la zone, est constitué de moins de 10 % de fraction fine et que ce pourcentage tend à augmenter dans les grandes profondeurs comme l'indique la dégradation de la couleur orange à l'extrémité Est du site.

On remarque également qu'au niveau de la partie Ouest du site, l'existence d'une petite zone caractérisée par une répartition différente et opposée à celle de l'ensemble puisque le pourcentage tend à augmenter dans le sens contraire jusqu'à atteindre le maximum à - 5 m de profondeur.

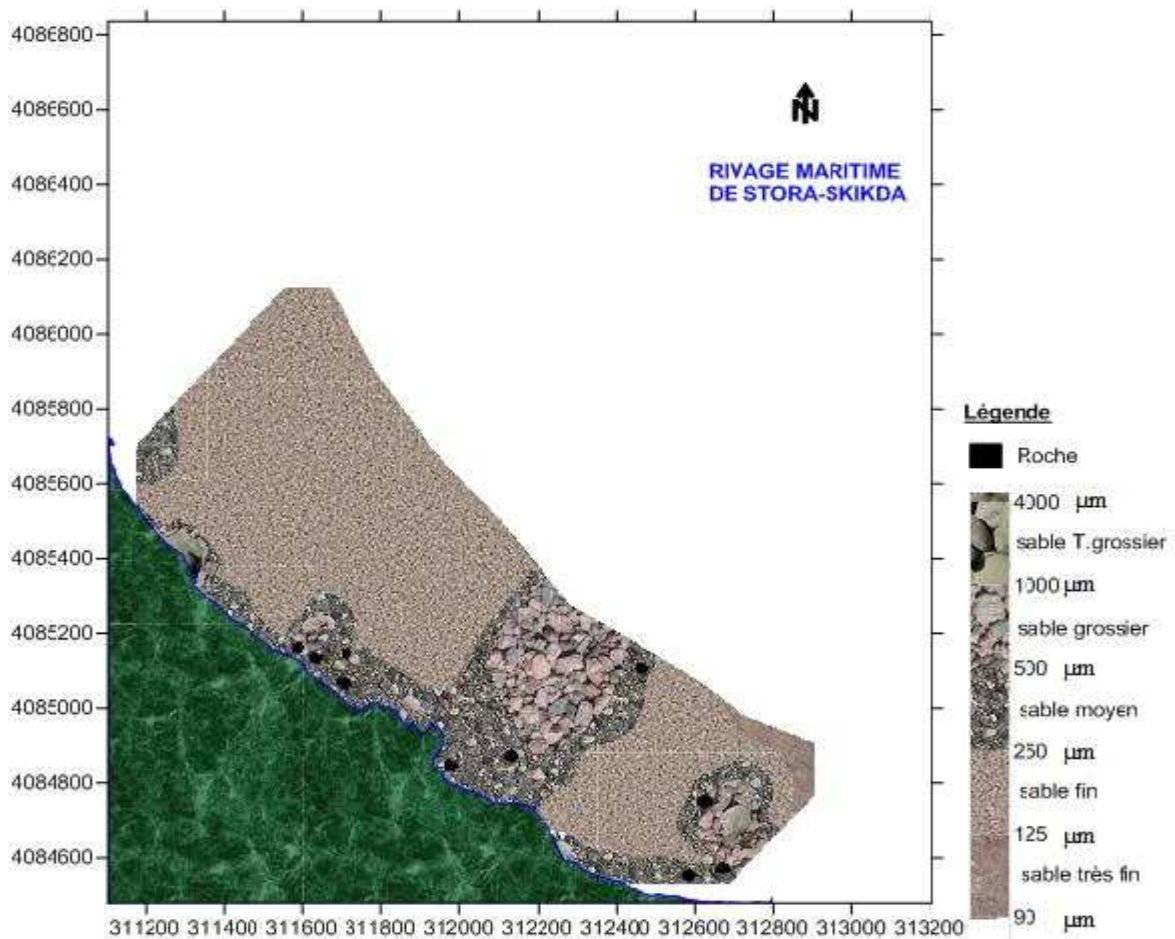
### III.1.6.2. Répartition spatiale de la fraction grossière:

#### III.1.6.2.1: La Médiane (D50) :

Les éléments grossiers dont le diamètre est supérieur à 500  $\mu\text{m}$  se répartissent sur toute la frange côtière et au niveau de la partie centrale à l'Est du cap s'étalant sur toute la zone de la plage Marquette de 0 à 15 m de profondeur et au droit de la jetée secondaire de l'ancien port de Skikda.

La fraction dont le diamètre moyen est compris entre 200 et 500  $\mu\text{m}$  s'étale sur les restes du site entre -5 et -10 m de fond. Au large, s'étale la fraction dont le diamètre moyen est inférieur à 200  $\mu\text{m}$ .

La carte présentant la répartition du diamètre moyen des sédiments est présentée sur la (**Fig. III.5**).



**Figure. III.5** : Répartition spatiale de la médiane (D50) (LEM, 2011)

En dehors des fonds rocheux représentés en couleur noir, on retrouve les sédiments qui occupent l'ensemble de la zone d'étude et qui sont constitués de sable fin à sable très grossier.

Sur les 109 échantillons, nous avons obtenus 80 échantillons de sable fin, dont le diamètre moyen est de 180  $\mu\text{m}$ , 13 échantillons de sable moyen avec un diamètre moyen de 370  $\mu\text{m}$ , 8 échantillons de sable grossier d'un diamètre moyen de 670  $\mu\text{m}$ , 3 échantillons de sable très grossier avec un diamètre moyen de 2070  $\mu\text{m}$  et enfin 3 échantillons de sable très fin dont le diamètre moyen est de 100  $\mu\text{m}$ .

Vu la diversité de ce panache en sédiments, nous avons partagé le site en deux parties bien distinctes :

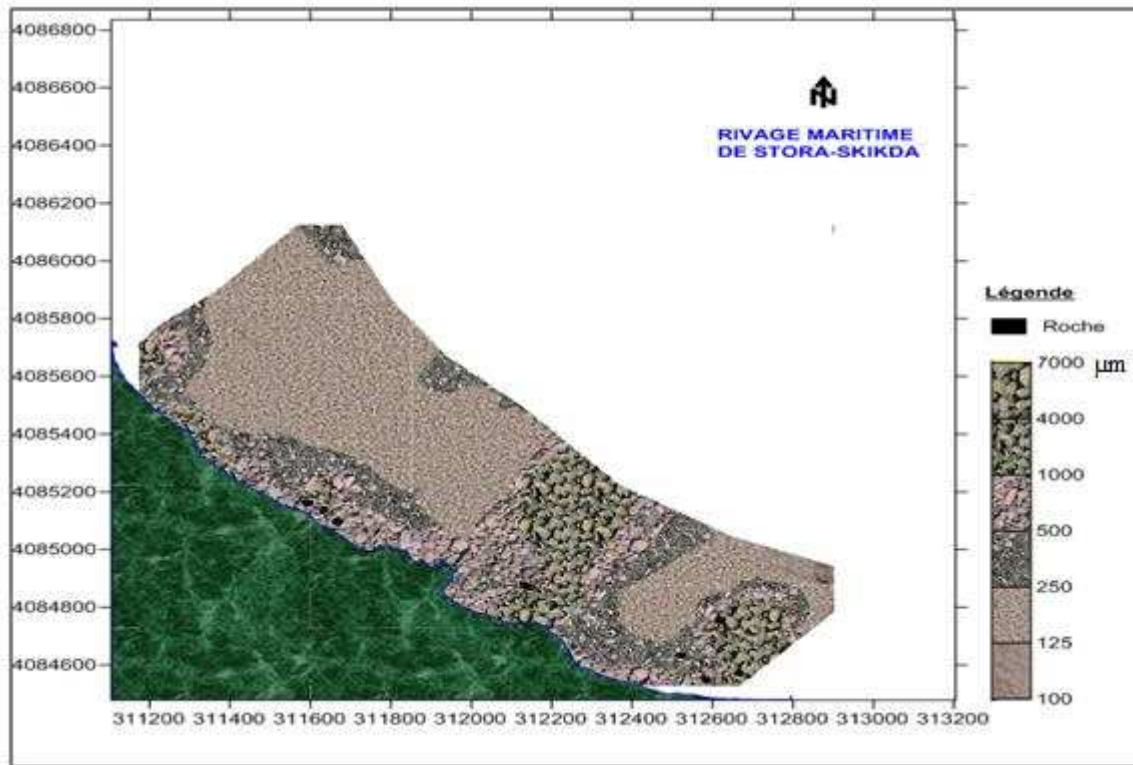
Partie Ouest : qui est caractérisée par une décroissance du diamètre sédimentaire de la côte vers le large, on retrouve du sable moyen à la côte jusqu'à l'isobathe -5, entrecoupé parfois de sable grossier à très grossier, ce qui témoigne de la force hydrodynamique dans cette zone. Au-delà des -5 m de profondeur, on retrouve du sable moyen jusqu'à -15 m de profondeur avec l'existence d'un banc de sable très fin.

Partie Est : cette partie est caractérisée par une répartition différente à celle de la partie Ouest, puisque on remarque au niveau des deux extrémités de cette dernière, une croissance du diamètre sédimentaire allant du sable moyen au sable grossier. Le reste présente une répartition logique, donc du moyen au très fin, de la côte au large.

#### **III.1.6.2.2: Le décile supérieur (D90):**

Le décile supérieur est tiré de la courbe granulométrique cumulative. Il marque la zone de dynamisme maximal, la répartition spatiale de ce paramètre montre une parfaite analogie avec celle de la médiane granulométrique.

La carte présentant la répartition du décile supérieur des sédiments est présentée sur la (**Fig. III.6**).



**Figure. III.6:** Répartition spatiale du décile supérieur (D90) (LEM, 2011)

La répartition de ce paramètre montre une analogie frappante avec celle de la médiane (D50), en effet, on constate une répartition décroissante du diamètre sédimentaire allant du grossier au moyen au niveau de la partie Ouest du site à l'inverse de la partie Est, ou on constate une croissance du diamètre sédimentaire.

### III.1.6.3 : Conclusion sur l'étude sédimentologie :

La répartition spatiale des sédiments révèle une distribution semblable au schéma de la répartition des sédiments en mer avec une décroissance du diamètre des particules de la côte vers le large, avec une croissance du diamètre sédimentaire allant du sable moyen au sable grossier dans les deux extrémités de la partie est de la zone.

La répartition de la médiane granulométrique indique la dominance des sables fins dans le diamètre moyenne égale à 180µm.

Ainsi donc, les conditions hydrodynamiques au niveau du littoral de Stora agitées en domaine littoral de Stora favorisent le vannage des particules fines, ce qui donne des granulométries tronquées, étalées vers les éléments grossiers. A l'inverse, le piégeage des

particules fines dans les sédiments est illustré par un étalement des granulométries vers les éléments fins sur l'ensemble du fond marin.

Nous pouvons dire aussi que les matériaux sédimentaires présentent un transport par saltation et roulement témoin d'une énergie plus au moins forte.

Cela peut être qu'un résultat d'une érosion des falaises limitrophe et non d'un charriage d'oued puisque l'oued ne draine plus rien et se trouve coincé entre les deux ports et son panache de matière fines est orienté vers le large.

### **III.2. Application du modèle GSTA dans la zone de Stora:**

#### **III.2.1. Calcul des paramètres granulométriques :**

Les résultats de calcul des paramètres granulométrique ( $\phi_5$ ,  $\phi_8$ ,  $\phi_{16}$ ,  $\phi_{50}$ ,  $\phi_{84}$  et  $\phi_{95}$ ) au niveau de chaque station de prélèvement (109 stations) sont représentés dans le (Annexe3) afin d'attribuer pour chaque station de prélèvement les trois indices granulométriques : la moyenne ( $M_z$ ), le tri ( $S_o$ ), l'asymétrie ( $S_k$ ).

#### **III.2.2. Détermination de la distance critique $D_{cr}$ :**

La valeur de la distance critique employée dans notre modèle est égale à 300m, obtenue en mesurant à l'aide de la règle dont dispose le logiciel du SIG (QGIS), la distance maximale que peut avoir deux échantillons voisins.

#### **III.2.3. Simulation numérique:**

L'étude de cas pratique a été réalisée dans la rivage de Stora-Skikda. Nous avons défini cette zone précédemment, plus précisément, la zone étudiée est située entre le port mixte et port de pêche, entre 2 et 10 m de profondeur d'eau.

Les données (indices) granulométriques ainsi que les coordonnées de chaque station de prélèvement et la distance critique ( $D_{cr}$ ) doit être entrées dans le à travers des fichiers texte (Annexe 4). Les résultats de calcul vectoriel peuvent être émis sous forme de fichiers de données brutes en format texte (INPUT et OUTPUT), mais pour nous il nous intéresse que le fichier sortie (OUTPUT) (Annexe 5), et la propriété de format de fichier géographique (Cartes Vecteur-terrain peuvent être directement produites et intégrées à l'environnement de liens (Rivages, bathymétrie,... etc).

On superpose le schéma sur la carte de la zone étudié pour pouvoir présenter l'orientation des sédiments.

La simulation des tendances au transport sédimentaire par le modèle GSTA est illustré dans la (**Fig.III.7**).

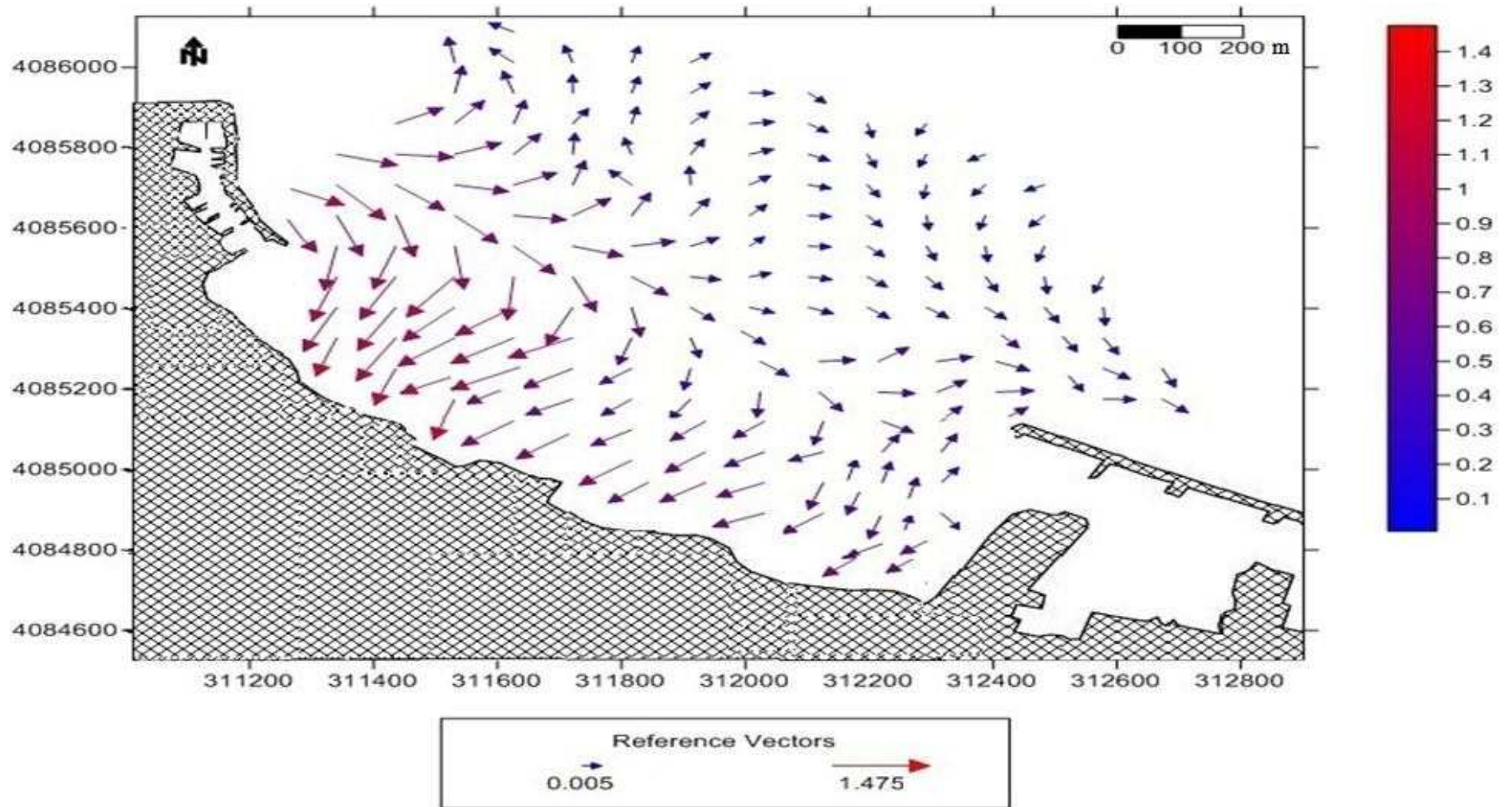


Figure. III.7: les vecteurs résiduels obtenus à l'aide du modèle GSTA

### III.2.4. Interprétation des résultats:

La carte des vecteurs résiduels obtenus à l'aide du modèle GSTA (**Fig.III.7**), révèle que dans la partie Ouest, les vecteurs de tendances semblent être parallèles aux isobathes, mais dès qu'ils dépassent le musoir de nouveau port de pêche, trois sens divergeant tendanciel au transport sédimentaire se distinguent. Le premier est parallèle au trait de côte du Stora, se dirigeant vers le Nord-est, le deuxième se dirigeant vers le Sud qui est lui perpendiculaire au trait de côte et l'autre vers le large ce qui nous montre un échange important entre la côte et le large. Cette divergence, est liée directement au déplacement des masses d'eaux sur le fond, qui sont aux mêmes conditions par la morphologie sous-marine et par conséquent. La déviation Sud-est des sédiments a une forte probabilité d'être à l'origine de l'ensablement de nouveau port de pêche et elle traduit aussi la formation d'une petite plage.

En effet dans la partie Nord Est, les vecteurs de tendances au transport sédimentaire montre un déplacement des sédiments dans le sens Ouest Nord Ouest-Est Sud Est. Nous pouvons dire qu'il y a une érosion dans cette partie.

*Conclusion  
générale*

### **Conclusion générale :**

Après avoir rappelé les propriétés physiques des particules sédimentaires dans une eau calme, leur comportement sous l'action des courants sera abordé avant d'examiner plus en détail l'action de la houle sur différents types de matériaux, en utilisant un certain nombre de lois théoriques et empiriques de mieux comprendre les phénomènes physiques qui vont contribuer aux mouvements sédimentaires et de quantifier l'importance de ces mouvements.

En revanche, La répartition de la médiane granulométrique dans notre zone d'étude (Skikda-Stora) nous indique une dominance des sables fins d'un diamètre variant de 180  $\mu\text{m}$  à 290  $\mu\text{m}$ . Les sédiments grossiers sont présents le long de la haute plage, correspondant aux zones de forte dissipation.

Le transport sédimentaire et la redistribution des sédiments sont dus généralement aux courants côtiers et l'érosion naturelle. Ce dernier toutefois accéléré par les effets perturbateurs liés à l'emprise humaine sur le rivage. Par ailleurs, l'origine de l'érosion sur la baie Stora est d'une part naturelle tel que les tempêtes, les variations du niveau de la mer, et d'autre part anthropiques essentiellement l'implantation des ouvrages portuaires (port mixte, port de pêche).

La modélisation du transport sédimentaire par le modèle GSTA « Grain Size Trend Analysis » dans la zone d'étude a donné des résultats satisfaisants, les résultats obtenus auraient pu faire l'objet d'une comparaison, qui semblent concorder avec les résultats obtenus au cours de la mission réalisée par le laboratoire des études maritimes LEM (2011) notamment dans la bathymétrie et la réfraction de la houle.

La modélisation numérique des courants côtiers montre que la houle de Nord-Ouest est responsable du transport sédimentaire dans le profil, et par la suite de l'érosion de la baie de Stora. Cela nous amène à dire que la côte entre le port de Stora et l'ancien port (notre zone d'étude) se trouve en carence sédimentaire.

Le modèle mathématique n'est pas un outil dont on doit sous-estimer la difficulté et l'importance. La construction d'un code de calcul ou d'un modèle mathématique nécessite du personnel hautement qualifié et formé à ces nouvelles techniques. Cette qualification ne peut être obtenue que dans un petit nombre d'instituts qui ont déjà une relativement "longue" expérience dans ce domaine.

## Conclusion générale

---

Précisons enfin pour terminer, que toutes les méthodes de recherches et de mesures à l'aide de modèles, que ce soit des "modèles physiques ou des modèles mathématiques, ne peuvent prendre toute leur valeur qu'en s'appuyant sur la connaissance exacte des phénomènes naturels, véritable base de toutes les recherches hydro-sédimentaires.

# *Bibliographie*

- Bagnold, R.A, 1973.** The nature of saltation and « bed-load » transport in water, *in proceeding of the royal society*, p 473-504.
- Bagnold, R.A, 1980.** An Approach to the sediment transport problem from general physics. *US Geological Professional paper, 442-I (37 pp), 1966.*
- Bouchard, B ; Cordelle, M et Lorin. J. 1989.** Simulation numérique de l'érosion des vases de retenue par les crues. *Houille Blanche n° 3/4.*
- Chamley.H, 1987.** Sédimentologie. *DUNOD, Paris*, p 175.
- Chauchat. J, 2007.** Contribution à la modélisation diphasique du transport sédimentaire en milieux côtiers et estuariens. *Thèse de doctorat, Université de CAEN/Basse-Normandie.*
- Coeffe. Y et Pechon. P, 1984.** Présentation d'un modèle de transport littoral sous l'action de la houle. *L.N.H. -XVIIIe journées de l'hydraulique -S.H.F. Marseille.*
- Cordier, E, 2007.** Dynamique hydrosédimentaire du récif frangeant de l'Hermitage/La Saline (La Réunion) : Processus physiques et flux sédimentaires. Thèse de Doctorat, *Université De la Reunion, la Reunion*, p 193.
- EDF. S, 2004.** Système de modélisation Telemac, Manuel Utilisateur, *Version 5.8. EDF.*
- Eisma. D, 1992.** Suspended matter in the aquatic environment, 315 p. pp., *Springer-Verlag, Berlin.* p 15.
- Francois. M, 2011:** Transport sédimentaire en zone côtière. *Université du Havre Laboratoire Ondes et Milieux Complexes.* p 16.
- Gao. S, Collins. M, 1994a.** Analysis of grain-size trends for defining sediment transport. *Journal of Coastal Research.* p10 (1), 70-78.
- Gao. S, Collins. M, 1992.** Net sediment transport patterns inferred from grain-size. *Sedimentary Geology*, p80, 47-60.
- Gao. S, Collins. M, 1994b.** Net sediment transport patterns inferred from grain-size trends, based upon definition of "transport vectors"-reply. *Sedimentary Geology*, p 90,157-159.

**Gao et al, 1994 in Mezouar, 2009.** Grain size trends associated with net sediment transport patterns: an example from the *Belgian continental shelf*. *Marine Geology*, p121, 171–185.

**Gao. S., & Collins, M. (1991).** A critique of the "McLaren method" for defining sediment. *Journal of Sedimentary Petrology*, p61, 143-146.

**Gibson et al., 1967.** The theory of one-dimensional consolidation of saturated clays, *Géotechnique*, p 17, 261 \_ 273. 16, 22, 24.

**Ghezali.F, 2004.** Dynamique sédimentaire dans la zone de déferlement de la houle: application du modèle mathématique vectoriel de Mc Laren et Bowles développé par Gao et Collins entre le port de Jijel et oued Jenjen. *Mémoire d'ingéniorat, ISMAL*.

**Hayter, E. J, 1983.** Prediction of cohesive sediment movement in estuarial waters, Ph.D. thesis, *Coastal & oceanographic Engineering Department, University of Florida*. p15.

**Héquette. A, Hemdane. Y & Anthony. E. J, 2008.** Determination of Sediment Transport Paths in Macrotidal Shoreface Environments: A Comparison of Grain-Size Trend Analysis with Near-Bed Current Measurements. *Journal of Coastal Research*, p24 (3), 695–707.

**Krone. R. B, 1962.** Flume studies of the transport of sediment in estuarial shoaling processes, Final report, *University of California, Berkeley*. p16, 21

**Kynch. G, 1952.** A théory of sédimentation, *Transactions Faraday Society*, p 48, 166\_176.16, 22, 23.

**Latteux. B, 1989.** Modélisation numérique des phénomènes en sédimentologie côtière *.E.N.P.C. Formation Continue. Mai 1989*.

**LEM, 2011.** Avant-projet sommaire rapport (*mission 02, wilaya de Skikda*).

**Losson. B, Corbonnois. J, 2006.** Les modes de sédimentation détritique: nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. *Geologica Belgica*, p 9 (3-4), 257-265.

**Mc Laren. P, 1981.** An interpretation of trends in grain size. *J. Sed. Pet*, p 51, 611-624.

**Mc Laren.P, Bowles.D, 1985.** The effect of sediment transport on grain-size distribution. *Journal of Sedimentary Petrology*, p 55, 457-470.

**Mehta. A.J et al., 1989.** Cohesive sediment transport i : process description, *J. Hydraul. Eng.*p 115, 1076\_1093.

**Mewis. J and Spaul. A, 1976.** Rheology of concentrated suspensions, *Advances in Colloid and interface Science*. p6, 173 \_ 200.

**Mezouar.K, 2009.** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux Algérien et Roumain. *Thèse de Doctorat, Université technique de construction de Bucarest, Bucarest.*

**Parker. R, 1986.** On the observation of cohesive sediment behaviour for engineering purposes, in *Estuarine Cohesive Dynamics, Lecture notes on Coastal and Estuarine studies*, vol. 14, pp. pp. 270\_289, Springer - Verlag.

**Roux .J, 1994.** A spread sheet template for determining sediment transport vectors from grain-size parameters. *Computers & Geosciences*, p433–440.

**Partheniades. E, 1962.** A study of erosion and deposition of cohesive soils in salt water, Ph.D. thesis, University of California, Berkeley.

**Partheniades. E, 1965.** Erosion and deposition of cohesive soils, *Journal of Hydraulic Division*, p91, 105\_137.

**TELEMAC-3D version 5.8, 2007.** Système de modélisation TELEMAC (hydrodynamique tri-dimensionnelle). Manuel d'utilisateur.

**Terzaghi. K and R.B. Peck, 1967.** *Soil mechanics in engineering practice*, first ed,p 173\_182 pp. Wiley.

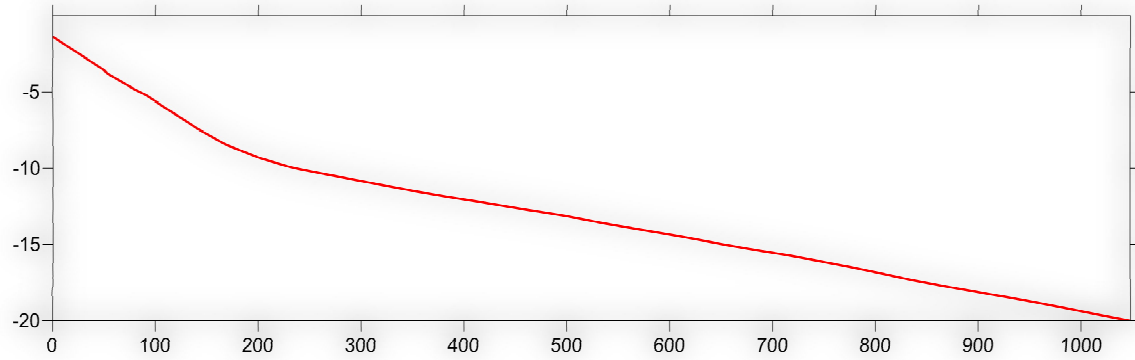
**Valembois. J, 1960.** Etude sur modèle du transport littoral. Conditions de similitude. *Coastal Engineering -Vol. 9 Ch. 18.*

**Verney. R, 2006.** Processus de contrôle de la dynamique des sédiments cohésifs, Ph.D. thesis, *Université de Rouen.*

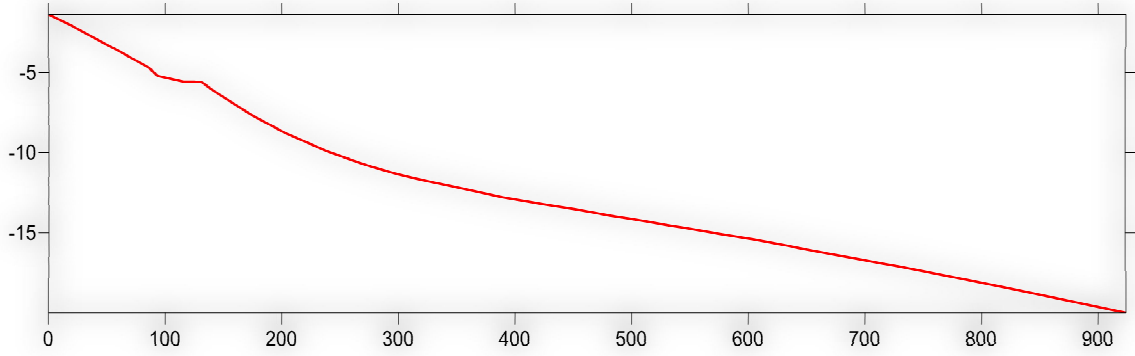
**Wentworth .C. K, 1922.** A scale of grade and class terms for clastic sediments, *Journal of Geology*, p30, 377\_392.

# *Annexes*

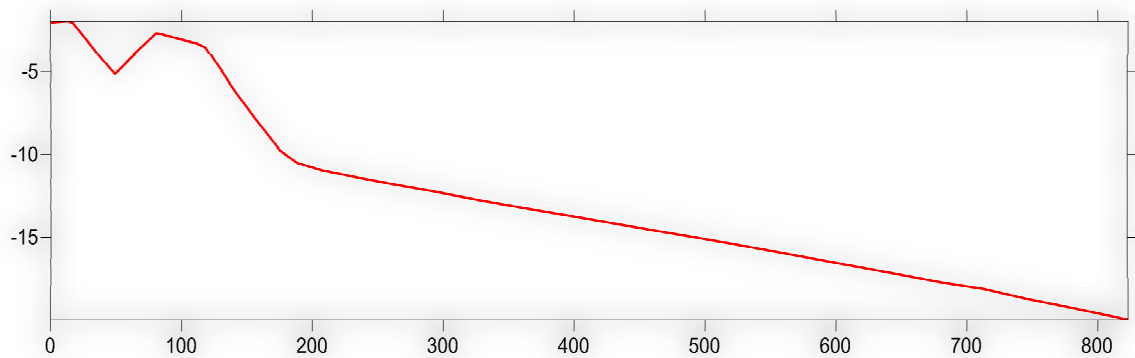
**Annexe 1 : Profils bathymétriques (LEM, 2011)**



**PROFIL 01**



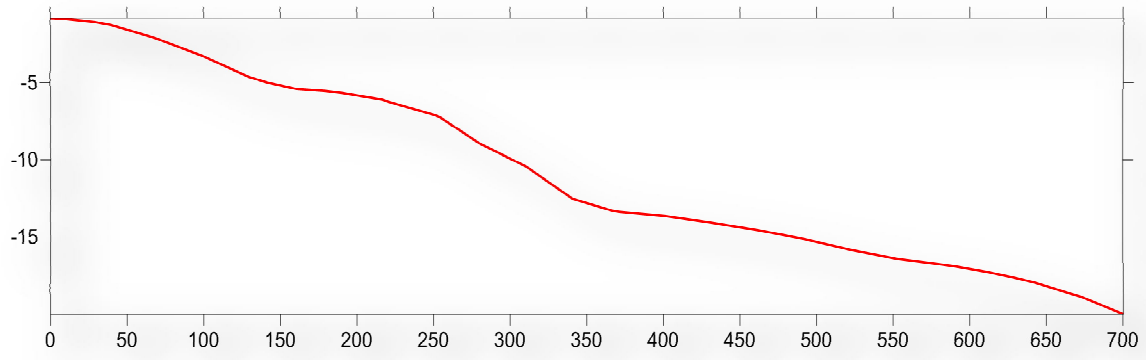
**PROFIL 02**



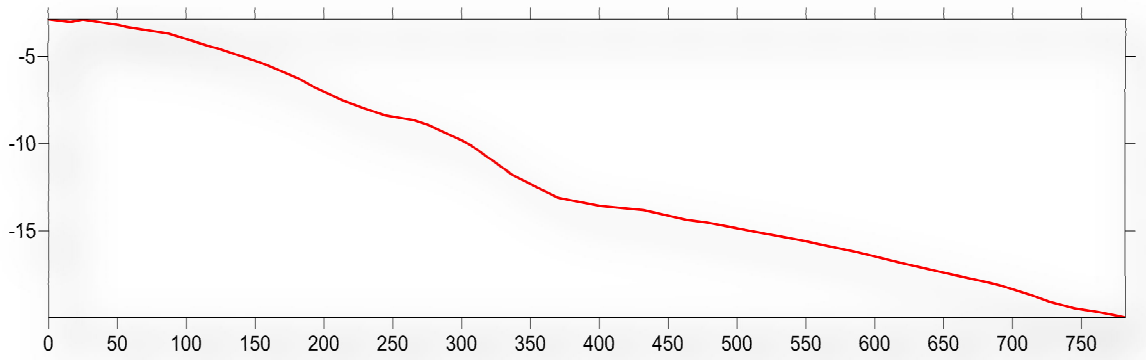
**PROFIL 03**

# Annexe1

---

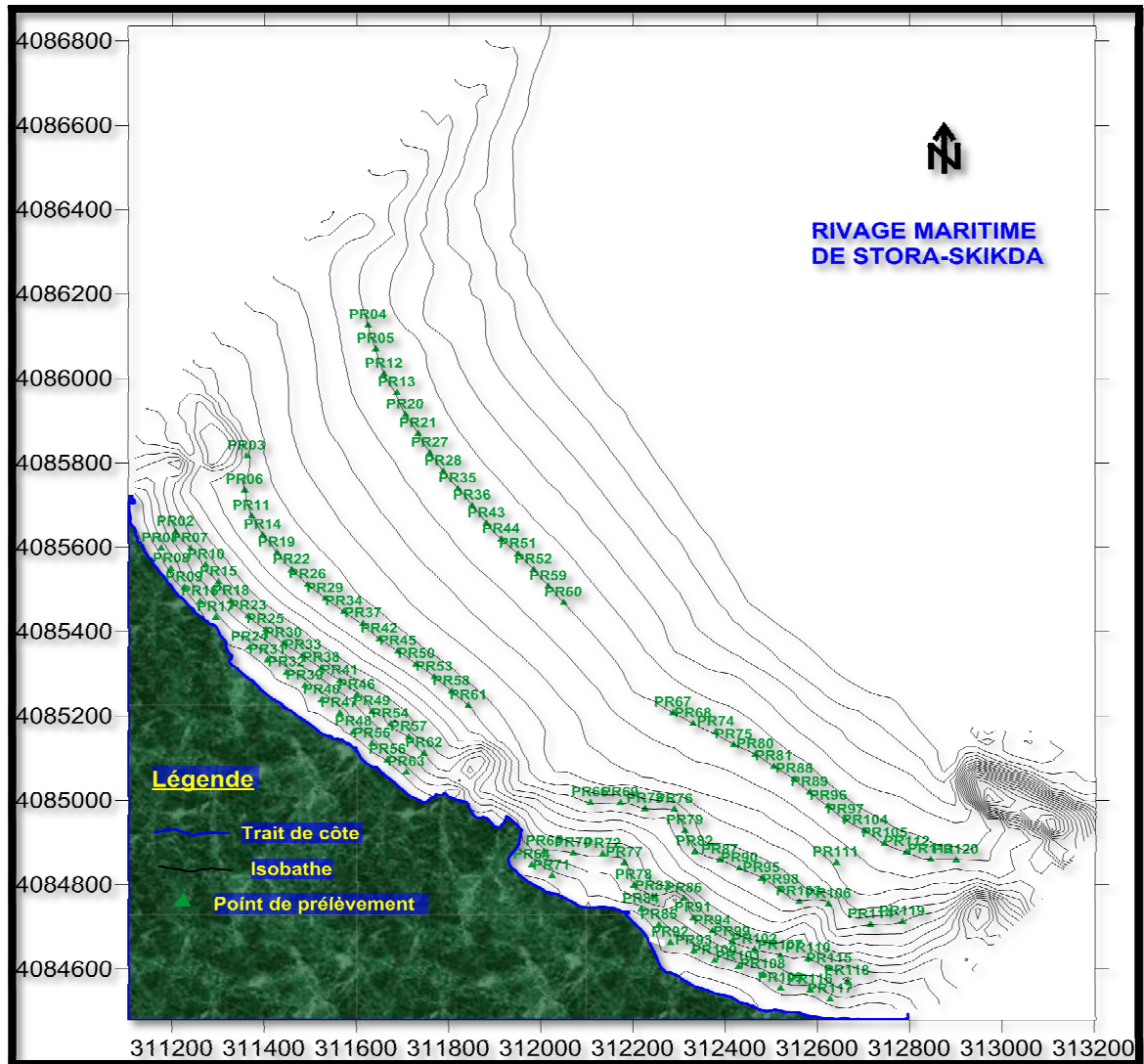


**PROFIL 04**



**PROFIL 05**

Annexe 2 : Positionnement des points de prélèvements (LEM, 2011)



## Annexe 3

## Annexe 3: Résultats des paramètres et indices granulométriques

N° Station	X	Y	phi5	phi8	phi16	phi50	phi84	phi95	Si	Mz	Sk
1	311175.263	4085596.804	-0,55	-0,57	-0,39	0,2	1,21	2,3	0,22	0,34	2,26
2	311208.161	4085635.497	-0,6	-0,4	-0,15	1,22	2,5	3,2	0,33	1,19	0,18
3	311361.228	4085815.526	-1	-0,9	-0,65	-3	0	0,45	-0,15	-1,22	5,69
4	311624.891	4086125.634	0,65	0,8	1,06	1,55	2,18	2,54	0,42	1,60	0,16
5	311641.645	4086069.537	-0,92	-0,8	-0,6	0,15	0,4	0,8	-0,07	-0,02	-0,61
6	311356.933	4085735.050	0,65	0,8	1	1,34	2,76	3,2	0,53	1,70	2,44
7	311239.065	4085596.572	1,08	1,19	1,34	1,7	2,25	2,65	0,53	1,76	0,35
8	311197.913	4085548.227	-0,7	-0,6	-0,4	-0,1	0,45	1,65	0,09	-0,02	1,46
9	311227.286	4085503.857	-0,6	-0,5	-0,3	0,02	0,6	3,2	0,34	0,11	4,98
10	311273.312	4085557.772	1,94	2,01	2,09	2,38	2,9	3,4	0,79	2,46	0,52
11	311372.147	4085673.546	-1,35	-1,25	-1,1	-0,8	-0,5	-0,25	-0,28	-0,80	0,00
12	311659.642	4086010.313	-1,2	-1,1	-0,8	-0,34	0,2	0,83	-0,13	-0,31	0,35
13	311687.182	4085965.786	-1,25	-1,1	-0,9	-0,5	-0,1	0,4	-0,18	-0,50	0,12
14	311396.028	4085628.476	-1,2	-1	-0,7	-0,42	-0,1	0,1	-0,24	-0,41	-0,16
15	311300.987	4085517.222	-0,4	-0,3	-0,25	0,04	0,5	0,8	0,05	0,10	0,26
16	311261.120	4085470.554	-0,15	0	0,2	0,8	1,75	4	0,53	0,92	4,94
17	311295.344	4085433.475	-0,5	0	1,6	3,15	3,85	4,28	0,17	2,87	-6,98
18	311328.014	4085471.648	1,79	1,88	2	2,3	1,8	3,18	0,72	2,03	0,34
19	311426.268	4085586.451	0,31	0,5	0,9	1,22	1,5	1,7	0,20	1,21	-0,31
20	311706.271	4085913.613	-1,2	-1,1	-0,9	-0,48	-0,1	0,4	-0,17	-0,49	0,11
21	311734.245	4085868.866	-1,2	-1,1	-0,9	-0,5	-0,15	0,5	-0,16	-0,52	0,24
22	311458.656	4085545.647	0,2	0,6	0,75	1	1,28	1,6	0,24	1,01	-0,13
23	311365.374	4085436.243	-0,5	-0,3	0,04	0,27	0,55	0,9	-0,02	0,29	-0,09
24	311367.143	4085362.246	-0,4	-0,3	-0,18	0,4	1,4	2,5	0,29	0,54	2,22
25	311402.566	4085404.066	0,9	1	1,1	1,55	2,2	2,9	0,55	1,62	0,81
26	311493.350	4085510.478	0,4	0,6	0,75	1,05	1,25	1,5	0,25	1,02	-0,14

## Annexe 3

27	311759.813	4085822.809	0,9	1	1,25	1,6	1,9	2,1	0,39	1,58	-0,14
28	311788.344	4085779.737	0,75	0,89	1,1	1,45	1,73	2,3	0,41	1,43	0,09
29	311531.099	4085477.674	0,4	0,7	0,9	1,12	1,3	1,4	0,22	1,11	-0,23
30	311441.043	4085371.927	0,15	0,25	0,4	0,74	1,3	2	0,29	0,81	0,72
31	311407.018	4085331.975	-0,4	0,4	0,15	0,68	1,58	1,78	0,27	0,80	0,29
32	311448.741	4085302.362	-0,1	0	0,14	0,75	1,9	2,5	0,33	0,93	1,65
33	311483.134	4085342.705	0,43	0,63	0,78	1,24	2,05	2,75	0,44	1,36	1,03
34	311572.134	4085447.103	-0,45	-0,05	0,2	0,48	0,6	0,8	-0,01	0,43	-0,41
35	311820.149	4085738.026	-1,25	-1,1	-0,85	-0,5	-0,2	0,1	-0,24	-0,52	-0,12
36	311851.136	4085698.003	0,68	0,8	1,1	1,43	1,68	2,1	0,35	1,40	-0,08
37	311613.611	4085418.662	-0,05	0,05	0,22	1,22	1,55	1,65	0,20	1,00	-1,16
38	311523.974	4085313.245	0,6	0,5	0,75	1,15	1,8	2,4	0,39	1,23	0,76
39	311487.883	4085270.800	0,5	0,6	0,75	1,1	2	2,8	0,46	1,28	1,61
40	311524.868	4085237.118	0,15	0,28	0,4	0,8	1,3	2,1	0,31	0,83	0,68
41	311564.009	4085283.002	0,1	0,28	0,32	0,6	1,05	1,6	0,25	0,66	0,44
42	311648.461	4085382.002	0,1	0,2	0,5	1,2	1,55	1,7	0,20	1,08	-0,66
43	311882.075	4085655.860	0	0,1	0,38	0,9	1,8	2,4	0,29	1,03	0,99
44	311914.561	4085618.377	0	0,1	0,38	0,9	1,8	2,4	0,29	1,03	0,99
45	311688.774	4085352.934	0,76	0,86	1,08	1,7	2,15	2,3	0,41	1,64	-0,35
46	311600.139	4085248.728	1,18	1,3	1,38	1,6	2	2,4	0,52	1,66	0,29
47	311563.699	4085205.890	0,6	0,7	0,8	1,1	1,6	2,2	0,40	1,17	0,56
49	311633.749	4085210.191	0,5	0,8	1,2	1,9	2,4	2,7	0,38	1,83	-0,78
50	311729.188	4085322.576	0,7	0,85	1,05	1,68	2,15	2,3	0,40	1,63	-0,38
51	311950.656	4085583.367	-1	-0,9	-0,7	-0,15	0,8	2,4	0,16	-0,02	3,19
52	311984.595	4085546.067	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,2	0,5	-0,10	-0,10	-0,07
53	311767.951	4085291.739	-0,8	-0,6	-0,4	-0,1	0,2	0,5	-0,10	-0,10	-0,07
54	311673.154	4085180.453	1	1,15	1,4	2	2,75	3,25	0,58	2,05	0,38
58	311805.236	4085257.982	0,9	1	1,2	1,8	2,15	2,45	0,46	1,72	-0,31
59	311016.815	4085506.564	-0,2	-0,1	0,3	0,65	0,9	1,2	0,05	0,62	-0,24

## Annexe 3

60	311049.784	4085468.382	0,1	0,25	0,55	0,85	1,2	1,8	0,21	0,87	0,19
61	311842.267	4085224.283	0,9	1	1,4	1,75	1,95	2,1	0,35	1,70	-0,34
62	311746.307	4085111.407	1,4	1,5	1,9	2,4	3	3,4	0,63	2,43	0,06
65	312007.553	4084877.956	1,6	1,75	2	2,45	2,95	3,35	0,69	2,47	0,07
66	312106.492	4084994.204	0,2	0,42	0,72	1,25	1,88	2,38	0,32	1,28	0,15
67	312287.621	4085207.011	1	1,2	1,4	2,02	2,8	3,3	0,60	2,07	0,41
68	312331.120	4085181.208	0,9	1,1	1,35	2,05	2,8	3,5	0,60	2,07	0,43
69	312171.645	4084993.830	0,1	0,22	0,4	0,83	1,32	1,9	0,26	0,85	0,33
70	312070.046	4084874.457	0,92	1	1,15	1,55	2,05	2,5	0,48	1,58	0,30
71	312024.032	4084820.391	0,4	0,5	0,66	1,25	1,95	2,45	0,39	1,29	0,43
73	312225.583	4084979.667	-0,1	0,02	0,22	0,72	1,25	1,65	0,18	0,73	0,11
74	312380.327	4085161.484	-0,96	-0,85	-0,65	-0,15	1,15	1,35	0,01	0,12	1,52
75	312418.820	4085130.879	-0,42	-0,2	0,72	1,42	1,94	2,4	0,07	1,36	-1,32
76	312289.253	4084978.643	0,94	1,14	1,4	1,86	2,44	2,76	0,50	1,90	0,04
77	312181.154	4084851.630	-0,26	-0,15	0,04	0,59	1,32	1,98	0,21	0,65	0,72
78	312201.911	4084798.119	-2,2	-1,92	-1,7	-1,15	2,05	2,8	0,04	-0,27	12,22
79	312312.244	4084927.756	-0,4	-0,05	1,08	1,58	1,98	2,28	0,00	1,55	-1,76
81	312506.238	4085079.922	-1,2	-1,06	-0,78	-0,34	0,45	1,35	-0,05	-0,22	1,27
82	312333.934	4084877.473	-0,23	-0,11	0,18	0,6	2,06	3,1	0,36	0,95	3,76
83	312244.142	4084771.971	0,57	0,68	0,8	1,2	1,7	3,3	0,56	1,23	2,05
84	312218.281	4084741.586	-0,5	-0,38	-0,32	0,2	0,72	1,7	0,17	0,20	0,88
85	312256.655	4084703.779	-0,6	-0,5	-0,32	0,08	0,8	1,8	0,14	0,19	1,43
86	312310.419	4084766.949	1,01	1,13	1,33	1,7	2,25	3,5	0,63	1,76	1,46
87	312387.767	4084857.830	1,2	1,35	1,67	2,1	2,4	2,87	0,54	2,06	-0,16
88	312551.088	4085049.725	-0,44	-0,3	-0,08	0,35	0,9	1,8	0,15	0,39	0,80
89	312584.272	4085018.665	0,45	0,58	0,85	1,3	1,68	2,4	0,36	1,28	0,21
90	312430.673	4085838.193	0,35	0,5	0,75	1,2	1,55	3,2	0,48	1,17	1,60
91	312330.770	4084720.811	1,05	1,15	1,32	1,75	2,25	3,4	0,63	1,77	1,15
92	312281.094	4084662.443	-0,76	-0,62	-0,5	0,2	0,68	1,26	0,05	0,13	-0,03

## Annexe 3

93	312332.363	4084642.750	0,62	0,72	0,9	1,25	1,7	2,1	0,37	1,28	0,20
94	312372.386	4084689.775	0,96	1,03	1,2	1,55	2,03	2,41	0,47	1,59	0,25
95	312478.906	4084814.931	-1,37	-1,24	-0,98	-0,51	-0,16	0,1	-0,26	-0,55	-0,23
96	312624.474	4084985.968	-1,35	-1,25	-1,08	-0,6	-0,23	0,1	-0,23	-0,64	-0,08
97	312661.501	4084953.348	-1,3	-1,16	-1	-0,5	-0,16	0,4	-0,18	-0,55	0,02
98	312519.944	4084787.024	-1,3	-1,1	-0,92	-0,38	-0,08	0,1	-0,23	-0,46	-0,41
99	312414.966	4084663.679	0,78	0,88	1,04	1,3	1,87	2,3	0,43	1,40	0,49
100	312377.294	4084619.417	0,22	0,31	0,58	1	1,65	2,8	0,39	1,08	1,44
101	312429.511	4084605.118	-0,35	-0,25	-0,14	0,35	1,05	2,05	0,23	0,42	1,32
102	312464.095	4084645.753	0,7	0,8	1,05	1,3	1,88	2,2	0,38	1,41	0,36
103	312560.597	4084759.139	-0,4	0,1	0,34	0,84	1,14	1,6	0,12	0,77	-0,56
104	312704.199	4084927.865	0,94	-0,84	-0,62	-0,17	0,15	0,4	0,15	-0,21	-0,50
105	312746.652	4084897.166	-0,08	0,06	0,22	0,69	1,09	1,34	0,15	0,67	-0,12
108	312482.289	4084586.550	-0,66	-0,52	-0,4	0,08	0,72	1,4	0,08	0,13	0,69
109	312519.976	4084554.085	0,98	1,08	1,23	1,55	1,97	2,28	0,46	1,58	0,14
110	312580.190	4084624.834	1,3	1,44	1,65	2,08	1,58	1,97	0,44	1,77	-0,27
111	312640.828	4084852.081	0,18	0,2	0,5	0,95	1,28	1,63	0,20	0,91	-0,11
112	312794.740	4084876.922	0,9	1	1,15	1,94	2,15	3	0,55	1,75	-0,27
113	312846.757	4084858.946	-0,14	-0,4	0,1	1,55	1,17	1,56	0,09	0,94	-2,41
114	312715.646	4084704.895	-0,16	0,04	0,4	1,3	2,6	3,54	0,42	1,43	1,88
115	312626.134	4084599.723	0,78	0,92	1,1	1,55	2,07	2,46	0,45	1,57	0,15
117	312628.162	4084528.073	-0,55	-0,4	-0,24	0,33	1,74	2,51	0,26	0,61	2,82
119	312784.583	4084711.861	0,35	0,52	0,95	1,48	1,98	2,39	0,31	1,47	-0,24
120	312901.771	4084857.780	-0,82	-0,73	-0,56	-0,04	0,53	0,89	-0,03	-0,02	0,16

**Annexe 4** : La forme du fichier entré (INPUT) dans le modèle GSTA.

108	1	300			
1	311175,26	4085596,80	0,34	2,26	0,22
2	311208,16	4085635,50	1,19	0,18	0,33
3	311361,23	4085815,53	-1,22	5,69	-0,15
4	311624,89	4086125,63	1,60	0,16	0,42
5	311641,65	4086069,54	-0,02	-0,61	-0,07
6	311356,93	4085735,05	1,70	2,44	0,53
7	311239,07	4085596,57	1,76	0,35	0,53
8	311197,91	4085548,23	-0,02	1,46	0,09
9	311227,29	4085503,86	0,11	4,98	0,34
10	311273,31	4085557,77	2,46	0,52	0,79
11	311372,15	4085673,55	-0,80	0,00	-0,28
12	311659,64	4086010,31	-0,31	0,35	-0,13
13	311687,18	4085965,79	-0,50	0,12	-0,18
14	311396,03	4085628,48	-0,41	-0,16	-0,24
15	311300,99	4085517,22	0,10	0,26	0,05
16	311261,12	4085470,55	0,92	4,94	0,53
17	311295,34	4085433,48	2,87	-6,98	0,17
18	311328,01	4085471,65	2,03	0,34	0,72
19	311426,27	4085586,45	1,21	-0,31	0,20
20	311706,27	4085913,61	-0,49	0,11	-0,17
21	311734,25	4085868,87	-0,52	0,24	-0,16
22	311458,66	4085545,65	1,01	-0,13	0,24
23	311365,37	4085436,24	0,29	-0,09	-0,02
24	311367,14	4085362,25	0,54	2,22	0,29
25	311402,57	4085404,07	1,62	0,81	0,55
26	311493,35	4085510,48	1,02	-0,14	0,25
27	311759,81	4085822,81	1,58	-0,14	0,39
28	311788,34	4085779,74	1,43	0,09	0,41
29	311531,10	4085477,67	1,11	-0,23	0,22
30	311441,04	4085371,93	0,81	0,72	0,29
31	311407,02	4085331,98	0,80	0,29	0,27
32	311448,74	4085302,36	0,93	1,65	0,33
33	311483,13	4085342,71	1,36	1,03	0,44
34	311572,13	4085447,10	0,43	-0,41	-0,01
35	311820,15	4085738,03	-0,52	-0,12	-0,24
36	311851,14	4085698,00	1,40	-0,08	0,35
37	311613,61	4085418,66	1,00	-1,16	0,20
38	311523,97	4085313,25	1,23	0,76	0,39
39	311487,88	4085270,80	1,28	1,61	0,46
40	311524,87	4085237,12	0,83	0,68	0,31
41	311564,01	4085283,00	0,66	0,44	0,25
42	311648,46	4085382,00	1,08	-0,66	0,20

## Annexe 4

43	311882,08	4085655,86	1,03	0,99	0,29
44	311914,56	4085618,38	1,03	0,99	0,29
45	311688,77	4085352,93	1,64	-0,35	0,41
46	311600,14	4085248,73	1,66	0,29	0,52
47	311563,70	4085205,89	1,17	0,56	0,40
48	311633,75	4085210,19	1,83	-0,78	0,38
49	311729,19	4085322,58	1,63	-0,38	0,40
50	311950,66	4085583,37	-0,02	3,19	0,16
51	311984,60	4085546,07	-0,10	-0,07	-0,10
52	311767,95	4085291,74	-0,10	-0,07	-0,10
53	311673,15	4085180,45	2,05	0,38	0,58
54	311805,24	4085257,98	1,72	-0,31	0,46
55	311016,82	4085506,56	0,62	-0,24	0,05
56	311049,78	4085468,38	0,87	0,19	0,21
57	311842,27	4085224,28	1,70	-0,34	0,35
58	311746,31	4085111,41	2,43	0,06	0,63
59	312007,55	4084877,96	2,47	0,07	0,69
60	312106,49	4084994,20	1,28	0,15	0,32
61	312287,62	4085207,01	2,07	0,41	0,60
62	312331,12	4085181,21	2,07	0,43	0,60
63	312171,65	4084993,83	0,85	0,33	0,26
64	312070,05	4084874,46	1,58	0,30	0,48
65	312024,03	4084820,39	1,29	0,43	0,39
66	312225,58	4084979,67	0,73	0,11	0,18
67	312380,33	4085161,48	0,12	1,52	0,01
68	312418,82	4085130,88	1,36	-1,32	0,07
69	312289,25	4084978,64	1,90	0,04	0,50
70	312181,15	4084851,63	0,65	0,72	0,21
71	312201,91	4084798,12	-0,27	12,22	0,04
72	312312,24	4084927,76	1,55	-1,76	0,00
73	312506,24	4085079,92	-0,22	1,27	-0,05
74	312333,93	4084877,47	0,95	3,76	0,36
75	312244,14	4084771,97	1,23	2,05	0,56
76	312218,28	4084741,59	0,20	0,88	0,17
77	312256,66	4084703,78	0,19	1,43	0,14
78	312310,42	4084766,95	1,76	1,46	0,63
79	312387,77	4084857,83	2,06	-0,16	0,54
80	312551,09	4085049,73	0,39	0,80	0,15
81	312584,27	4085018,67	1,28	0,21	0,36
82	312430,67	4085838,19	1,17	1,60	0,48
83	312330,77	4084720,81	1,77	1,15	0,63
84	312281,09	4084662,44	0,13	-0,03	0,05
85	312332,36	4084642,75	1,28	0,20	0,37
86	312372,39	4084689,78	1,59	0,25	0,47
87	312478,91	4084814,93	-0,55	-0,23	-0,26

## Annexe 4

---

88	312624,47	4084985,97	-0,64	-0,08	-0,23
89	312661,50	4084953,35	-0,55	0,02	-0,18
90	312519,94	4084787,02	-0,46	-0,41	-0,23
91	312414,97	4084663,68	1,40	0,49	0,43
92	312377,29	4084619,42	1,08	1,44	0,39
93	312429,51	4084605,12	0,42	1,32	0,23
94	312464,10	4084645,75	1,41	0,36	0,38
95	312560,60	4084759,14	0,77	-0,56	0,12
96	312704,20	4084927,87	-0,21	-0,50	0,15
97	312746,65	4084897,17	0,67	-0,12	0,15
98	312482,29	4084586,55	0,13	0,69	0,08
99	312519,98	4084554,09	1,58	0,14	0,46
100	312580,19	4084624,83	1,77	-0,27	0,44
101	312640,83	4084852,08	0,91	-0,11	0,20
102	312794,74	4084876,92	1,75	-0,27	0,55
103	312846,76	4084858,95	0,94	-2,41	0,09
104	312715,65	4084704,90	1,43	1,88	0,42
105	312626,13	4084599,72	1,57	0,15	0,45
106	312628,16	4084528,07	0,61	2,82	0,26
107	312784,58	4084711,86	1,47	-0,24	0,31
108	312901,77	4084857,78	-0,02	0,16	-0,03

**Annexe 5 : Le fichier sorti (OUTPUT) à partir du modèle GSTA**

N° Station	X	Y	Longueur	Direction
1	311175,25	4085596,7	0,88	124,07
2	311208,15	4085635,5	0,9	130,1
3	311361,22	4085815,8	0,78	175,27
4	311624,91	4086125,7	0,17	335,39
5	311641,63	4086069,4	0,14	335,39
6	311356,93	4085735	1,09	130,88
7	311239,06	4085596,5	0,96	114,1
8	311197,9	4085548,2	0,94	109,4
9	311227,29	4085504,1	0,94	67,38
10	311273,3	4085557,7	0,9	86,93
11	311372,16	4085673,3	0,85	135,67
12	311659,66	4086010,1	0,25	330,92
13	311687,14	4085965,7	0,22	330,92
14	311396,03	4085628,3	0,94	89,75
15	311300,99	4085516,9	0,95	70,77
16	311261,11	4085470,4	0,79	75,07
17	311295,36	4085433,4	1,07	72,79
18	311327,99	4085471,6	1,03	72,8
19	311426,28	4085586,3	0,94	78,7
20	311706,27	4085913,5	0,2	330,92
21	311734,25	4085868,8	0,09	132,28
22	311458,64	4085545,5	0,95	66,52
23	311365,36	4085436,1	1,04	59,68
24	311367,12	4085362,2	1,07	58,42
25	311402,55	4085404,2	1,1	62,4
26	311493,36	4085510,3	1,1	57,09
27	311759,79	4085822,7	0,18	330,92
28	311788,35	4085779,7	0,09	335,39
29	311531,09	4085477,8	1,12	51,65
30	311441,06	4085371,7	1,05	60,63
31	311406,99	4085331,8	1,1	60,37
32	311448,75	4085302,3	1,09	61,06
33	311483,11	4085342,8	1,06	45,02
34	311572,13	4085446,8	0,95	42,54
35	311820,14	4085738	0,18	330,92
36	311851,11	4085698,1	0,2	330,92
37	311613,58	4085418,5	0,98	37,32
38	311523,97	4085313,3	0,97	35,52
39	311487,88	4085270,7	0,98	37,75
40	311524,86	4085237	1,03	39,15
41	311563,99	4085282,9	0,94	37,2
42	311648,42	4085381,9	1,05	35,51

## Annexe 5

43	311882,1	4085656,1	0,44	325,11
44	311914,56	4085618,2	0,13	132,28
45	311688,78	4085353	1,05	25,79
46	311600,11	4085248,7	1,15	26,95
47	311563,73	4085205,7	1,22	28,25
48	311633,73	4085210,2	1,12	25,11
49	311729,19	4085322,6	0,96	25,19
50	311950,65	4085583,3	0,14	326,44
51	311984,59	4085546,1	0	225
52	311767,93	4085291,6	0,51	40,05
53	311673,16	4085180,4	0,77	30,97
54	311805,24	4085257,9	0,44	28,08
55	311016,79	4085506,4	1,59	112,81
56	311049,78	4085468,3	1,35	117,07
57	311842,29	4085224,2	0,25	55,2
58	311746,29	4085111,3	0,53	16,09
59	312007,57	4084877,9	0,91	62,93
60	312106,49	4084994,1	0,66	38,5
61	312287,62	4085206,9	0,31	118,04
62	312331,11	4085181	0,4	142,5
63	312171,66	4084993,8	0,44	41,02
64	312070,07	4084874,3	0,84	43,67
65	312024,02	4084820,4	0,99	57,77
66	312225,55	4084979,5	0,5	33,66
67	312380,31	4085161,3	0,15	297,59
68	312418,81	4085130,9	0,14	269,44
69	312289,23	4084978,4	0,38	32,37
70	312181,14	4084851,4	0,68	40,42
71	312201,91	4084798	0,73	38,9
72	312312,24	4084927,7	0,44	32,89
73	312506,25	4085080	0,31	231,94
74	312333,91	4084877,3	0,43	45,79
75	312244,11	4084771,8	0,61	36,34
76	312218,27	4084741,4	0,7	39,67
77	312256,63	4084703,6	0,67	32,39
78	312310,42	4084767,1	0,66	35,4
79	312387,79	4084858	0,4	31,71
80	312551,08	4085049,6	0,31	239,25
81	312584,28	4085018,6	0,35	212,19
82	312430,67	4085837,9	0	0
83	312330,78	4084720,9	0,66	34,69
84	312281,1	4084662,4	0,71	28,6
85	312332,33	4084643,1	0,68	25,69
86	312372,38	4084689,9	0,72	20,73
87	312478,89	4084815	0,33	24,12

## Annexe 5

---

88	312624,45	4084985,8	0,37	201,81
89	312661,49	4084953,3	0,25	207,02
90	312519,93	4084787	0,25	14,08
91	312414,97	4084663,6	0,68	23,93
92	312377,27	4084619,5	0,68	20,7
93	312429,48	4084604,9	0,67	18,7
94	312464,08	4084645,8	0,68	25,24
95	312560,58	4084759	0,19	355,79
96	312704,17	4084928	0,33	222,69
97	312746,64	4084897,3	0,36	220
98	312482,32	4084586,5	0,53	23,15
99	312519,96	4084554,3	0,49	22,26
100	312580,19	4084624,9	0,45	28,89
101	312640,84	4084852,3	0,29	228,82
102	312794,74	4084876,7	0,44	213,29
103	312846,75	4084858,8	0,39	189,8
104	312715,64	4084705,1	0,15	231,69
105	312626,15	4084599,6	0,38	44,28
106	312628,14	4084528	0,31	30,9
107	312784,55	4084711,9	0,14	215,99
108	312901,73	4084858	0,39	164,58