

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

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

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



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

OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL

**Hydrologie, modélisation hydro-sédimentaire et conception des  
ouvrages de protection : cas de la baie de Béjaia**

Présenté par :

- SALHI Salah
- TALANZAR Elyes

Soutenu le 01/07 /18 devant le jury suivant :

|                                    |                  |           |              |
|------------------------------------|------------------|-----------|--------------|
| M <sup>me</sup> . BACHARI HOUMA F. | Professeur       | (ENSSMAL) | Présidente   |
| M. BELKESSA R.                     | Professeur       | (ENSSMAL) | Promoteur    |
| M. AOUDJ C.                        | Cadre            | (MICLAT)  | Co-promoteur |
| M. OTMANI H.                       | Maître assistant | (ENSSMAL) | Examineur    |
| M. FERNANE L.                      | Maître assistant | (ENSSMAL) | Examineur    |
| M <sup>me</sup> .DJEHA S.          | Cadre supérieur  | (MICLAT)  | Invitée      |

Année universitaire : 2017/2018



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire

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

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر و تهيئة الساحل  
École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral



**MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME  
D'INGÉNIEUR D'ÉTAT ET GRADE DU MASTER EN SCIENCES DE LA MER**

**OPTION : AMÉNAGEMENT DU LITTORAL**

**Hydrologie, modélisation hydro-sédimentaire et conception des  
ouvrages de protection : cas de la baie de Béjaia**

**Présenté par :**

- **SALHI Salah**
- **TALANZAR Elyes**

Soutenu le 01/07 /18 devant le jury suivant :

|   |                         |                  |                     |
|---|-------------------------|------------------|---------------------|
| <b>M<sup>me</sup>. BACHARI HOUMA F.</b> | <b>Professeur</b>       | <b>(ENSSMAL)</b> | <b>Présidente</b>   |
| <b>M. BELKESSA R.</b>                   | <b>Professeur</b>       | <b>(ENSSMAL)</b> | <b>Promoteur</b>    |
| <b>M. AOUDJ C.</b>                      | <b>Cadre</b>            | <b>(MICLAT)</b>  | <b>Co-promoteur</b> |
| <b>M. OTMANI H.</b>                     | <b>Maître assistant</b> | <b>(ENSSMAL)</b> | <b>Examineur</b>    |
| <b>M. FERNANE L.</b>                    | <b>Maître assistant</b> | <b>(ENSSMAL)</b> | <b>Examineur</b>    |
| <b>M<sup>me</sup>.DJEHA S.</b>          | <b>Cadre supérieur</b>  | <b>(MICLAT)</b>  | <b>Invitée</b>      |

**Année universitaire : 2017/2018**

## *Remerciement*

En premier lieu nous remercions le bon Dieu de nous avoir donné la patience et la capacité d'achever ce mémoire ainsi que nous familles, dans leurs présences de tous les instants le soutien moral et le courage.

Nos premiers remerciements, et sans doute les plus vifs, s'adressent tout particulièrement à notre promoteur, le professeur **BELKESSA R.**, pour l'intérêt incessant qu'il a porté au suivi de ce mémoire, en dépit de ses occupations et malgré la difficulté rencontrée tout le long de cette étude. Nous le remercions aussi d'avoir été compréhensif et patient, d'avoir été exigeant tout en nous accordant une grande autonomie et surtout, d'avoir partagé ses connaissances et sa passion avec nous.

Par la suite on remercie énormément notre Co-promoteur Monsieur **AOUDJ C.** pour son soutien constant, ses conseils et ses critiques, toujours très constructifs, nous ont énormément apporté

Nous adressons nos remerciements aux membres de jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant de juger ce travail : à notre présidente du jury madame **BACHARI HOUMA F.**, à nos examinateurs : Monsieur **OTMANI H.** et Monsieur **FERNANE L.** et notre invité d'honneur madame **DJEHA S.**

Nous remercions Monsieur **BENIDIR N.** le chef et d'antenne de CNL de Béjaïa notre formateur de stage au niveau de cet établissement. Ainsi que le personnel de l'EPB (Entreprise Portuaire de Béjaïa) qui nous ont assuré des sorties en mer et surtout Monsieur **MEZHOUD A.** et **HALAILI Y.** qui nous ont accompagné durant les sorties. Sans oublié Madame **GUERAINI C.** et Monsieur **MATOUK Y.** de nous avoir facilité le travail au laboratoire LGA (ENSSMAL)

Nous adressons ensuite nos sincères remerciements à monsieur **OTMANI H** pour sa disponibilité, ses orientations et ses conseils, monsieur **ADJAL M.** et **SALLYE M.**, pour leur aide et pour les échanges scientifiques.

En fin, nous remercions toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin au bon accomplissement de notre travail.

|                            |      |
|----------------------------|------|
| Remerciement.....          | i    |
| Sommaire .....             | ii   |
| Liste des figures .....    | viii |
| Liste des tableaux .....   | xi   |
| Liste des acronymes .....  | xii  |
| Introduction générale..... | 2    |

## Chapitre I

### Synthèse bibliographique

|  |   |
|--|---|
| I. Le littoral et la zone côtière : .....      | 4 |
| II. Hydrodynamique : .....                     | 4 |
| II.1. La courantologie : .....                 | 4 |
| II.1.1 Les courants dûs aux vagues : .....     | 4 |
| II.1.2 Courants de marée : .....               | 4 |
| II.1.3 Courants de dérive littorale : .....    | 4 |
| II.1.4 Courants de retour : .....              | 4 |
| II.2. La zonation hydrodynamique : .....       | 6 |
| III. Hydrologie : .....                        | 6 |
| IV. Transport sédimentaire : .....             | 7 |
| IV.1. Les processus hydro-sédimentaire : ..... | 7 |
| IV.1.1 Le shaoling : .....                     | 7 |
| IV.1.2 La réfraction : .....                   | 8 |
| IV.1.3 La réflexion : .....                    | 8 |
| IV.1.4 Diffraction : .....                     | 8 |
| IV.1.5 Déferlement : .....                     | 8 |

## Chapitre II

### Présentation de la zone d'étude

|  |    |
|--|----|
| I. Situation géographique : .....  | 10 |
| I.1. La position géographique : .....  | 10 |
| I.2. Le littoral de la wilaya de Béjaïa : .....                                    | 10 |
| I.3. La vallée de la Soummam : .....   | 10 |
| I.3.1. Les débits liquides de l'oued Soummam : .....                               | 11 |
| I.3.2. Les débits solides de l'oued Soummam : .....                                | 11 |
| II. Contextes météorologique, hydrologique, géologique et géomorphologique : ..... | 12 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| II.1. Les vents : .....              | 12 |
| II.2 Le climat : .....               | 13 |
| II.3. Les températures : .....       | 15 |
| II.4. Hydrologie : .....             | 16 |
| II.5. Cadre géomorphologique :.....  | 16 |
| III. Données hydrodynamiques : ..... | 17 |
| III.1. Les courants marins : .....   | 17 |
| III.2. Marée : .....                 | 18 |
| III.3.1. La houle au large : .....   | 18 |
| III.3.2. La houle à la côte : .....  | 20 |

### Chapitre III

Hydrologie, Simulation de la crue de l'oued Soummam et l'élévation du niveau de la mer

|  |    |
|--|----|
| Introduction .....                                     | 23 |
| III.A. Hydrologie de la Soummam.....                   | 23 |
| III.A.1 Etude du bassin versant de la Soummam .....    | 23 |
| III.A.1.1. caractéristiques géométriques .....         | 23 |
| III.A.1.2. Caractéristiques topographiques .....       | 24 |
| III.A.1.3. Dégradation des BV.....                     | 27 |
| III.A.2. Bilan hydrique : .....                        | 27 |
| III.A.3. Cadre géologique et lithologique : .....      | 29 |
| III.B. Simulation de la crue de l'ouad Soummam.....    | 31 |
| III.B.1. Définition des crues .....                    | 31 |
| III.B.2. Facteurs déterminant les crues .....          | 31 |
| III.B.3. Erosion .....                                 | 32 |
| III.B.3.1. Mécanisme de l'érosion hydrique .....       | 32 |
| III. B.3.2. Facteurs influençant l'érosion : .....     | 32 |
| III.B.4 Simulation de la crue .....                    | 32 |
| III.B.4.1. Moyens utilisés.....                        | 32 |
| III. B.4.2. Méthode.....                               | 34 |
| III. B.4.3. Résultats et discussion.....               | 34 |
| III.B.4.4. Dégâts de la crue : .....                   | 39 |
| III.B.5. Solution et plan de gestion des crues : ..... | 42 |
| III.B.5.1. Solution : .....                            | 42 |
| III.B.5.2. La gestion du phénomène : .....             | 43 |

|  |    |
|--|----|
| III.C. Simulation d'une élévation du niveau de la mer .....            | 43 |
| III.C.1. Submersion côtière.....                                       | 43 |
| III.C.2. Simulation d'une élévation du niveau de la mer.....           | 44 |
| III.C.2.1. Matériels (Logiciel utilisé): .....                         | 44 |
| III.C.2.2 méthode .....  | 45 |
| III.C.2.3. Résultats et discussion.....                                | 45 |
| III.C.3. Monétisation des impacts négatifs de l'élévation du NM :..... | 46 |
| Conclusion.....  | 46 |

## Chapitre IV

### Etude bathysédimentaire et modélisation hydrodynamique

|  |    |
|--|----|
| Introduction .....   | 48 |
| A. Etude bathymétrique.....  | 48 |
| IV.1. Méthodologie : .....   | 48 |
| IV.2. Travaux sur terrain .....  | 48 |
| Outils utilisés : .....  | 48 |
| IV.3. Travaux sur logiciels .....  | 49 |
| Logiciels utilisés : .....   | 49 |
| IV.4. Résultats et discussion.....   | 49 |
| IV.4.1. Carte bathymétrique.....   | 49 |
| IV.4.2. Profils bathymétriques .....                                       | 51 |
| B- Étude granulo-sédimentaire.....   | 53 |
| IV.5. Principe.....  | 53 |
| IV.6. récolte de données terrain.....                                      | 53 |
| IV.7. Analyse au laboratoire.....  | 54 |
| Protocole d'analyse .....  | 54 |
| a- Détermination de la fraction fine (<math><40 \mu\text{m}</math>) :..... | 54 |
| b- Détermination de la fraction grossière :.....                           | 54 |
| IV.8. Traitement des données .....   | 55 |
| IV.8.1. Logiciels utilisés : .....   | 55 |
| IV.8.2. Représentations graphiques .....                                   | 56 |
| 1- Courbe granulométrique .....  | 56 |
| 2- Les paramètres de position : .....                                      | 56 |
| 3- Indices granulométriques :.....   | 56 |
| IV.9. Résultats : .....  | 58 |

|   |    |
|---|----|
| IV.9.1. Analyse granulométrique :.....  | 58 |
| IV.9.2. Cartographie et interprétation des résultats granulométriques : ..... | 59 |
| C- Modélisation hydrodynamique.....   | 63 |
| Introduction .....  | 63 |
| IV.10. matériels utilisés.....  | 63 |
| IV.10.1. Courantomètre : .....  | 63 |
| IV.10.2. mike 21 : .....  | 63 |
| IV.11. Méthode .....  | 64 |
| IV.11.1. Création 2D Bathymétrie sous le maillage .....                       | 64 |
| IV.11.2. Configuration des maillages .....                                    | 64 |
| IV.11.3. Méthodologie suivie .....  | 64 |
| IV.12. Configurations et résultats .....                                      | 64 |
| IV.12.1. Configuration du module SW .....                                     | 66 |
| IV.12.1.1. Conditions du niveau marin .....                                   | 66 |
| IV.12.1.2. Les conditions de courant .....                                    | 66 |
| IV.12.1.3. Rupture des vagues .....   | 66 |
| IV.12.1.4. Conditions initiales des limites .....                             | 66 |
| IV.12.2. Résultats du module SW : .....                                       | 67 |
| IV.12.3. Configuration du module HD .....                                     | 69 |
| IV.12.3.1. Frottement sur les fonds.....                                      | 69 |
| IV.12.3.2. Viscosité turbulente .....   | 69 |
| IV.12.3.3. Force de Coriolis.....   | 70 |
| IV.12.3.4. Force des Vents.....   | 70 |
| IV.12.3.5. Les radiations des champs de houle.....                            | 70 |
| IV.12.3.6. Conditions initiales .....   | 70 |
| IV.12.4. Résultats du module HD : .....                                       | 71 |
| IV.12.5. Configuration du module ST :.....                                    | 74 |
| IV.12.6. Résultats du module ST :.....  | 74 |
| Conclusion.....   | 79 |

## Chapitre IV

### Solution d'aménagement

|                            |    |
|----------------------------|----|
| Introduction .....         | 81 |
| I. matériels utilisés..... | 81 |
| I.1. Autocad : .....       | 81 |
| I.2. Mike 21 .....         | 82 |

|  |    |
|--|----|
| II. Méthodologie suivi :.....  | 82 |
| III. Proposition de variante.....                                    | 83 |
| III.1. Variante1 : brise lame immergé et rechargement.....           | 83 |
| Pré dimensionnement de l'ouvrage .....                               | 83 |
| Dimensionnement du brise lame .....                                  | 84 |
| Dimensionnement du rechargement : .....                              | 85 |
| Cout de réalisation du brise-lame et du rechargement : .....         | 86 |
| Réalisation : .....  | 86 |
| Impact : .....   | 86 |
| Esthétique : .....   | 86 |
| Représentation de la solutions : .....                               | 87 |
| III.2. Variante2 :Brise-lames immergés en géotube + stabi-plage..... | 88 |
| Dimensionnement .....  | 88 |
| 1-Géotube :.....   | 88 |
| 2-Stabi-plage : .....  | 89 |
| Cout de réalisation : .....  | 89 |
| - Géotube immergé : .....  | 89 |
| - Stabiplage : .....   | 90 |
| Réalisation : .....  | 90 |
| Impact : .....   | 90 |
| Esthétique : .....   | 90 |
| Représentation de la solutions : .....                               | 91 |
| III.3. Variante3 : récif artificiel + brise-vent.....                | 92 |
| Dimensionnement : .....  | 92 |
| a-Brise-vent : .....   | 92 |
| b-Récif artificiel : .....   | 92 |
| Cout de réalisation : .....  | 92 |
| Réalisation : .....  | 93 |
| a-Brise vent : .....   | 93 |
| b-Récif.....   | 93 |
| Impact : .....   | 93 |
| Esthétique : .....   | 93 |
| Représentation de la solutions : .....                               | 94 |
| Entretien des variantes : .....                                      | 95 |
| IV. Comparaison des variantes : .....                                | 95 |

Conclusion..... 95  
Conclusion générale ..... 97  
Bibliographie..... 99  
Annexes..... 106

## Liste des figures

- Figure I.1** : Cadre spatial de la zone côtière (**Corlay, 2001**).
- Figure I.2** : Schéma processus de production de courant de vagues.
- Figure I.3** : Zonation hydrodynamique du littoral. (**Cordier, E. 2007**)
- Figure I.4** : Le transport sédimentaire
- Figure II.1** : Localisation du site d'étude.
- Figure II.2** : Moyennes annuelles des débits liquides de l'oued Soummam à la station de Sidi Aïch, pour la période 1973-1993.
- Figure II.3** : Moyennes annuelles des débits solides de l'oued Soummam à la station de Sidi Aïch, pour la période 1973-1993.
- Figure II.4** : Roses trimestrielles et annuelles des vents au large des côtes de Béjaïa (**LEM, 1998**).
- Figure II.5** : Distribution des moyennes des précipitations mensuelles dans la région de Béjaïa (1970-2015).
- Figure II.6** : Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Gausse pour la période (1970-2015).
- Figure II.7** : Distribution des températures moyennes mensuelles dans la région de Béjaïa (1970-2015).
- Figure II.8** : Esquisse morphologique du secteur Annaba-Béjaïa (**Boutiba, 2004**).Modifié
- Figure II.9** : Roses trimestrielle et annuelle de la houle, (**L.E.M, 1998**) enrigisté dans la baie de bejaia
- Figure III.1** : Carte du bassin versant de Bejaia en 3D.
- Figure III.2** : Carte d'altitude du bassin versant de la Soummam.
- Figure III.3** : Courbe hypsométrique du bassin versant de la Soummam.
- Figure III.4** : Bassins et sous bassins versants de la Soummam (**MICLAT, 2018**)
- Figure III.5** : Carte géologique de la région de Béjaïa (**LTMGP, 2009**).
- Figure III.6** : Carte lithologique du bassin versant de la Soummam.
- Figure III.7** : Causes et types d'inondations en Algérie.
- Figure III.8** : Interface du HEC RAS.
- Figure III.9** : Interface du Google Earth Pro.
- Figure III.10** : Méthodologie suivie pour l'étude de la crue de la vallée du Soummam.
- Figure III.11** : Bathymétrie créée sous HEC-RAS.
- Figure III.12** : Profil topographique de l'oued Soummam à l'état normal.
- Figure III.13** : Profil topographique de l'oued Soummam en plein crue.
- Figure III.14** : Représentation de la crue de l'oued Soummam sur le MNT.
- Figure III.15** : Profil de l'élévation du niveau d'eau de l'oued Soummam après 4 heure d'inondation.
- Figure III.16** : Profil de l'élévation du niveau d'eau de l'oued Soummam après 8 heures d'inondation.
- Figure III.17** : Profil de l'élévation du niveau d'eau de l'oued Soummam après 12 heures d'inondation.
- Figure III.18** : Profil de l'élévation du niveau de l'oued Soummam d'eau après 16 heures d'inondation.

- Figure III.19** : Profil de la vitesse de la crue de l'oued Soummam en fonction du temps.
- Figure III.20** : Carte de la crue de l'oued Soummam réalisée par HEC RAS.
- Figure III.21** : Résultats de la simulation de la crue d'Oued Soummam dans la zone 01.
- Figure III.22** : Résultats de la simulation de la crue d'Oued Soummam dans la zone 02.
- Figure III.23** : Résultats de la simulation de la crue d'Oued Soummam dans la zone 03.
- Figure III.24** : Interface du Global Mapper.
- Figure III.25** : Méthodologie suivie pour l'étude de l'élévation du niveau de la mer.
- Figure III.26** : Carte de vulnérabilité de l'élévation du niveau de la mer de la baie de Béjaia .
- Figure IV.1** : la méthodologie suivie pour la création de la carte bathymétrique de la baie de Béjaia 2018.
- Figure IV.2** : Carte bathymétrique en 2D et 3D de la baie de Béjaia.
- Figure IV.3** : Carte bathymétrique de la baie de Béjaia .
- Figure IV.4** : Carte bathymétrique de la baie de Béjaia.
- Figure IV.5** : Carte des profils bathymétriques de la baie de Béjaia réalisé par ArcGis.
- Figure IV.6** : Profil bathymétrique 01 en 2D.
- Figure IV.7** : Profil bathymétrique 01 en 3D.
- Figure IV.8.** : Matériels utilisés.
- Figure IV.9** : Méthodologie de travail de l'étude sédimentologique.
- Figure IV.10** : Interface Excel (Gradistat).
- Figure IV.11** : Courbes cumulatives de l'échantillon S1.
- Figure IV.12** : diagramme de Folk de l'échantillon S1.
- Figure IV.13** : Carte de la distribution des pélites au niveau de la baie de Bejaia.
- Figure IV.14** : carte de distribution du grain moyen dans la baie de Béjaia.
- Figure IV.15** : Répartition de l'indice Sk dans la baie de Bejaia.
- Figure IV.16** : Relation entre les coefficients d'asymétrie et le diamètre moyen.
- Figure IV.17** : Carte de la distribution du tri de la baie de Bejaia.
- Figure IV.18** : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen de la baie de Béjaia (partie marine) .
- Figure IV.19** : Méthodologie suivie.
- Figure IV.20** : les hauteurs significatives avec les directions dominantes dans la baie de Béjaia Aoudj & al (2018).
- Figure IV.21** : Champs des houles dans la baie de Béjaia ( $H = 4.99\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 360^\circ\text{N}$ ).
- Figure IV.22** : Champ des houles dans la baie de Béjaia ( $H = 3.77\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 45^\circ\text{N}$ ).
- Figure IV.23** : Champ des houles dans la baie de Béjaia ( $H = 6\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 315^\circ\text{N}$ ).
- Figure IV.24** : Rose des vents de la station de l'aéroport de Béjaia. du 20-avril-2018.
- Figure IV.25** : Champs des courants dans la baie de Béjaia ( $H = 4.99\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 360^\circ\text{N}$ ).
- Figure IV.26** : Champs des courants dans la baie de Béjaia ( $H = 3.77\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 45^\circ\text{N}$ ).
- Figure IV.27** : Champs des courants de retours dans la baie de Béjaia ( $H = 3.77\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 45^\circ\text{N}$ ).
- Figure IV.28** : Champs des courants de retours dans la baie de Béjaia ( $H = 6\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 315^\circ\text{N}$ ).
- Figure IV.29** : Champs des courants de retours dans la baie de Béjaia (côté Ouest) ( $H = 6\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 315^\circ\text{N}$ ).

- Figure IV.30** : Champs des courants de retours dans la baie de Béjaia (coté Est) ( $H= 6m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ ).
- Figure IV.31** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 4.99m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 360^\circ N$ ).
- Figure IV.32** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 4.99m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 360^\circ N$ ).
- Figure IV.33** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 4.99m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 360^\circ N$ ).
- Figure IV.34** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 3.77m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 45^\circ N$ ).
- Figure IV.35** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 3.77m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 45^\circ N$ ).
- Figure IV.36** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 3.77m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 45^\circ N$ ).
- Figure IV.37** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 6m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ ).
- Figure IV.38** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 6m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ ).
- Figure IV.39** : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 6m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ ).
- Figure V.1** : Interface d'AutoCAD
- Figure V.2** : Méthodologie suivi.
- Figure V.3** : interface du Mike 21
- Figure V.4** : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 01 (direction Nord)
- Figure V.5** : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 01 (direction Nord Est)
- Figure V.6** : Représentation de la variante 01 sur AutoCad
- Figure V.7** : Représentation de la coupe (P1) de la variante 01 sur AutoCad
- Figure V.8** : Représentation de la coupe (P2) de la variante 01 sur AutoCad
- Figure V.9** : Vue des stabiplates transverses sur une plage sableuse
- Figure V.10** : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 02 (direction Nord)
- Figure V.11** : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 02 (direction Nord Est)
- Figure V.12** : Représentation de la variante 02 sur AutoCad
- Figure V.13** : Représentation de la coupe (P3) de la variante 02 sur AutoCad
- Figure V.14** : Représentation de la variante 02 (vue en détail) sur AutoCad
- Figure V.15** : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 03 (direction Nord Est)
- Figure V.16** : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 03 (direction Nord)
- Figure V.17** : Représentation de la variante 03 sur AutoCad
- Figure V.18** : Représentation de la coupe (P4) de la variante 03 sur AutoCad.

Liste des tableaux

**Tableau II.1** : Moyennes des précipitations annuelles et mensuelles (P) dans la région de Béjaïa (1970-2015).

**Tableau II.2** : Températures moyennes mensuelles pour la région de Béjaïa (1970 – 2015) (SONMB, 2015).

**Tableau II.3** : Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions (SSMO, 1963-1970).

**Tableau II.4** : L'état de la mer. (SSMO, 1963-1970).

**Tableau II.5** : Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle (L.E.M, 1998).

**Tableau II.6** : Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes (L.E.M, 1998).

**Tableau III.1** : Tableau de répartition hypsométrique.

**Tableau III.2** : Les principaux affluents de l'oued Soummam et leurs débits moyens ( $m^3/s$ ) (Bennabi, 1985).

**Tableau III.3** : Facteurs déterminants les crues.

**Tableau III.4** : Estimation des dégâts de la crue de l'oued Soummam.

**Tableau III.5** : Les effets négatifs et positifs des crues.

**Tableau III.6** : Les méthodes de gérance des crues.

**Tableau III.7** : Estimation de la surface perdue par l'élévation du NM sur la baie de Béjaïa.

**Tableau III.8** : Estimation des pertes par l'élévation du NM sur la baie de Béjaïa.

**Tableau IV.1** : Les valeurs adoptées pour  $M_z$ .

**Tableau IV.2** : Valeurs adoptées pour  $S_o$ .

**Tableau IV.3** : Valeurs adoptées pour  $S_k$ .

**Tableau IV.4** : Les indices granulométriques de l'échantillon S1 (pris du logiciel).

**Tableau V.1** : Dimensionnement du brise lame.

**Tableau V.2** : Comparaison des variantes proposées.

Liste des acronymes

|                     |  |
|---------------------|--|
| <b>%</b>            | Pour Cent  |
| <b>°C</b>           | Degré Celsius  |
| <b>A.N.R.H</b>      | Agence Nationale des <b>R</b> essources <b>H</b> ydriques  |
| <b>Abréviations</b> | <b>Significations</b>  |
| <b>BJ</b>           | <b>B</b> éjaia   |
| <b>C.N.L</b>        | Commissariat National du <b>L</b> ittoral  |
| <b>C.V.I</b>        | Indice de <b>V</b> ulnérabilité <b>C</b> ôtière  |
| <b>Cm</b>           | <b>C</b> entimètre   |
| <b>D.P.A.T</b>      | <b>D</b> irection de la <b>P</b> lanification et de l' <b>A</b> ménagement du <b>T</b> erritoire |
| <b>D.P.R.H</b>      | <b>D</b> irection de la <b>P</b> êche et des <b>R</b> essources <b>H</b> alieutique              |
| <b>D.P.S.B</b>      | <b>D</b> irection de la <b>P</b> rogrammation et <b>S</b> uivi <b>B</b> udgétaire                |
| <b>D.S.A</b>        | <b>D</b> irection des <b>S</b> ervices <b>A</b> gricoles   |
| <b>G.I.Z.C</b>      | <b>G</b> estion <b>I</b> ntégrée des <b>Z</b> ones <b>C</b> ôtières                              |
| <b>GIEC</b>         | <b>G</b> roupe <b>I</b> nter des <b>E</b> xperts sur l' <b>E</b> volution du <b>C</b> limat      |
| <b>GPS</b>          | <b>G</b> lobal <b>P</b> ositioning <b>S</b> ystem  |
| <b>I.N.C.T</b>      | <b>I</b> nstitut <b>N</b> ational de <b>C</b> artographie et de <b>T</b> élé-détection           |
| <b>Ifremer</b>      | <b>I</b> nstitut français de <b>r</b> echerche pour l' <b>e</b> xploitation de la <b>m</b> er    |
| <b>Kg</b>           | <b>K</b> ilogramme   |
| <b>Km</b>           | <b>K</b> ilomètre  |
| <b>Km/h</b>         | <b>K</b> ilomètre par <b>h</b> eure  |
| <b>L.E.M</b>        | <b>L</b> aboratoire des <b>E</b> tudes <b>M</b> aritimes   |
| <b>M</b>            | <b>M</b> ètre  |
| <b>Mm</b>           | <b>M</b> illimètre   |
| <b>O.R.G.M</b>      | <b>O</b> ffice National de <b>R</b> echerche <b>G</b> éologiques et <b>M</b> inière              |
| <b>S.A.T</b>        | <b>S</b> urface <b>a</b> gricole <b>t</b> otale  |
| <b>S.A.U</b>        | <b>S</b> uperficie <b>a</b> gricole <b>u</b> tile  |
| <b>S.O.N.M.B</b>    | <b>S</b> tation <b>O</b> ffice National <b>M</b> étéorologique de <b>B</b> éjaïa                 |
| <b>S.S.M.O</b>      | <b>S</b> ummary of <b>S</b> ynoptic <b>M</b> eteorological <b>O</b> bservations                  |
| <b>Tab</b>          | <b>T</b> ableau  |
| <b>U.T.M</b>        | <b>U</b> niversal <b>T</b> ransverse <b>M</b> ercator  |
| <b>W.G.S</b>        | <b>W</b> orld <b>G</b> éoïde <b>S</b> ystem  |

# **Introduction générale**

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

Les systèmes côtiers sont des entités en équilibre dynamique en regard des facteurs hydrodynamiques, sédimentaires et géomorphologiques (**Carter, 1988**). Toutefois, cet équilibre est fragile, comme en témoigne l'érosion côtière sévère qui affecte les littoraux des différentes régions côtières du monde (**Bird, 1985 ; Komar, 1998 ; Paskoff, 2001 ; Stone et Orford, 2004**).

La zone côtière étant fragile ; elle est donc vulnérable à tous types de pressions qu'elles soient naturelles mais surtout quand c'est anthropiques dont le degré varie selon le taux de fréquentation (**Paskoff, 2004**).

Les multiples risques qui menacent et menaceront dans l'avenir l'espace littoral sont le résultat de la mauvaise gestion de cet espace fragile, étroit et instable (**Bourgou M, 2010**).

Le littoral est un lieu de rencontre, où s'expriment avec la plus grande diversité des écosystèmes façonnés par l'action des houles, du vent et des embruns (**Paskoff, R, 2001**).

Actuellement, les problèmes des zones côtières méditerranéennes proviennent plus de l'impact des modèles de développement non durables adoptés jusqu'ici par les sociétés concernées, que de l'impact du changement climatique. Cependant, comme il est maintenant clair que le changement climatique va exacerber les impacts négatifs sur les zones côtières, ces zones fragiles et extrêmement vulnérables. Or, les espaces et ressources côtiers et marines sont à la base de nombreuses activités humaines indispensables à l'économie du pays et au bien-être des populations.

L'étude présentée ici, s'intéresse à l'hydrologie et à la modélisation hydro-sédimentaire de la baie de Béjaïa. Une baie qui connaît un hydrodynamisme très important et qui engendre des dégâts de plus en plus spectaculaires d'une part et d'autre part, les conséquences du changement climatique ou on a évoqué l'élévation du niveau de la mer, les inondations (crues) dans l'arrière-pays causées essentiellement par une forte précipitation et la faible pente du court d'eau et enfin on a touché à la conception des solutions pour éviter ou minimiser les effets des catastrophes.

Dans cette vision nous avons cerné cette étude en cinq chapitres

Le premier chapitre on a fait une synthèse bibliographique en impliquant toutes les notions possibles en relation avec notre thème d'étude.

Le deuxième chapitre présente un état des connaissances sur la zone d'étude, à savoir énumérer ses principales caractéristiques géomorphologique, météorologiques et océanographique.

Le troisième chapitre porte sur l'étude hydrogéologique et les simulations de la crue de l'Oued Soummam et de l'élévation du niveau de la mer et leurs conséquences socio-économiques.

Le quatrième chapitre porte sur l'étude bathymétrique, sédimentaire et hydrodynamique à savoir la simulation des comportements et des mouvements des houles et des courants ainsi que le choix des modèles du Mike21 utilisés et l'interprétation des résultats obtenus.

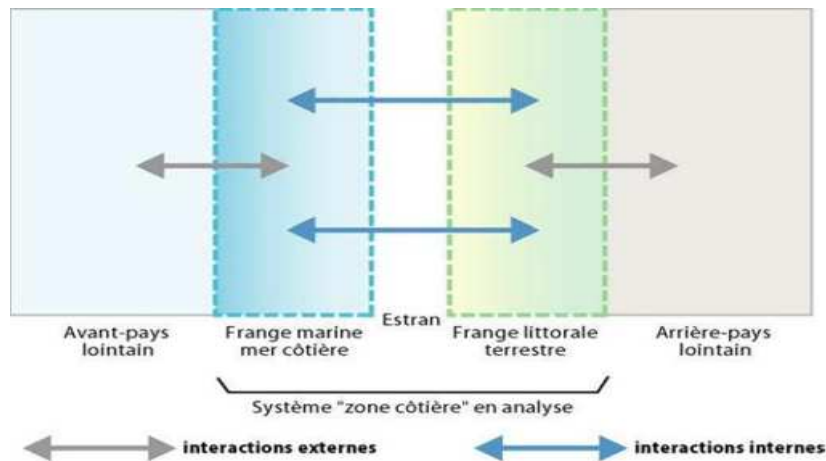
Le cinquième chapitre, on a proposé des solutions d'aménagement et on a cerné l'étude par la simulation après implantation et la représentation de ces variantes.

Chapitre I

# **Synthèse bibliographique**

## I. Le littoral et la zone côtière :

D'après (Fabbri, 1998), le terme de « zone côtière » ou « littoral » sont employés indistinctement mais reliés. Cependant le terme « littoral » est plus souvent utilisé lorsque l'espace s'assimile à un linéaire alors que le terme de « zone côtière », plus englobant, fait plutôt référence à une surface. Cette zone peut s'assimiler à un système au sein duquel les facteurs de changement agissent sur des sous-systèmes naturels et anthropiques interconnectés, conduisant à des interactions négatives ou positives d'ordre environnemental, social, culturel ou économique.



**Figure I.1** : Cadre spatial de la zone côtière  
(Corlay, 2001)

Selon le (FAO, 2017), la zone côtière est l'interface ou la transition entre la terre et la mer, y compris les grands lacs. Elle est variable dans l'espace par leur fonction et leur forme, dynamique et difficilement être délimitée d'une façon stricte.

## II. Hydrodynamique :

La compréhension des modes de fonctionnement des systèmes littoraux passe par l'étude de l'hydrodynamique qui est le responsable du transport de l'ensemble de ces composants.

### II.1. La courantologie :

Le phénomène de l'hydrodynamique dans la zone côtière est dû essentiellement à la courantologie. Les courants sont des écoulements en général turbulents caractérisés par leur vitesse instantanée et leur vitesse moyenne. Ils sont générés principalement par les marées, les vagues et le vent en surface.

### II.1.1 Les courants dûs aux vagues :

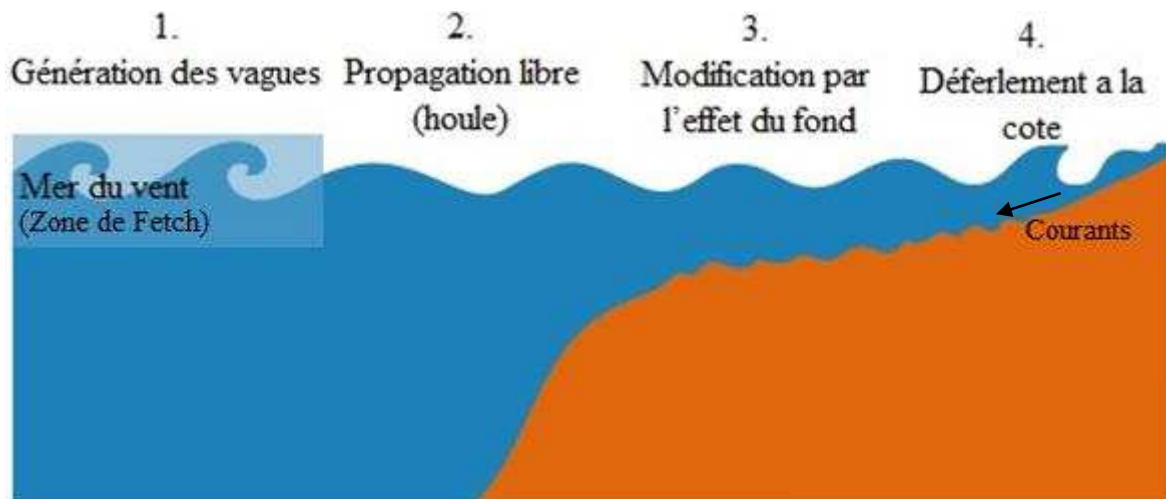
Les vagues sont la source de toute l'énergie qui met en mouvement la zone littorale et sont générées par le vent sur l'ensemble des mers.

Quand le vent s'affaiblit, ou si les vagues se propagent vers l'extérieur de la zone soufflée par le vent, les vagues continuent à se propager librement, c'est ce qu'on appelle la houle.

Aux abords des côtes, ces vagues sont modifiées et ralenties par l'effet du fond.

D'après (Weggel, 1972), les vagues déferlent sur la plage ou les hauts-fonds, dès que la profondeur est inférieure à environ 2 fois la hauteur des vagues.  $P \ll H_s$ ,

Les vagues perdent alors toute leur énergie qui est en partie communiquée aux courants. Ces courants et les vagues sont responsables de l'essentiel des mouvements de sédiments sur les plages : érosion, formation de barres.



### II.1.2 Courants de marée :

Les marées sont des mouvements oscillatoires périodiques des eaux marines soumises alternativement à une élévation et un abaissement de la mer, provoquées par l'interférence de l'attraction de la Lune et du Soleil et de la rotation de la Terre.

Ils sont contrôlés par :

- ✓ Les gradients de pression.
- ✓ Les frottements avec le fond.
- ✓ La force de Coriolis.

### II.1.3 Courants de dérive littorale :

Selon (Paskoff R., 1973), ces courants existent quand il y a incidence oblique de la houle, ils sont parallèles à la côte et contribuent à mettre les sédiments en mouvement, à les transporter et à la disperser, la vitesse de celui-ci est maximale pour un angle d'incidence de  $50^\circ$  à  $60^\circ$ . Ce courant joue un rôle très important dans l'évolution des rivages, en particulier les plages, et sa

connaissance est essentielle lorsque l'on procède à des aménagements qui empiètent sur l'espace infralittoral.

### II.1.4 Courants de retour :

Le courant de retour correspond à une zone de flot de retour à partir du courant existant au lieu du déferlement de la houle. Ces courants possèdent une vitesse qui dépend de l'énergie de la houle et de la pente de la plage. Ces courants sont responsables de la dispersion d'une partie des sédiments côtiers vers le large.

### II.2. La zonation hydrodynamique :

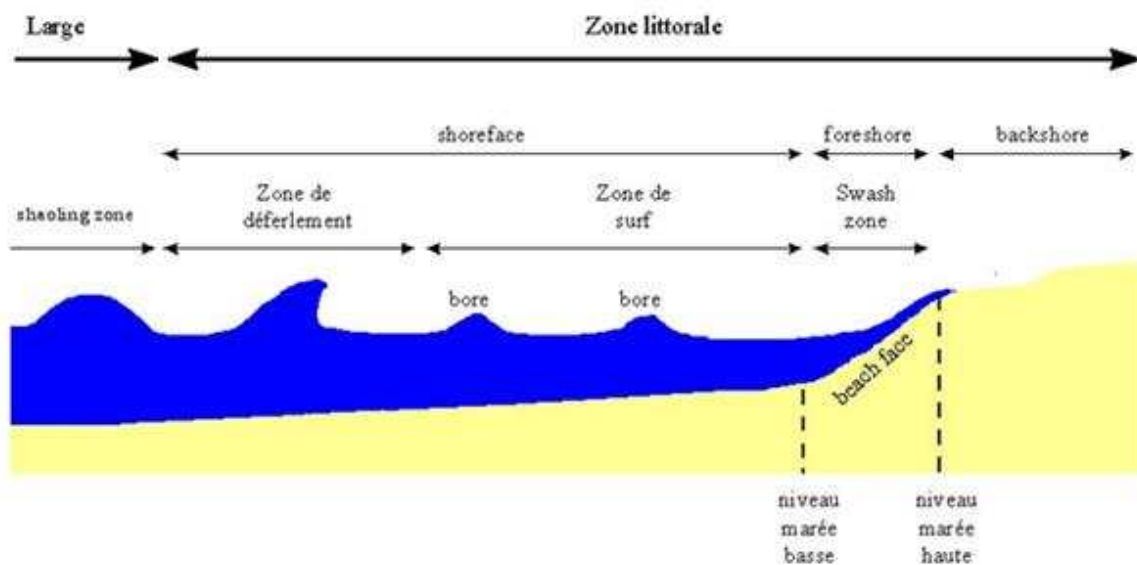


Figure I.3 : Zonation hydrodynamique du littoral (Cordier, E. 2007)

### III. Hydrogéologie :

D'après (Renard, 2002), l'hydrogéologie est une discipline des sciences de la terre qui a pour objectif l'étude du rôle des matériaux constituant le sous-sol et les structures hydrogéologiques et, par acquisition des données numériques par la prospection ou l'expérimentation sur le terrain, de permettre la planification des captages, ainsi que l'exploitation et la gestion des eaux souterraines.

L'hydrogéologie se spécialise dans la recherche et l'exploitation des eaux souterraines à usage domestique, agriculture ou industriel et étudier comment les matériaux géologiques influencent la circulation et la qualité des eaux souterraines. Outre des connaissances géologiques, l'hydrogéologue doit posséder des bonnes connaissances hydrauliques.

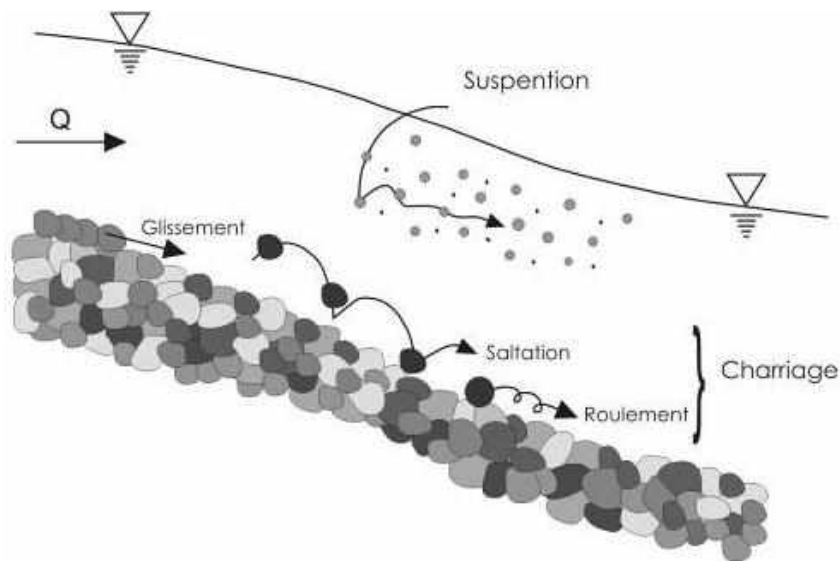
Il intervient en effet dans la recherche et l'exploitation du gisement de la nappe aquifère, dans l'étude de la qualité des eaux ainsi que dans leur protection. L'hydrogéologie doit être capable d'estimer la quantité et la qualité de l'eau et prédire son comportement dans les aquifères.

#### IV. Transport sédimentaire :

Trois processus régissent la dynamique sédimentaire : l'érosion, le transport et la sédimentation.

Les particules situées sur le fond marin subissent des efforts hydrodynamiques qui tendent à les mettre en mouvement, c'est le phénomène d'érosion.

Le déplacement des particules qui en résulte constitue le phénomène de transport, sous forme de charriage, de saltation ou de suspension.



**Figure I.4** : Le mode du transport sédimentaire (Marine, 2014)

Lorsque l'intensité de l'écoulement n'est plus suffisante pour maintenir les particules en suspension, celles-ci chutent : c'est la sédimentation.

#### IV.1. Les processus hydro-sédimentaire :

Les trois processus ont des conséquences comme l'érosion du trait de côte. Ils sont alors à considérer en conjonction avec les forçages hydrodynamiques tels que la houle, la marée, les courants...

Lorsque la vague aborde la côte, elle subit des modifications qui sont en rapport avec sa hauteur, sa direction de propagation. Ces changements d'état se traduisent par :

##### IV.1.1 Le shaoling :

C'est le phénomène de gonflement de la houle, appelé aussi le phénomène de levée. Il se manifeste lorsque la houle du large aborde des profondeurs inférieures à la moitié de sa longueur d'onde. Quant aux orbites décrites par les particules d'eau sous l'effet de la houle, ne se referment plus à l'interface eau/sédiment. Par contre la longueur d'onde et la vitesse de phase diminuent du large vers la côte.

**IV.1.2 La réfraction :**

La réfraction caractérise les changements de direction et de vitesse qui interviennent lors de la propagation d'une onde dans un milieu hétérogène à variation lente ou lorsqu'elle franchit une discontinuité.

Quand les fonds remontent ( $d < L/2$ ), la direction de propagation de la houle tend à s'orienter suivant la ligne de plus grande pente. Les crêtes des vagues ont tendance à se disposer parallèlement aux isobathes.

**IV.1.3 La réflexion :**

Lorsque la houle aborde une paroi imperméable, elle se réfléchit partiellement. La houle réfléchie, combinée à la houle incidente, donne naissance à des oscillations stationnaires appelées clapotis

**IV.1.4 Diffraction :**

Le processus de diffraction d'une onde est le changement dans la direction de propagation de celle-ci en l'absence de toute variation de la vitesse de propagation. Lorsqu'un ouvrage n'arrête qu'une partie du front d'onde, des oscillations se manifestent derrière cet ouvrage ; la houle contourne cet obstacle : c'est la diffraction. Ce phénomène s'observe également dans les régions côtières au voisinage d'irrégularités brutales de la morphologie de la côte.

**IV.1.5 Déferlement :**

Pour une longueur d'onde donnée, le creux de la houle n'augmente pas au-delà d'une certaine limite car l'onde devient instable pour une valeur critique de la cambrure. Celle-ci peut être atteinte de deux manières différentes, soit par un accroissement de l'amplitude de l'onde, soit par une diminution de la longueur d'onde. Lorsque l'onde est partiellement ou complètement détruite : c'est le déferlement.

Chapitre II

**Présentation de la zone  
d'étude**

## I. Situation géographique :

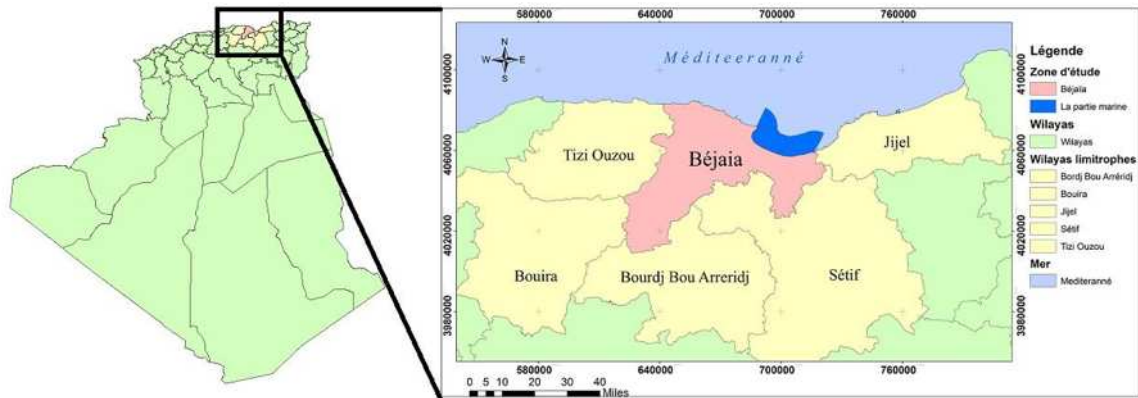


Figure II.1 : Localisation du site d'étude.

### I.1. La position géographique :

La zone d'étude est située sur la partie orientale de l'Algérie (à 260 km de la capitale), elle est limitrophe des wilayas de Tizi Ouzou et Bouira à l'Ouest Sétif et Bordj-Bou-Arreidj au sud, Jijel à l'Est et la mer Méditerranée au Nord, elle s'étend sur une superficie de 3328.5 Km<sup>2</sup>.

La baie de Béjaïa se situe dans la partie Est de la côte algérienne entre Béjaïa et Jijel

### I.2. Le littoral de la wilaya de Béjaïa :

Selon la (DPSB, 2015), le littoral de la wilaya de Béjaïa compte plus de 120 km définie en côtes Est et Ouest, éparpillé entre 8 communes côtières et renferment 46 plages, il forme une ceinture parallèle au rivage, la superficie de ces commune égale à 746 Km<sup>2</sup> qui présente 22.5 % de la superficie total de la wilaya

D'après (Mezhoud et al, 2017), le linéaire côtier du golfe de Béjaïa est de 104 km, il recèle une morphologie côtière variée, elle est composée de falaises et de plages. Le golfe est traversé par plusieurs oueds du fait d'une forte pluviométrie. Les plus importants oueds sont l'oued Soummam et l'oued Agrioun.

La zone d'étude est située à environ 260 km à l'Est d'Alger, elle est comprise entre deux massifs d'âge et de nature différents :

- Le Cap Carbon (5°06' Est et 36°46' Nord),
- Le massif d'El Aouana (5°36' Est et 36°46' Nord).

### I.3. La vallée de la Soummam :

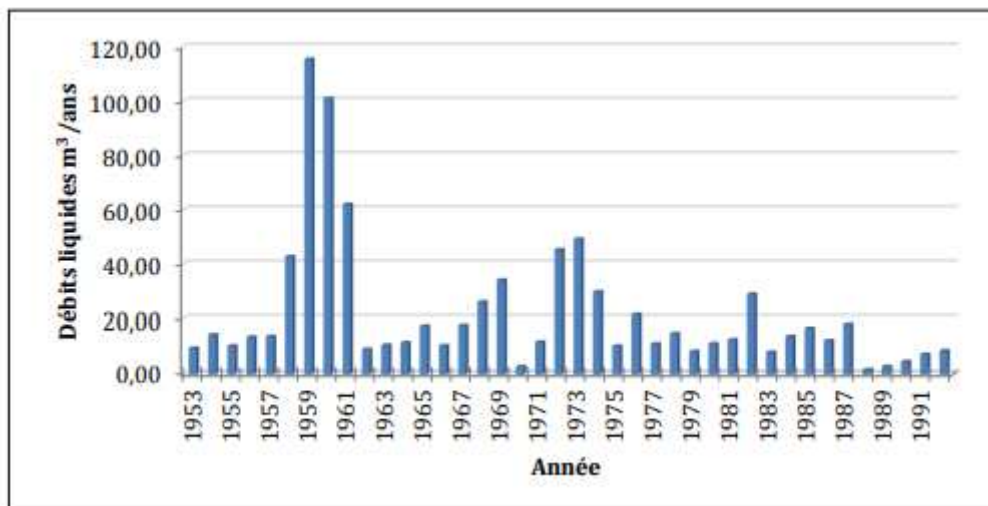
La vallée de la Soummam est insérée entre deux massifs montagneux, les Babors au Sud et Akfadou-Gouraya au Nord lui conférant ainsi une orientation générale de direction Sud-ouest/Nord-Est. Elle se caractérise par des reliefs à pente douce de 2,5%, résultant des dépôts quaternaires et formant en générale des terrasses. L'accumulation des alluvions peut évoluer en plusieurs types de terrasses (haute terrasse, moyenne terrasse et basse terrasse). Les versants délimitant cette vallée sont longs, assez réguliers avec de faibles pentes et des replats dominés

par les massifs calcaires. Le versant Nord présente un étagement allant de 200 m à Allayhane jusqu'à 1884 m à Azrounthour. Il est fermé par la terminaison orientale du massif cristallin de la grande Kabylie et la chaîne calcaire du Djurdjura. Le versant Sud est formé par des monts moins importants, culminants à 100 m pour la plupart, où dominent les replats assez rudes.

La haute vallée de la Soummam présente des conditions non favorables avec une forte tendance à l'aridité des crues. La basse vallée de la Soummam et la plaine côtière (Tichy jusqu'à Souk el Ténine) se composent de terrasses alluviales constituées pour l'essentiel de limons. (Aoudj et Bouaziz, 2014).

### I.3.1. Les débits liquides de l'oued Soummam :

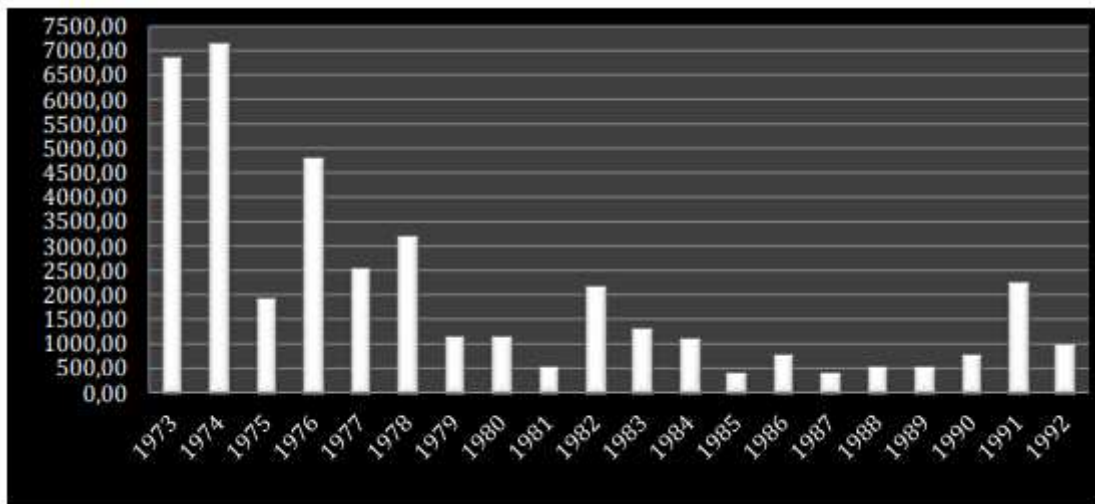
Les apports liquides sont fluctuants d'une année à une autre comme le montre la série de mesures recueillies à la station de Sidi Aïch pour la période 1973- 1993 (Figure II.2). Le maximum des débits liquides est enregistré durant la période allant de 1959-1961 avec un maximum de 115.35 millions de  $m^3$ /an durant l'année 1959, et un minimum de 2.82 millions de  $m^3$ /an observé durant l'année 1970 et 1988. Les écarts interannuels varient de 1 à 50 soit de 115 millions de  $m^3$ /an à 2.82 millions de  $m^3$ /an (Aoudj et Bouaziz, 2014).



**Figure II.2 :** Moyennes annuelles des débits liquides de l'oued Soummam à la station de Sidi Aïch, pour la période 1973-1993.

### I.3.2. Les débits solides de l'oued Soummam :

Les débits solides charriés par l'oued Soummam ont atteint un maximum qui dépasse 7000  $m^3$ /an (Benhamiche, 1997) durant les deux années 1973 et 1974 (Figure II.3) ces valeurs témoignant du rôle que joue les crues fréquentes de l'Oued Soummam et de l'importance de leurs forces dans la mobilisation des apports. Après la consultation de l'histogramme des moyennes mensuelles des débits solides on constate que les valeurs les plus élevées sont enregistrées durant les mois de Mars, Aout et Octobre alors que les plus faibles enregistrements sont observés durant le mois de Juillet (200  $m^3$ /s). Les principaux affluents de ouad Soummam sont : oued Bousellam et oued Sahel.



**Figure II.3 :** Moyennes annuelles des débits solides de l'oued Soummam à la station de Sidi Aïch, pour la période 1973-1993

## II. Contextes météorologique, hydrologique, géologique et géomorphologique :

### II.1. Les vents :

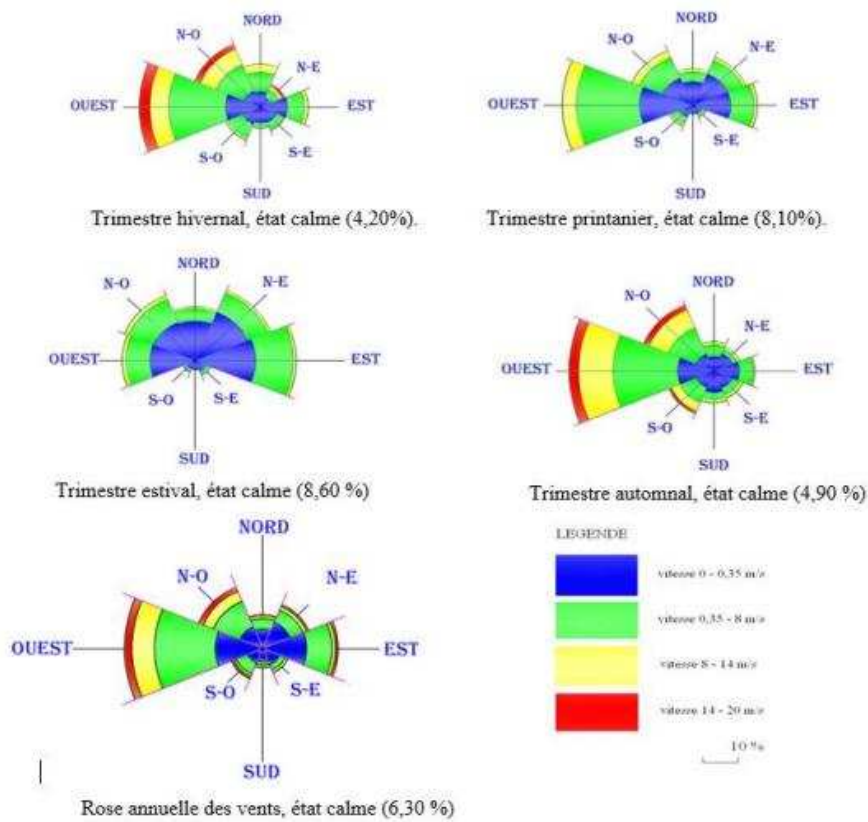
D'après (**DPRH Béjaïa, 2010**), le relief de la montagne Gouraya et de la vallée de la Soummam influencent souvent sur les régimes du vent de la région de Béjaïa. Les vents du Ouest/Nord-Ouest peuvent dépasser les 8 m/s en hiver étant alors les plus puissants, en été par contre c'est les vents de Est/Nord-est qui dominant.

Selon (**Guilcher A., 1974**), les vents jouent un rôle très important dans l'évolution géomorphologique des côtes, vu que c'est les générateurs de houles et de courants superficiels, leur influence aussi bien sur les transports éoliens.

D'après les fréquences d'apparition du vent par direction et par classe de vitesse pour chaque trimestre et pour toute l'année et selon les roses trimestrielles et annuelles des vents indiqués sur la (**Figure II.4**), on enregistre une prédominance des vents issus des directions W et NW avec des fréquences respectives de 29% et 7% pour les trois trimestres (hiver, printemps et automne) (**Aoudj et Bouaziz, 2014**)

Les directions N, E et NE sont aussi fréquentes mais avec des fréquences relativement faibles. Une grande partie des vents issus de ces directions ont des vitesses supérieures à 8 m/s. (**LEM, 1998**)

Pour le troisième trimestre (estival), les directions de vent sous citées existent toujours, mais avec une nette prédominance des vents issus des directions E et NE avec des fréquences respectives de 31% et 22 %. (LEM, 1998)



**Figure II.4 :** Roses trimestrielles et annuelles des vents au large des côtes de Béjaïa (LEM, 1998)

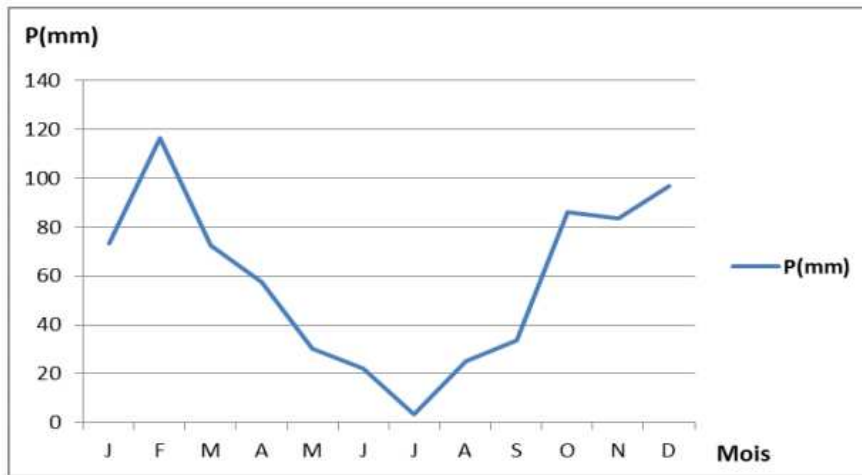
**II.2 Le climat :**

Un climat du domaine méditerranéen, favorisant le développement du tourisme balnéaire, la zone littorale et la vallée de la Soummam jouissent d'un climat pluvieux et doux en hivers, sec et chaud en été.

**Tableau II.1 :** Moyennes des précipitations annuelles et mensuelles (P) dans la région de Béjaïa (1970-2015).

| Période   | Mois  | J    | F     | M    | A    | M    | J     | J   |
|-----------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-----|
| 1970-2015 | P(mm) | 37.2 | 116.4 | 72.3 | 57.6 | 30.3 | 22.2  | 3.2 |
| Période   | Mois  | A    | S     | O    | N    | D    | Total |     |
| 1970-2015 | P(mm) | 25.3 | 33.5  | 86.1 | 83.4 | 97   | 617.1 |     |

(Station Météorologique sise à l'aéroport de Bejaia et onfoclimat.fr)



**Figure II.5 :** Distribution des moyennes des précipitations mensuelles dans la région de Béjaïa (1970-2015).

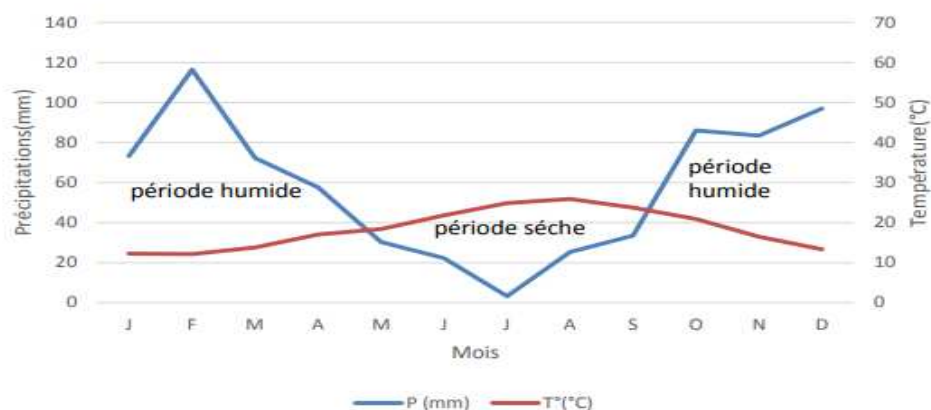
### Synthèse climatique

De nombreux indices climatiques sont proposés. Les plus courants sont basés essentiellement sur la pluie et la température. C'est le cas du quotient pluvio-thermique d'Emberger et de l'indice xérothermique de Bagnouls et Goussen qui sont les plus utilisés.

### Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Goussen :

Bagnouls et Goussen en 1954, ont établi un diagramme qui permet de dégager la période sèche en s'appuyant sur la comparaison de températures moyennes et de précipitations annuelles moyennes, ou sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec une échelle des précipitations équivalente aux doubles de celle des températures.

Il y a sécheresse lorsque la courbe des précipitations rencontre celle des températures et passe en dessous. Ainsi, le diagramme établi avec les données de période 1970-2015 dans la région de Béjaïa, montre l'existence d'une période humide ; s'étalent de fin septembre à fin mai, et une période sèche durant les quatre mois restants, c'est à dire de mai à septembre (**Figure II.6**)



**Figure II.6 :** Diagramme pluvio-thermique de Bagnouls et Goussen pour la période (1970-2015).

### II.3. Les températures :

Paramètre et facteur écologique d'une grande importance, exprimée souvent en degré Celsius (**Leynaud, 1968**), elle présente un facteur limitant de toute première importance, vu qu'elle conditionne l'évaluation du déficit d'écoulement, rentre dans la détermination du régime climatique. Elle augmente avec la diminution de la distance à la mer. Elle a un rôle dans la répartition des espèces et des communautés des êtres vivants de la biosphère (**Ramade, 2000**).

La répartition des températures de la région d'étude pour la période comprise entre 1978 et 2015 est représentée dans le **Tableau II.2**. Les valeurs mentionnées dans ce tableau sont relevées au niveau de la Station Météorologique de Béjaïa et corrigées d'après la méthode de (**Seltzer et Al, 1946**).

**Tableau II.2** : Températures moyennes mensuelles pour la région de Béjaïa (1970 – 2015) (**SONMB, 2015**)

| Période          | Mois           | J     | F     | M     | A     | M     | J     |
|------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>1970-2015</b> | <b>M</b>       | 16.7  | 17    | 18.5  | 22.9  | 23    | 26.3  |
|                  | <b>m</b>       | 7.8   | 7.3   | 9.1   | 11.2  | 13.8  | 17.3  |
|                  | <b>(M+m)/2</b> | 12.25 | 12.15 | 13.8  | 17.05 | 17.4  | 21.8  |
| Période          | Mois           | J     | A     | S     | O     | N     | D     |
| <b>1970-2015</b> | <b>M</b>       | 29.5  | 30.3  | 28.3  | 25.7  | 21    | 18    |
|                  | <b>m</b>       | 20.3  | 21.5  | 19.2  | 16.1  | 11.9  | 8.7   |
|                  | <b>(M+m)/2</b> | 24.9  | 25.9  | 23.75 | 20.9  | 16.45 | 13.35 |

(Station Météorologique sise à l'aéroport de Bejaia et onfoclimat.fr)

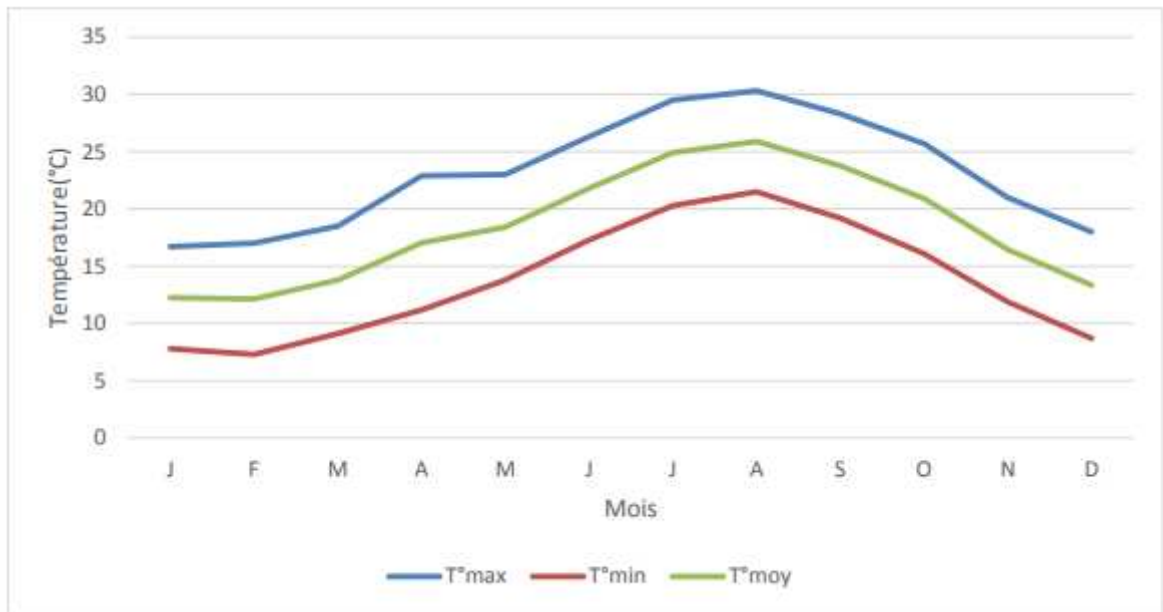
M : température maximale mensuelle

m : température minimale mensuelle

(M+m)/2 : température moyenne mensuelle

D'après ce tableau on remarque que le mois le plus froid est celui de février avec une température minimale de 7.3°C.

Et le mois le plus chaud correspond au mois d'Aout avec une température maximale 30.3°C.



**Figure II.7 :** Distribution des températures moyennes mensuelles dans la région de Béjaïa (1970-2015).

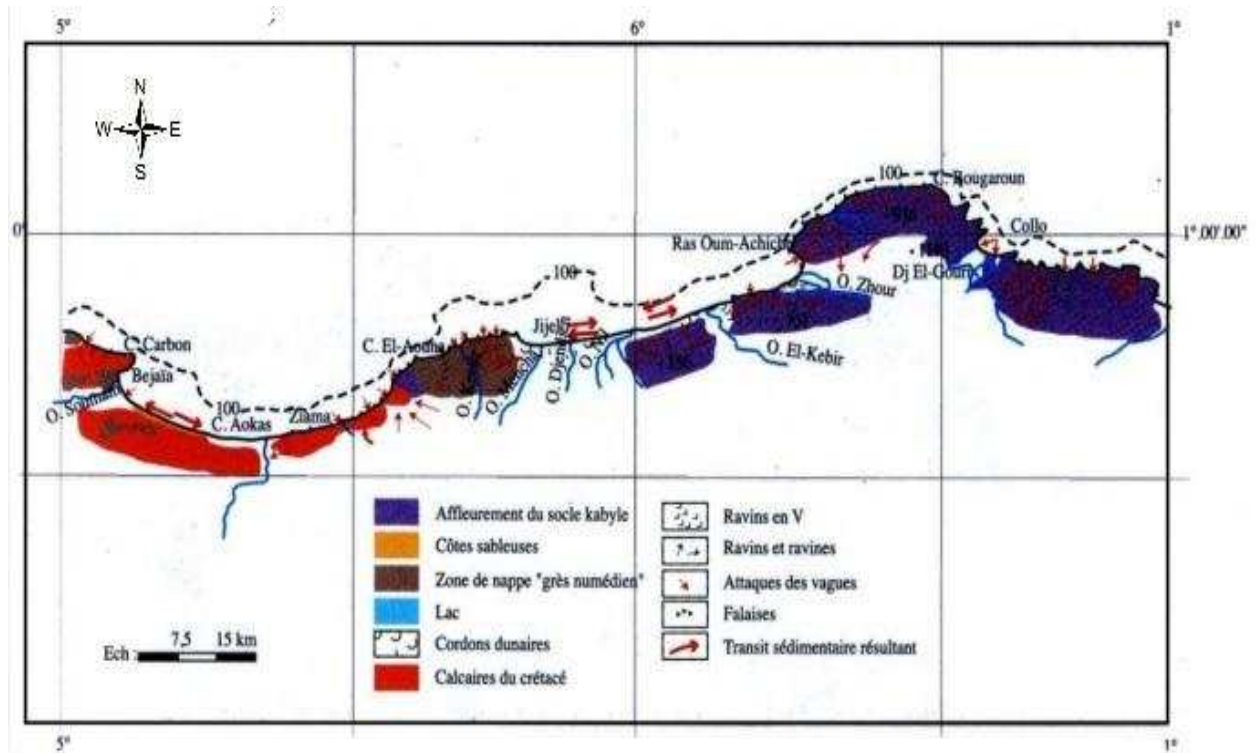
#### II.4. Hydrologie :

L'hydrologie est la science qui étudie l'écoulement de l'eau. En ruisselant sur la terre et en transportant des sédiments dans leurs fonds, les rivières modifient lentement le relief des paysages. En contrepartie, la forme de la vallée, la pente du bassin versant, la nature des roches qui forment le sous-sol influencent le régime d'écoulement de l'oued Soummam. Les éléments naturels agissent les uns avec les autres. L'homme peut aussi s'interagir avec eux.

#### II.5. Cadre géomorphologique :

Le golfe de Béjaïa (forme semi-circulaire), selon (**Leclaire, 1972**) est situé dans la partie sud du bassin méditerranéen, délimité à l'Est par le massif volcanique d'El Aouana (ex. Cavallo) et à l'Ouest par les falaises jurassiques de Cap Bouak. Il se singularise par un plateau continental peu étendu, d'une largeur moyenne de 1,5 Km un glacis continental festonné par d'imposants Criques (Cap Aokas, béni Segual), d'où partent des vallées sous-marines, la profondeur maximale du golfe de Béjaïa est d'environ 1000 m.

Selon (**Leclaire, 1972**), le golfe de Béjaïa comporte trois principaux faciès : les sédiments calcaires tels les sables, les graviers et les vases calcaires siliceuses. Les sédiments siliceux représentent le plus important pourcentage du recouvrement sédimentaire, et enfin le sédiment argileux avec un seul faciès de boues argilo-siliceuses.



**Figure II.8** Esquisse morphologique du secteur Annaba-Béjaïa (Boutiba, 2004). Modifié

### III. Données hydrodynamiques :

L'étude hydrodynamique nous permettra de déterminer le rôle des vagues et houles, sur la dynamique littorale ainsi que celui des courants.

#### III.1. Les courants marins :

Pour la baie de Béjaïa, la courantologie suit les faits suivants :

Selon (Millot, 1987), un courant principal en premier lieu, qui pénètre par le détroit de Gibraltar et qui forme des tourbillons anticycliques de 100 km de diamètre en se déplaçant vers l'Est à une vitesse inférieure à 12,6 km/h crée, alors des courants résiduels qui se dirigent vers la côte à moins 0,5 km/h, au contact de la côte ces derniers engendrent des courants de dérive littorale qui agissent dans les zones de déferlement par une remise en suspension des sédiments. L'importance des courants pour notre étude connaît et maîtrise les courants marins c'est vraiment indispensable parce que ils influencent directement sur le transport sédimentaire et l'apport à la plage qui peut être positif ou négatif pour identifier les problèmes en relation et les soigner plus tard.

### III.2. Marée :

D'après (LEM, 2009), la marée est un phénomène caractérisé par une variation périodique du niveau de la mer. Son ampleur et sa période dépendent de l'endroit du globe où l'on se trouve : en Méditerranée (Dans les côtes Algériennes, généralement), l'amplitude de la marée astronomique est peu importante, le marnage est de l'ordre de 25 à 30 cm en pleine lune et de 5 à 15 cm en nouvelle lune, il dépasse rarement les 35 cm avec des périodes d'environ 12h à 14h. La marée dans la baie de Bejaia est d'une valeur négligeable.

### III.3. Houle :

#### III.3.1. La houle au large :

La houle est définie par (Guilcher A, 1974) comme un système de vagues plus ou moins réguliers, dans lequel la hauteur est relativement faible par rapport à la longueur d'onde et qui se propage dans la mer hors de la présence du vent qui en a été la cause initiale.

La houle est le facteur le plus important dans la dynamique sédimentaire des petits fonds, la direction de propagation de la houle est liée à celle du vent, tant que la profondeur est supérieure à la longueur d'onde de la houle (Bonnefille, 1992).

Les données utilisées sont celle de l'U.S Naval weather service command, consignées dans l'Atlas océanographique de l'U.S .S.S.M.O, pour une période de 8 ans allant de 1963 à 1970.

**Tableau II.3** : Fréquences mensuelles des houles au large selon les directions (SSMO, 1963-1970)

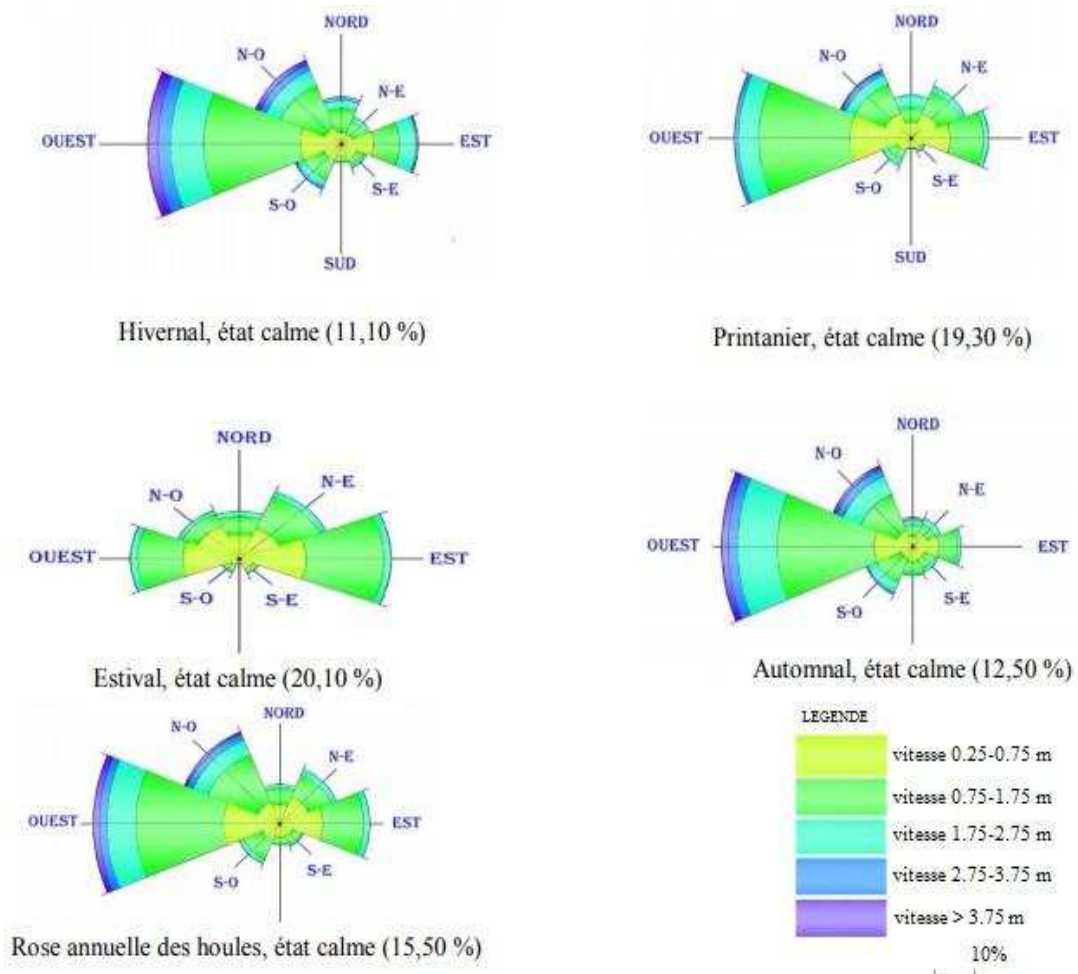
| Mois      | Nord  | Nord-Est | Est   | Ouest | Nord-Ouest |
|-----------|-------|----------|-------|-------|------------|
| Janvier   | 11.50 | 7.20     | 16.40 | 30.80 | 14.00      |
| Février   | 8.40  | 6.00     | 12.40 | 39.60 | 14.5       |
| Mars      | 8.50  | 5.50     | 12.90 | 35.50 | 20.40      |
| Avril     | 6.40  | 8.80     | 15.20 | 39.40 | 18.60      |
| Mai       | 8.60  | 15.90    | 17.30 | 31.70 | 13.10      |
| Juin      | 10.10 | 15.30    | 19.50 | 30.10 | 14.60      |
| Juillet   | 12.30 | 19.80    | 22.50 | 20.10 | 17.10      |
| Aout      | 12.40 | 19.90    | 24.90 | 18.50 | 16.90      |
| Septembre | 12.00 | 14.20    | 29.20 | 17.70 | 15.80      |
| Octobre   | 8.20  | 11.00    | 19.00 | 30.40 | 11.10      |
| Novembre  | 4.20  | 3.60     | 7.90  | 40.10 | 19.60      |
| Décembre  | 6.70  | 4.50     | 6.00  | 38.60 | 19.20      |

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

**Tableau II.4 : L'état de la mer. (SSMO, 1963-1970)**

| Degré        | Amplitudes en mer (m) | Etat de la mer           |
|--------------|-----------------------|--------------------------|
| <b>Calme</b> | < 0.25                | Ridée ou belle           |
| <b>0</b>     | 0.25-0.75             | Belle                    |
| <b>1</b>     | 0.75-1.75             | Modérée                  |
| <b>2</b>     | 1.75-2.75             | Agitée                   |
| <b>3</b>     | 2.75-3.75             | Forte                    |
| <b>4</b>     | > 3.75                | Très forte ou supérieure |

En hiver, les houles prédominantes sont de secteur Ouest / Nord-Ouest pour plus de 80 % avec une période moyenne de 8 à 9 secondes, des périodes supérieures à 10 secondes peuvent atteindre 13s sont relevées lors de grandes tempêtes. Les longueurs d'onde des houles d'Hiver les plus fréquentes sont de 150 m à 170 m avec une célérité de 14 m/s. Par « gros temps », les valeurs sont plus élevées : longueur d'onde de 200 m et célérité de 17 m/s. Dans ce cas, la profondeur de déferlement peut-être estimée entre 6 et 9 m. Les houles d'été de direction Nord / Nord-Est se caractérise par une amplitude de 0.5m à 1.5 m, 50% de ces houles ont une période de 6 à 9 s et n'atteignent que très rarement 3m d'amplitude. L'amplitude moyenne est de 2 à 3m, des amplitudes maximales peuvent atteindre 4 à 6m. La longueur d'onde des houles d'Eté de 6 s est de 130 m et la célérité de 10 m/s. (Aoudj et Bouaziz, 2014)



**Figure II.9** : Roses trimestrielle et annuelle de la houle, (L.E.M, 1998) enregistré dans la baie de bejaia

### III.3.2. La houle à la côte :

L'analyse de la réfraction des houles de périodes 6, 8 et 10 secondes issues des secteurs N360°, N45° et N330° révèle que le coefficient de réfraction  $K_r$  et la direction de la houle, mesurés à une profondeur de 15 m environ, varient comme suit (**Tableau II.5**).

| Direction en degrés | Période (s) | Coefficient de réfraction ( $K_r$ ) à -15m | Direction de la houle ( $\alpha$ ) à -15m |
|---------------------|-------------|--|---|
| N 360°              | 6           | 0.89                                       | N 005°                                    |
| N 360°              | 8           | 0.89                                       | N 001°                                    |
| N 360°              | 10          | 0.91                                       | N 010°                                    |
| N 045°              | 6           | 0.89                                       | N 045°                                    |
| N 045°              | 8           | 0.96                                       | N 046°                                    |
| N 045°              | 10          | 0.96                                       | N 046°                                    |

|        |    |      |        |
|--------|----|------|--------|
| N 330° | 6  | 0.80 | N 342° |
| N 330° | 8  | 0.67 | N 350° |
| N 330° | 10 | 0.63 | N 357° |

**Tableau II.5** : Les résultats de l'étude de la réfraction de la houle (L.E.M, 1998).

L'analyse des houles issues des secteurs N360°, N45° et N330°, en tenant compte de leurs fréquences d'apparition, indique que les hauteurs de ces premières, varient comme suit (Tableau II.6).

**Tableau II.6** : Les périodes de retour des houles selon les directions dominantes (L.E.M, 1998).

| Fréquence      | Période de retour (ans) | 360° Nord | 45° Nord | 330° Nord |
|----------------|-------------------------|-----------|----------|-----------|
| Biennale       | 02                      | 4.56m     | 3.49m    | 3.84m     |
| Quinquennale   | 05                      | 5.43m     | 4.09m    | 4.41m     |
| Décennale      | 10                      | 6.09m     | 4.53m    | 4.84m     |
| Vingtennale    | 20                      | 6.75m     | 4.98m    | 5.27m     |
| Cinquantennale | 50                      | 7.63m     | 4.57m    | 5.84m     |
| Centennale     | 100                     | 8.28m     | 6.01m    | 6.26m     |

On déduit du tableau que la hauteur des houles qui atteignent la côte est inversement proportionnelle aux fréquences d'apparition de celles-ci.

La houle permet de :

- Mieux analyser les constatations faites quant à l'évolution de littoral.
- Déterminer le dimensionnement des ouvrages de protection à réaliser.
- Mieux estimer le transit sédimentaire.
- déterminer les zones à risque

## Chapitre III

# **Hydrologie, Simulation d'une crue de l'oued Soummam et d'une élévation du niveau de la mer**

## **Introduction**

Le bassin versant de l'oued Soummam, s'étend sur une superficie de 9 125 km<sup>2</sup>. Ses limites approximatives sont : Au Nord, les monts de Djurdjura. Au Sud, les monts du Hodna et le plateau Sétifien . A l'Ouest, le plateau de Bouira . A l'Est, la Méditerranée.

Du point de vue administratif, ce bassin versant s'étend sur les wilayas de Bouira et de Béjaïa. Bourdj Bou Ariridj et Sétif. Les principales agglomérations, sont situées en majorité sur la rive gauche de l'oued. On y trouve d'Est en Ouest: Sidi-Aïch, Akbou et Tazmalt.

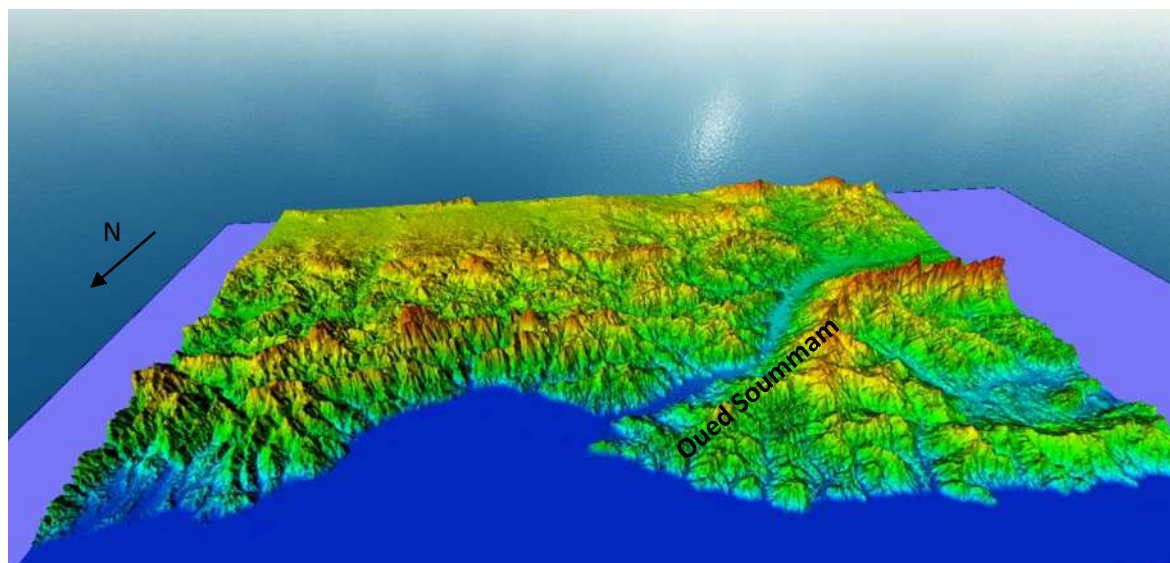
L'Etat des BV est l'un des résultats d'un ensemble de phénomènes éco-climatiques. Ainsi, on ne peut pas parler de la dégradation des BV sans penser aux crues. Dans cette partie, sont développés la nature et la typologie des crues, leurs facteurs causant et leurs effets sur les espaces menacés.

Actuellement, les problèmes des zones côtières en Méditerranée proviennent beaucoup plus de l'effet du changement climatique, à cet égard l'étude d'élévation du niveau de la mer est un outil qui permet d'avoir une vision sur les risques côtiers.

### **III.A. Hydrologie de la Soummam**

#### **III.A.1 Etude du bassin versant de la Soummam**

Selon **Joseph, 1999**, chaque bassin versant est délimité par une ligne de crête (ligne qui partage les eaux). Il est drainé par un fleuve ou une rivière principale et des cours d'eau secondaires et tertiaires



**Figure III.1** : Carte du bassin versant de Bejaia en 3D.

##### **III.A.1.1. caractéristiques géométriques**

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont donc être en partie reliés à sa surface. Celle-ci correspond à l'aire délimitée par l'ensemble des points les plus hauts qui constituent la ligne de partage des eaux.

La surface (A) du bassin versant, exprimée en km<sup>2</sup>, peut être déterminée à l'aide d'une digitalisation cartographique à l'aide des logiciels de cartographies (Arcgis).

Le périmètre représentant le contour du bassin versant est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés, il est exprimé en km. Le périmètre (P) peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels de cartographie (**Dubreuil, 1974**). La forme d'un BV, entre autres, peut contribuer à l'accroissement du débit d'un cours d'eau ainsi qu'à l'apparition progressive des crues. En effet, plusieurs indices de formes permettent de caractériser et de comparer les BV entre eux. Parmi ces indices,

- **Indice de compacité de Gravelius:**

$$K_C = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Application sur oued Soummam :

P=530 km (périmètre du bassin versant) ; A=9125 km<sup>2</sup> (superficie)

$$K_C = 0.28 \frac{530}{\sqrt{9125}} = 1.553522202$$

Sachant que :

0 < K<sub>C</sub> < 1 Le bassin est parfaitement circulaire

1 < K<sub>C</sub> < 1.128 Bassin carré

1.128 < K<sub>C</sub> < 3 Bassin allongé

Alors le bassin versant de la Soummam présente une forme **allongée**.

- **Rectangle Equivalent :**

Le rectangle de graveluis est un rectangle de longueur (L) et largeur (l) dont sa superficie est égale à la superficie du bassin versant, permet d'avoir une vision sur la forme en terme de longueur et largeur du bassin étudié :

$$L = \frac{K_C \sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - \left[ \frac{1.12}{K_C} \right]^2} \right] \text{ Alors } L = \frac{1.55 \times \sqrt{9125}}{1.12} \times \left[ 1 + \sqrt{1 - \left[ \frac{1.12}{1.55} \right]^2} \right] = 250.4178898$$

Donc : L = 250.42 km

On a A = 9125 km<sup>2</sup> alors  $l = \frac{A}{L} = \frac{9125}{250.42} = 36.43878284$  km

On Remarque que L = 6 × l ce qui confirme que le bassin versant d'oud Soummam a une forme allongée.

### III.A.1.2. Caractéristiques topographiques

- **Courbes hypsométriques**

La courbe hypsométrique a permet de déterminer l'âge du bassin versant.

Les courbes hypsométriques demeurent un outil pratique pour comparer plusieurs bassins entre eux ou les diverses sections d'un seul bassin. Elles peuvent en outre servir

### Chapitre III Hydrologie, Simulation de la crue de l'oued Soummam et l'élévation du niveau de la mer

à la détermination de la pluie moyenne sur un bassin versant et donnent des indications quant au comportement hydrologique et hydraulique du bassin et de son système de drainage (Musy, 2005).

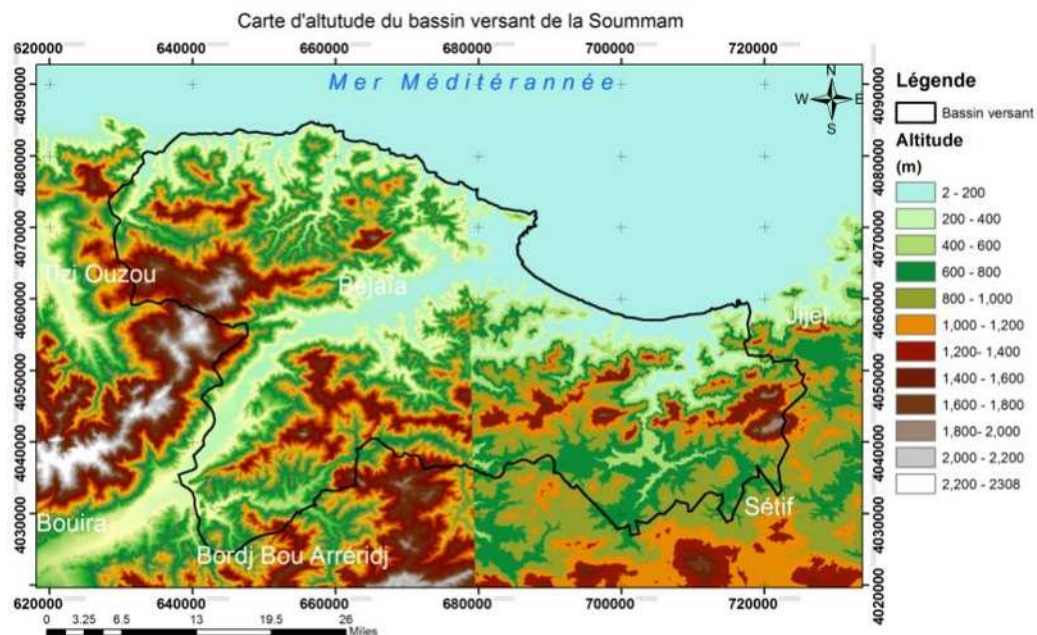
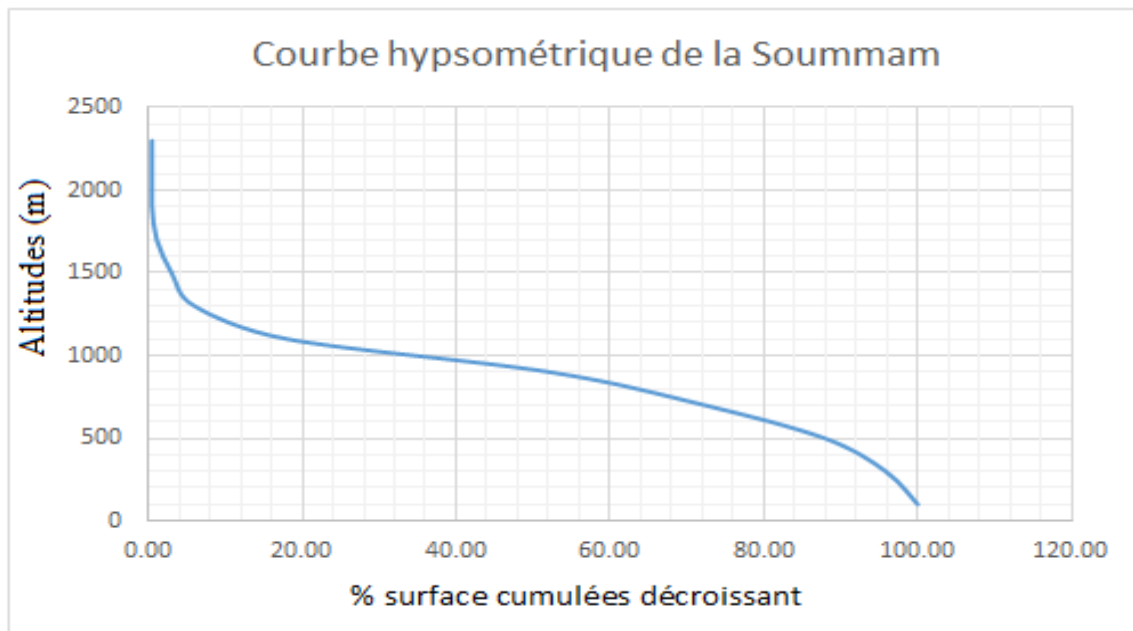


Figure III.2 : Carte d'altitude du bassin versant de la Soummam

Tableau III.1 : Tableau de répartition hypsométrique

| Classes d'altitude (m) | centre des classes | superficie (km <sup>2</sup> ) | % de surfaces | % surface cumulée décroissant |
|------------------------|--------------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 0-200                  | 100                | 380                           | 4.16          | 100.00                        |
| 200-400                | 300                | 723                           | 7.92          | 95.84                         |
| 400-600                | 500                | 1422                          | 15.58         | 87.91                         |
| 600-800                | 700                | 1828                          | 20.03         | 72.33                         |
| 800-1000               | 900                | 3119                          | 34.18         | 52.30                         |
| 1000-1200              | 1100               | 1105                          | 12.11         | 18.12                         |
| 1200-1400              | 1300               | 273                           | 2.99          | 6.01                          |
| 1400-1600              | 1500               | 175                           | 1.92          | 3.01                          |
| 1600-1800              | 1700               | 57                            | 0.62          | 1.10                          |
| 1800-2000              | 1900               | 0                             | 0.00          | 0.47                          |
| 2000-2200              | 2100               | 0                             | 0.00          | 0.47                          |
| 2200-2400              | 2300               | 43                            | 0.47          | 0.47                          |



**Figure III.3 :** Courbe hypsométrique du bassin versant de la Soummam.

On remarque que les altitudes supérieures à 1400 m sont très peu dans le bassin, elle correspond à des massifs montagneux importants et seules les chaînes montagneuses du Djurdjura dépassent 2300 m.

Les zones d'altitude comprises entre 800 et 1000 m représentent la classe modale, dont elles couvrent soit 34 % de la superficie totale, elles sont réparties dans le Sud et Sud-Est du bassin.

Les hautes altitudes ayant une valeur supérieure à 1400m ne représente que 5% de l'ensemble des altitudes du bassin versant étudié alors on peut dire que le BV de la Soummam est vieux.

- **Caractéristiques des altitudes :**

- **Altitudes minimale et maximale :**

Les altitudes minimale et maximale du bassin versant de la Soummam sont lues directement à partir de la carte des altitudes réalisée par ArcGis . L'altitude minimale est celle qui correspond à l'altitude près de la mer, tandis que l'altitude maximale se trouve sur les monts de Djurdjura tel que :

$$H_{\max} = 2308m , H_{\min} = 2m$$

- **Altitude moyenne :**

L'altitude moyenne se déduit directement de la courbe hypsométrique, elle est définie comme suit :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum_{i=1}^{12} A_i H_i}{A} = \frac{7081300}{9125} = 776.03m$$

$H_{\text{moy}}$  : Altitude moyenne du bassin versant.

$A_i$  : Aire comprise entre deux courbes de niveaux.

$H_i$  : Altitude moyenne entre deux courbes de niveaux.

- **Altitude médiane :**

Elle correspond à l'altitude lue à 50 % de la surface totale sur la courbe hypsométrique tirée d'après (Tableau III.1) . Elle se rapproche de l'altitude moyenne dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin considéré représente une pente régulière.

D'après le tableau on a : le pourcentage 50% correspond à la classe 800-1000 alors :  
 $H_{50} = 900m$

On remarque  $H_{50} > H_{moy}$  ceci peut être interprété par : le bassin présente une légère dissymétrie vers les altitudes élevées.

- **Indice de pente globale de Dubreuil(Ig) :**

Il est donné par la relation :  $Ig = \frac{D}{L}$  avec :

D : dénivelée. Donnée par  $D = H_{5\%} - H_{95\%}$

L : longueur du rectangle équivalent.

D'après le tableau on a :  $H_{5\%} = 1300m$  ,  $H_{95\%} = 300m$

Donc :  $D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1300 - 300 = 1000$

D'où:  $Ig = \frac{D}{L} = \frac{1000}{250.42} = 3.99m/km$  , soit 0.4% pour une marche de 1km il y a une élévation

de 4m ; on peut déduire que le bassin versant de la Soummam représente une pente faible

**Remarque :**

Le bassin versant de la Soummam, avec sa superficie de 9125 Km<sup>2</sup>, et un périmètre de 530 km, avec une forme allongée et une pente faible, ce qui lui donne un temps, il est situé dans la région la plus arrosée en Algérie; donc il est soumise à des faibles probabilités d'inondation.

**III.A.1.3. Dégradation des BV**

Elle est liée à leur perte de valeur dans le temps, y compris la capacité de production des terres et de l'eau (Sheng, 1977). Elle traduit la détérioration des rivières et les effets associés (érosion de sols, sédimentation). Elle accélère la dégénérescence écologique, engendre une restriction des possibilités économiques et intensifie les problèmes sociaux (Fernandez, 1997).

**III.A.2. Bilan hydrique :**

Le bassin versant de la Soummam est formé selon (Benhamiche, 1997) par dix sous bassins et la plaine de Béjaia fait partie du sous bassin versant de Boussellam maritime.

Selon (Dahmana, 2003), le bassin (forme irrégulière, orographie très prononcée) est drainé par un réseau dense de ruisseaux temporaires et d'oued dont le plus important est l'oued

### Chapitre III Hydrologie, Simulation de la crue de l'oued Soummam et l'élévation du niveau de la mer

Soummam avec un bassin versant de plus de 9125 km<sup>2</sup>, cours d'eau permanent serpentant la plaine et débouchant directement sur le golfe de Béjaïa .

L'oued Soummam se présente comme un collecteur de plusieurs autres petits oueds d'amont en aval. Cette position de collecteur principal lui confère une certaine importance parmi l'ensemble des oueds d'Algérie (Tableau III.2). Son débit moyen est estimé à 25 m<sup>3</sup> /s en moyenne pendant la période allant de 1961 à 1971 (**Coyne et Bellier, 1973**).

**Tableau III.2** : Les principaux affluents de l'oued Soummam et leurs débits moyens (m<sup>3</sup>/s) (**Bennabi, 1985**).

| Les rives   | Les affluents        | Débits (m <sup>3</sup> /an) |
|-------------|----------------------|-----------------------------|
| Rive gauche | Oued Illoula         | 4×10 <sup>6</sup>           |
|             | Oued Ighzer Amakrane | 12×10 <sup>6</sup>          |
|             | Oued Remilam         | 28×10 <sup>6</sup>          |
|             | Oued El-Kesour       | 12×10 <sup>6</sup>          |
|             | Oued Ghir            | 12×10 <sup>6</sup>          |
| Rive droite | Oued Sedouk          | 10×10 <sup>6</sup>          |
|             | Oued Amassine        | 15×10 <sup>6</sup>          |
|             | Oued Amizour         | /                           |

Un débit maximal de 115,9 m<sup>3</sup> /s en période des crues a été enregistré en hiver de l'année 1970, par contre le débit d'étiage est de 0,6m<sup>3</sup> /s, il enregistré les mois de juillet et Aout. A son embouchure, il présente un apport de 700.106 m<sup>3</sup> /an d'eau qu'il déverse en mer méditerranée (**Viziterv, 1987**).

Au niveau des affluents, ceux de la rive gauche sont courts et présentent des écoulements superficiels en hiver et au printemps en raison des fortes pentes (68.106 m<sup>3</sup> /an), leurs eaux sont douces, résultants de la fonte des neiges du massif du Djurjura. Ceux de la rive droite, avec des pentes faibles, ont un écoulement moins important et il est de l'ordre de 25.106 m<sup>3</sup> /an au total (**Bennabi, 1985 ; Viziterv, 1987 et Benhamiche, 1997**).

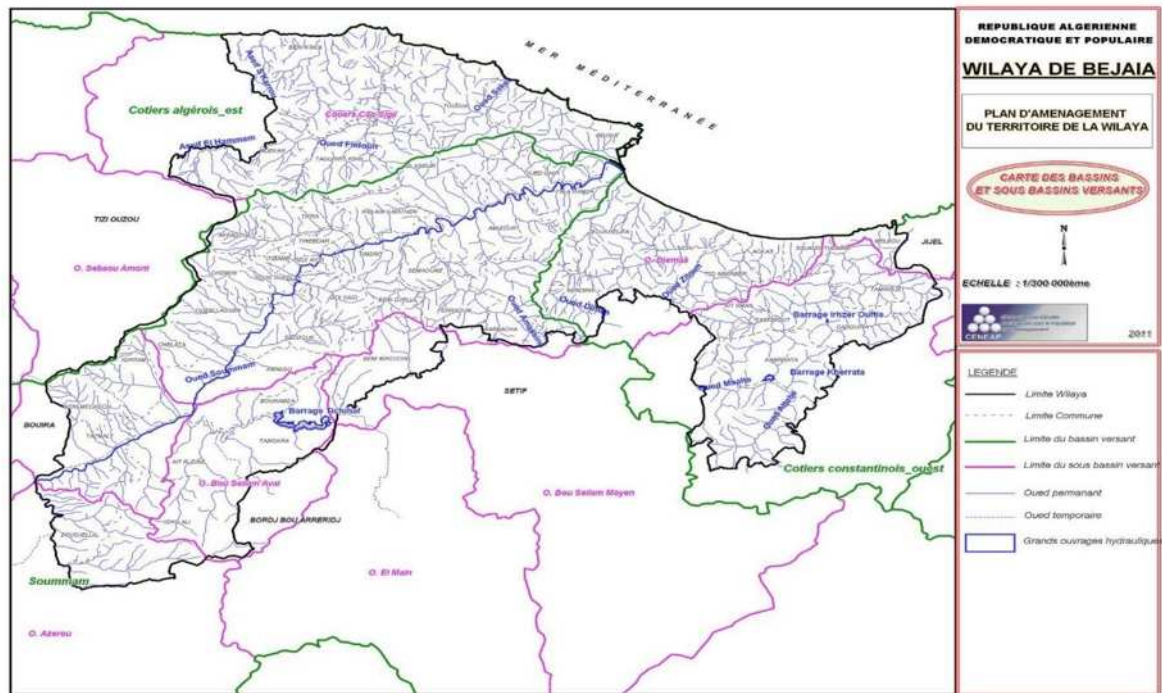


Figure III.4 : Bassins et sous bassins versants de la Soummam (MICLAT, 2018)

### III.A.3. Cadre géologique et lithologique :

Le Soummam et sa basse vallée présente une large dépression alluvionnaire dont le remplissage se fait par des matériaux de drainage essentiellement argileux, lumineux et graveleux, l'ensemble repose sur un substratum d'âge moi-pliocène.

D'un point de vue stratigraphique et selon (Duplan, 1960) et (Hassissene, 1989), elle est caractérisée par les formations géologiques suivantes :

- **Quaternaire** : alluvions récents et alluvions anciens.
- **Miocène et pliocène** : brèche, argile, calcaire et grès en bordure et au sein de la vallée.
- **Crétacé supérieur** : marno-schisteux se terminant par des faciès à tendance flysch sur l'axe Aghabalou - Gouraya.
- **Albo-aptien (flysch typiques)** : alternances de grès et quartzites avec schistes verts et noirs très argileux au nord de la basse Soummam.
- **Néocomien** : Schistes, marnes schisteuses et calcaires au niveau des Djebel Gouraya, Aghabalou et Timezrit.
- **Jurassique supérieur** : Calcaire et marno- calcaire dans le Djebel Gouraya Aghabalou et schistes et calcaire dans le massif de Timazrit.
- **Jurassique inférieur** : Marnes, marno-calcaire, et dolomies formant l'anticlinal Gouraya- Aghabalou, calcaire dans le massif de Timazrit.
- **Trias** : argiles versicolores et gypses.

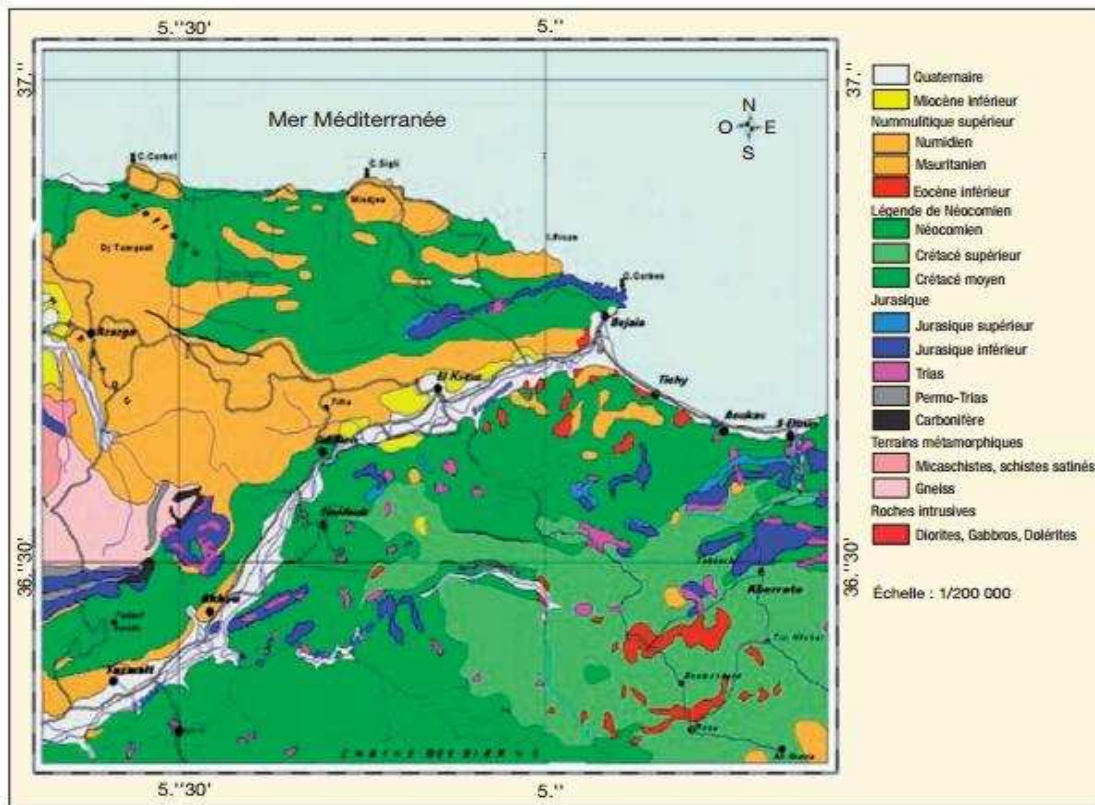


Figure III.5 : Carte géologique de la région de Béjaïa (LTMGP, 2009)

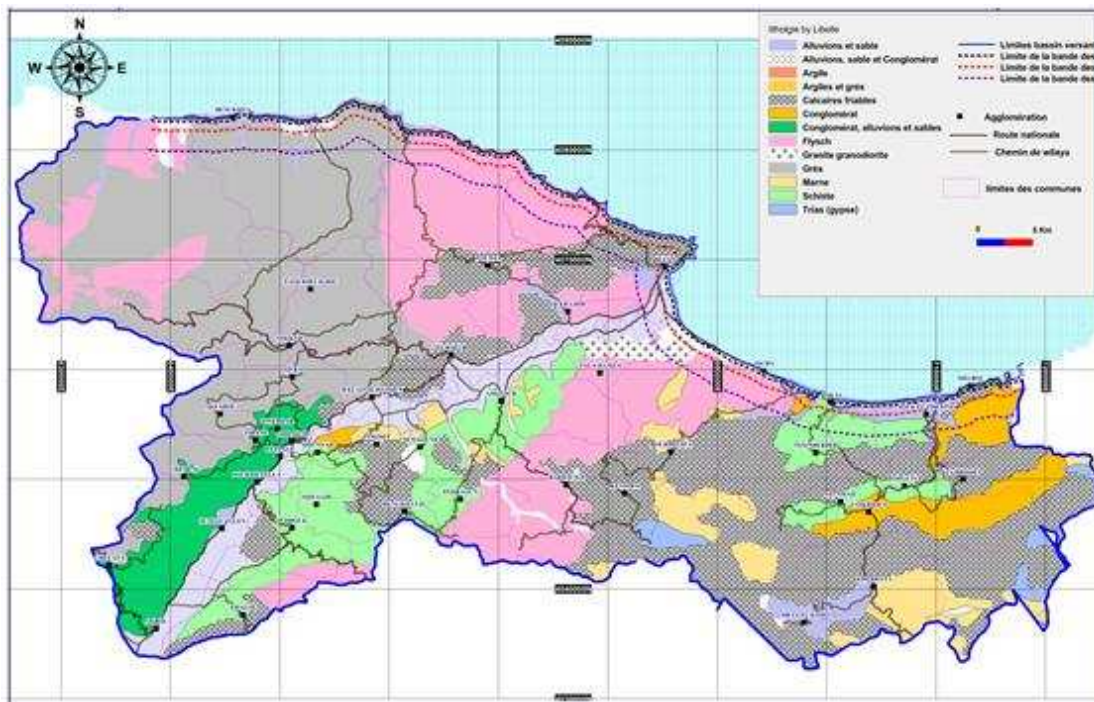


Figure III.6 : Carte lithologique du bassin versant de la Soummam (Salhi et Talanzar, 2018)

### III.B. Simulation de la crue de l'ouad Soummam

#### III.B.1. Définition des crues

La crue se définit en tant qu'un gonflement rapide ou brusque de l'hydrogramme dû à l'augmentation du débit d'une rivière, d'un fleuve ou tout cours d'eau (1).

Elle est définie comme une montée du niveau d'un cours d'eau, résultant de la fonte des neiges ou des glaces ou de pluies torrentielles/abondantes (2).

- **Les inondations en Algérie :**

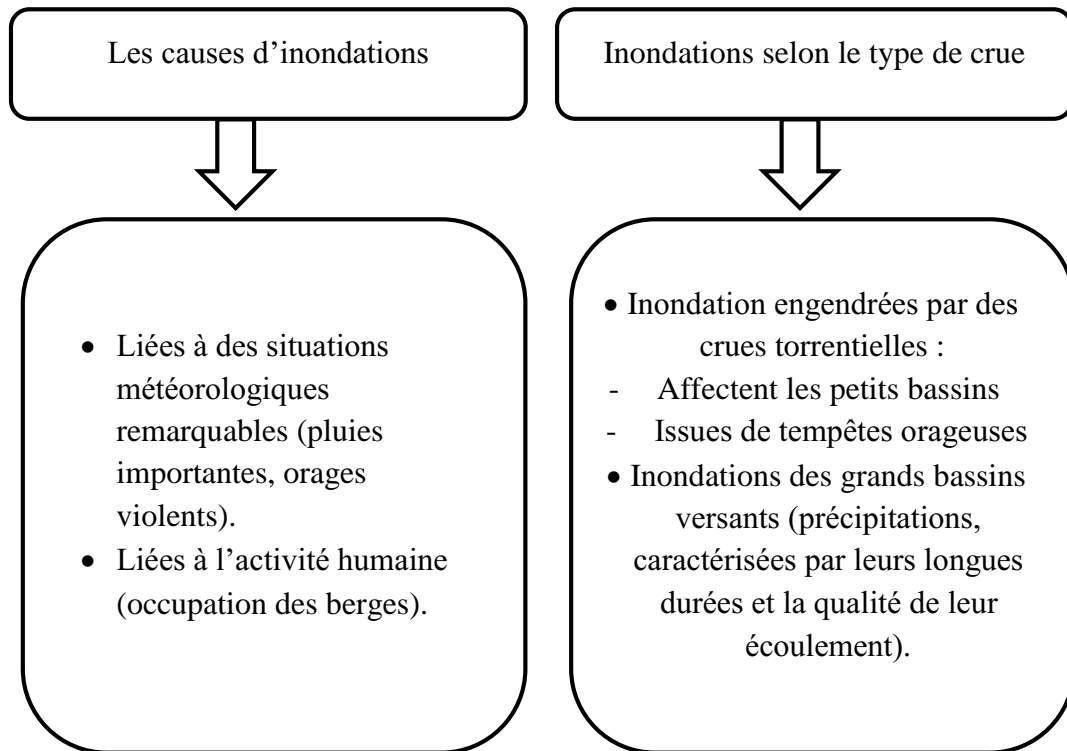


Figure III.7 : Causes et types d'inondations en Algérie.

#### III.B.2. Facteurs déterminant les crues

D'après (Leone et al, 2010), le tableau ci-après présente une synthèse des facteurs simplifiés des crues.

Tableau III.3 : Facteurs déterminants les crues.

| Facteur météorologiques  | Facteurs hydrologiques  | Facteurs humains  |
|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluies</li> <li>• Orages cycloniques.</li> <li>• Orages de faible ampleur</li> <li>• Température</li> <li>• Cyclones</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• % en eau du sol</li> <li>• Niveau des eaux souterraines avant l'orage.</li> <li>• Niveau d'infiltration qui est fonction de la couverture végétale.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Mode d'utilisation des terres.</li> <li>• Occupation de la plaine inondable faisant obstacle à l'écoulement.</li> <li>• Ouvrage de lutte contre les crues</li> <li>• Faibles débit d'un cours d'eau</li> </ul> |

|  |   |  |
|--|---|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Présence d'une couche imperméable.</li> <li>• Présence ou absence de débordement de chenaux ou de réseau.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Les industries qui servent à extraire et autre changent le régime hydrique</li> </ul> |
|--|---|--|

### **III.B.3. Erosion**

On ne peut pas parler des crues sans faire allusion à l'érosion qui est surtout l'un de ses corollaires. Elle vient du latin « erodere », signifie : « ronger ». Il existe de différentes formes d'érosion : hydrique, éolienne et géologique. Par ailleurs, on considère l'érosion géologique comme un phénomène naturel normal et se définit par une ablation des formations superficielles de la terre dues aux différents changements éco-climatiques au cours des millions d'années par contre l'érosion hydrique se définit comme le détachement et le transport des particules de sol de son emplacement d'origine par différents agents vers un milieu de dépôt.

#### **III.B.3.1. Mécanisme de l'érosion hydrique**

Quel que soit le type d'érosion hydrique envisagé. Elle se matérialise en trois (3) phases : le détachement des particules, le transport des solides et la sédimentation (**Roose, 1996**).

#### **III. B.3.2. Facteurs influençant l'érosion :**

L'ampleur de l'érosion hydrique est liée aux facteurs suivants :

- 1- Pente : plus la pente est raide plus les effets érosifs sont énormes
- 2- Longueur de la pente : plus la pente est longue plus la vitesse de l'eau qui ruisselle augmente.
- 3- Structure du sol : la disposition des couches de sols a aussi son rôle dans le processus d'érosion
- 4- Fréquence et intensité des précipitations
- 5- Morphologie du terrain
- 6- Couverture végétale : le degré d'affectation du sol dépend grandement de la couverture végétale
- 7- Surface de la parcelle.

### **III.B.4 Simulation de la crue**

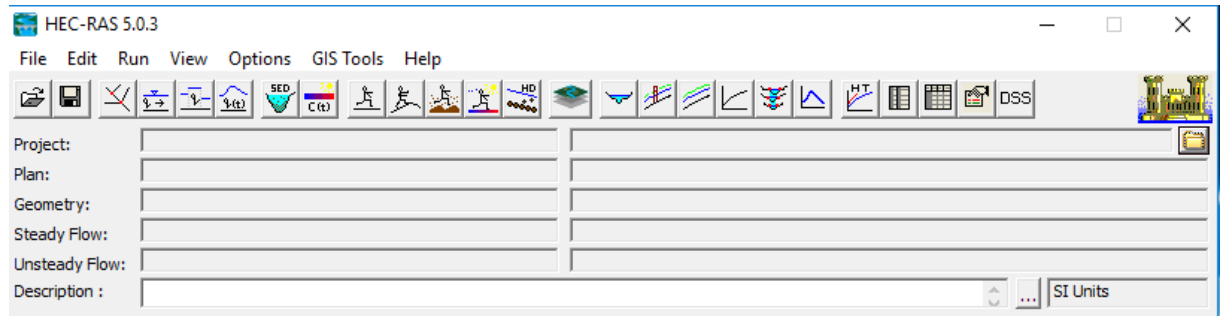
#### **III.B.4.1. Moyens utilisés**

- **HEC RAS**

Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (Système d'analyse des rivières du centre d'ingénierie hydrologique) est un logiciel (open-source) de modélisation hydraulique destiné à simuler l'écoulement dans les cours d'eau et les canaux.

Développé par l'Hydrologic Engineering Center (HEC) en Californie, ce système permet aux ingénieurs en hydraulique d'analyser les débits dans le lit des rivières et de déterminer les zones inondables. Il intègre de nombreux moyens de saisie de données, de composants

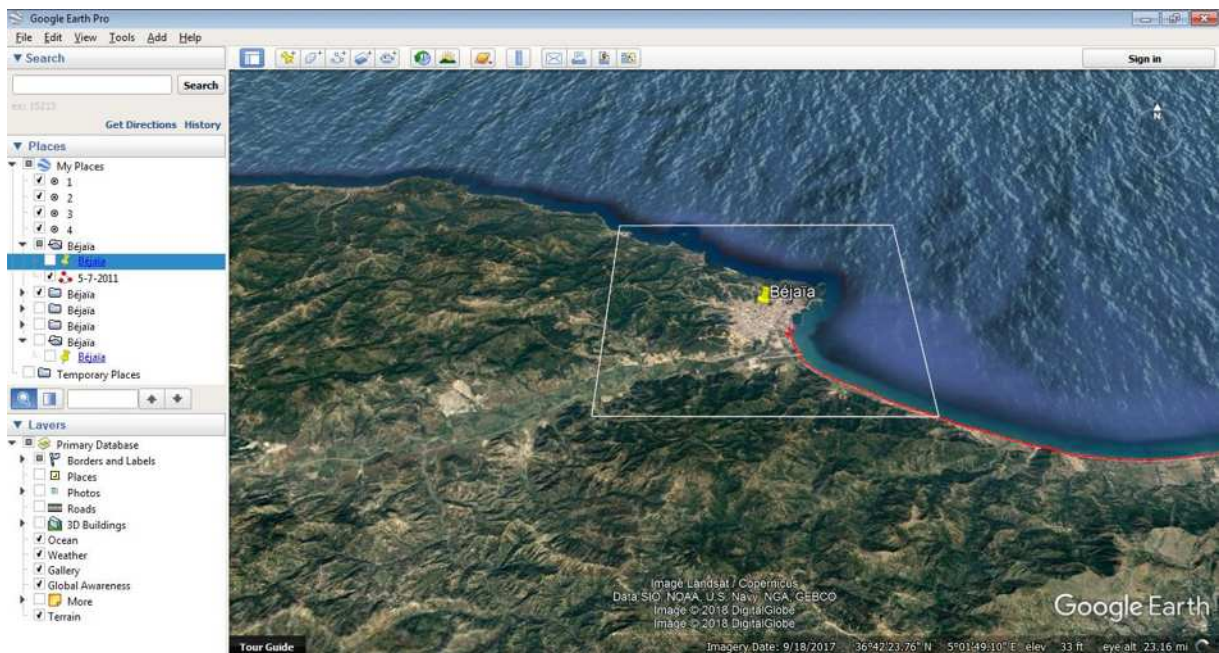
d'analyse hydraulique, de stockage de données, d'édition de rapports sous forme de tables et de graphiques.



**Figure III.8 :** Interface du HEC RAS

- **Google Earth Pro :**

Google Earth est un logiciel, propriété de la société Google, permettant une visualisation de la Terre avec un assemblage de photographies aériennes ou satellitaires, open source depuis 2015, ce logiciel permet à tout utilisateur de survoler la Terre et de zoomer sur un lieu de son choix. Selon les régions géographiques, les informations disponibles sont plus ou moins précises.



**Figure III.9 :** Interface du Google Earth Pro

- **ArcScene :**

ArcScene est une visionneuse 3D bien adaptée à la génération des scènes de perspective qui vous a permis de naviguer et d'interagir avec nos données vectorielles et raster 3D. Basé sur OpenGL, ArcScene prend en charge une cartographie de texture et une symbologie linéaire 3D complexes, ainsi que la création de surfaces et l'affichage de TIN. Toutes les données sont chargées en mémoire, ce qui permet des fonctionnalités de navigation, de déplacement et de zoom relativement rapides. Les entités vectorielles sont rendues comme vecteurs et

les données raster sont affichés avec une résolution réduite ou configurées avec un nombre fixe de lignes/colonnes.

### III. B.4.2. Méthode

Vu que le logiciel cité au part avant est très important et il n'a jamais été utilisé, le fait qu'il est en relation directe avec notre domaine d'étude (les sciences de la mer) alors on a décidé de partager les étapes d'utilisation (logiciel open-source), voici notre méthodologie suivi et pour plus d'information vous trouverez en annexes les étapes en détails :

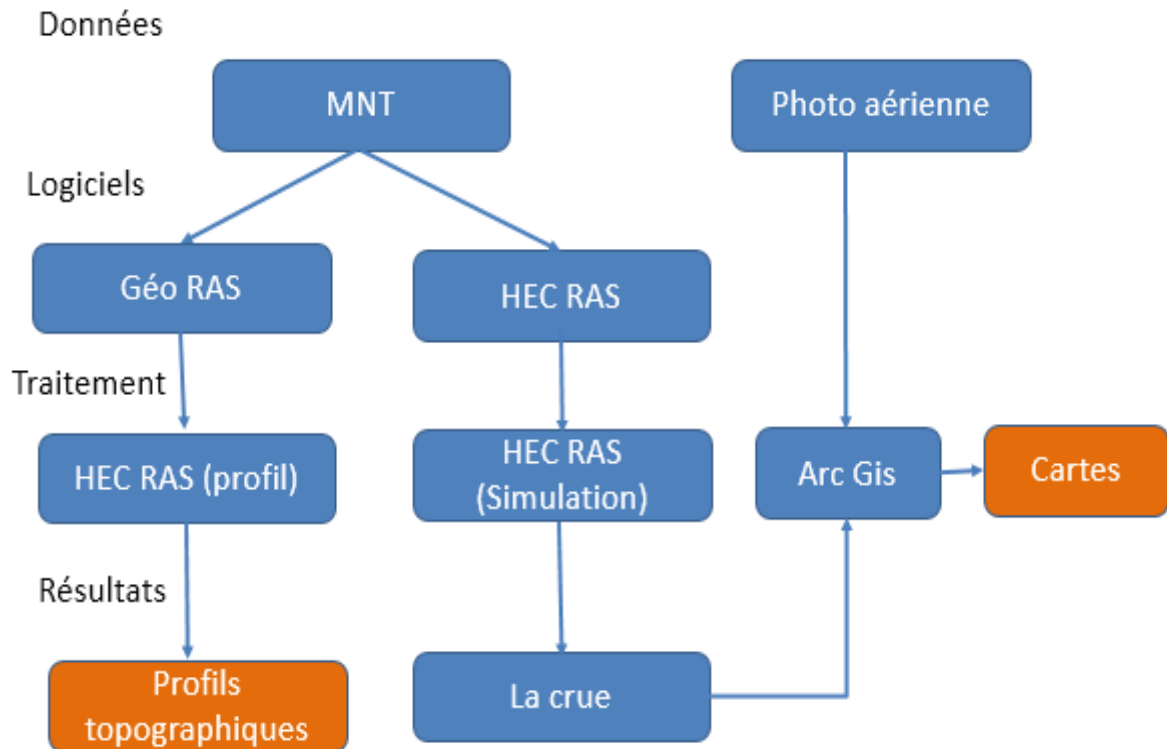
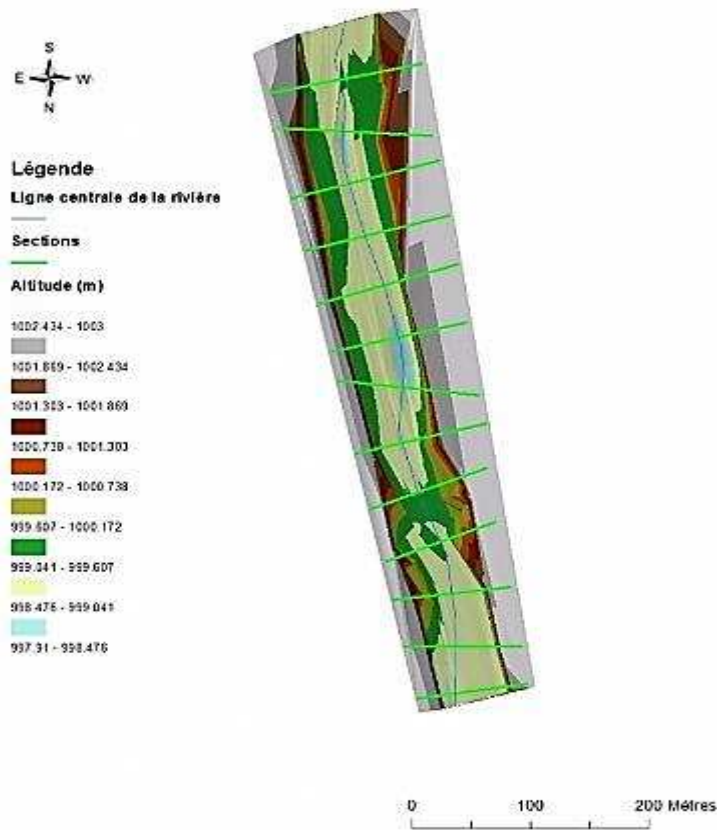


Figure III.10 : Méthodologie suivie pour l'étude de la crue de la vallée du Soummam.

### III. B.4.3. Résultats et discussion.

L'étude en 1D est menée avec le logiciel HEC-RAS qui est basé sur la résolution des équations de Saint Venant en 1D. Utiliser ce logiciel implique certaine hypothèse sur notre modèle : pente variable, milieu peu profond et écoulement unidirectionnel.

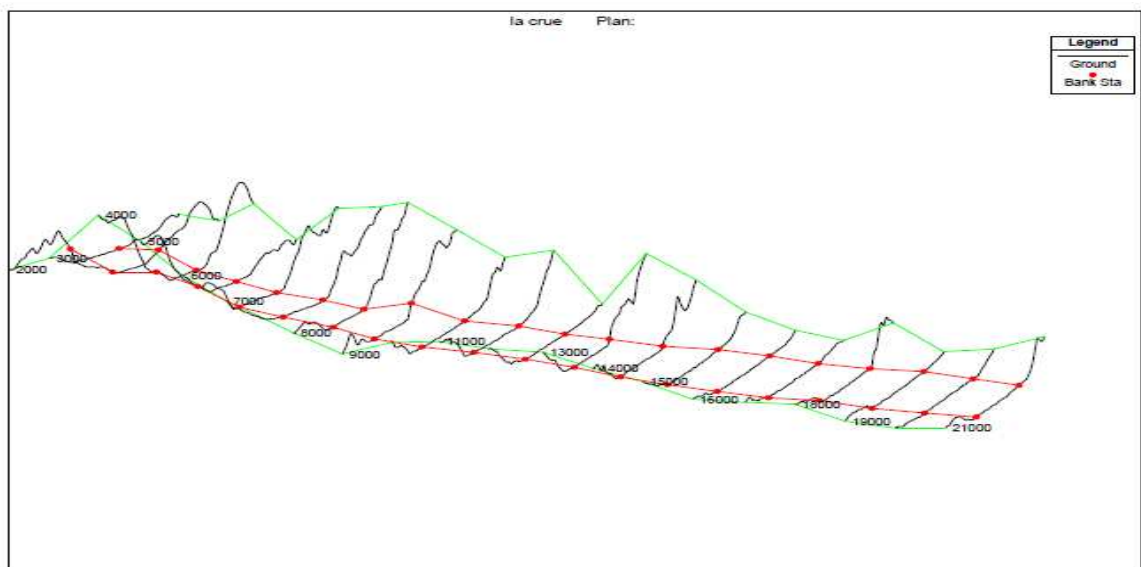
Un traitement préalable sur la géométrie de notre rivière avec le logiciel ArcGis a été fait dans le but de pouvoir représenter géographiquement les résultats obtenus sur HEC-RAS, et ainsi établir les cartes préférentielles. Voici la géométrie utilisée :



**Figure III.11 : Bathymétrie créée sous HEC-RAS**

Nous effectuons un calcul hydraulique pour les débits de base (PF1=0 m<sup>3</sup>/s) et turbiné (PF3=50 m<sup>3</sup>/s), ainsi que pour un débit intermédiaire de 25 m<sup>3</sup>/s (PF2).

Tous les autres profils sont disponibles sur l'annexe.



**Figure III.12 : Profil topographique de l'oued Soummam à l'état normal.**

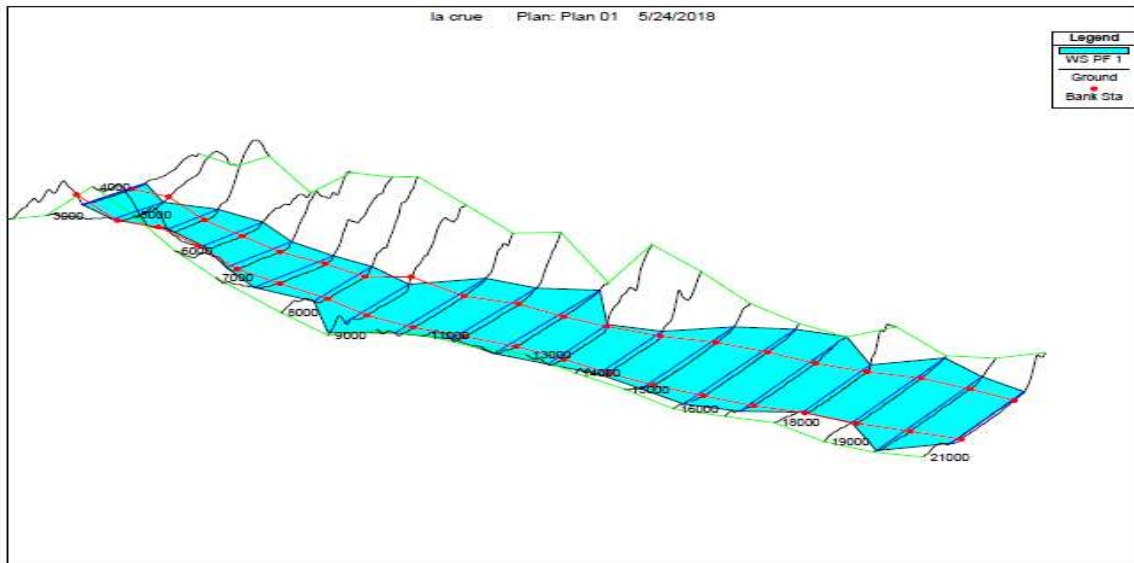


Figure III.13 : Profil topographique de l'oued Soummam en plein crue.

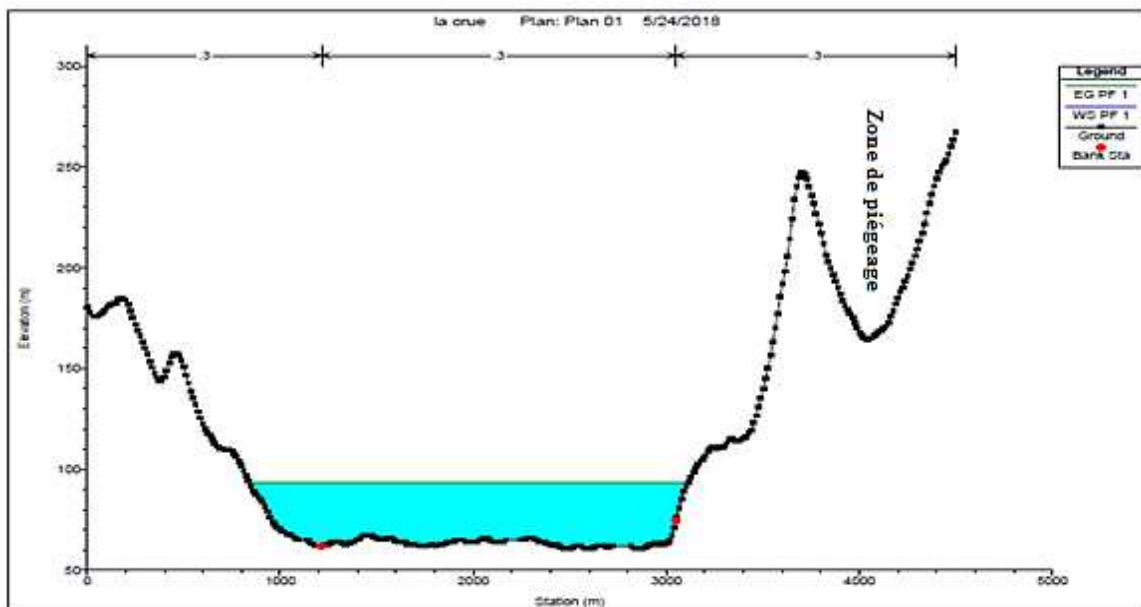


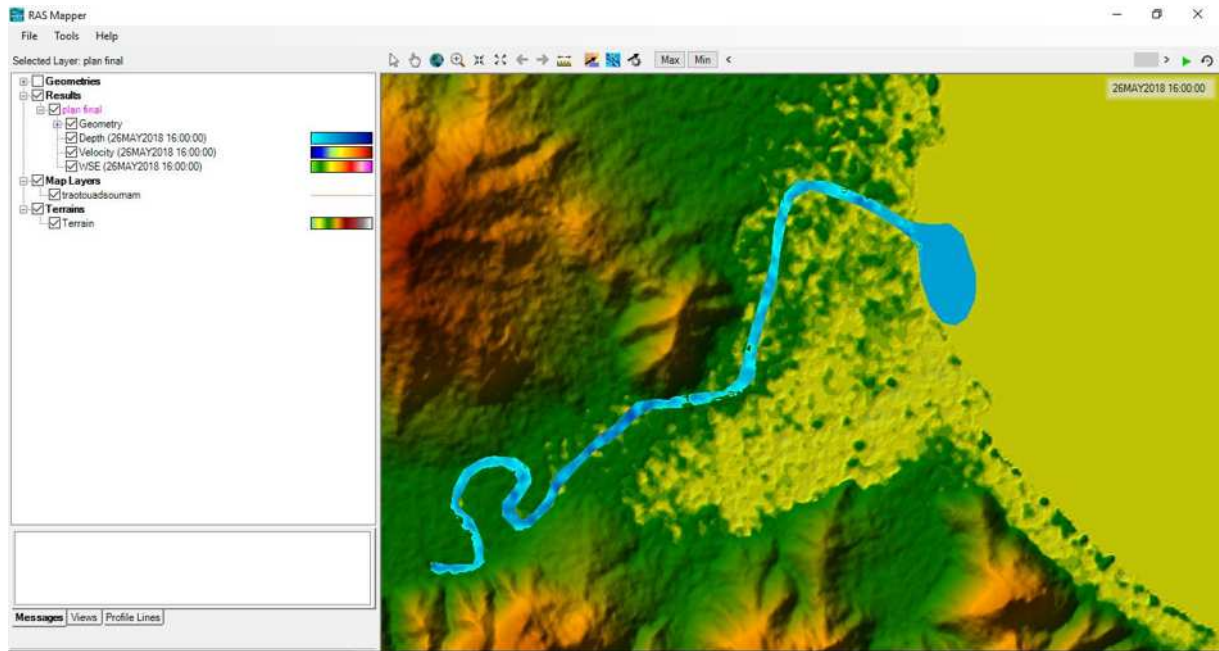
Figure III.13 : Visualisation d'eau sur une section en fonction des différents débits.

Commentaire :

On obtient ainsi les profils d'hauteurs d'eau et de vitesses pour les trois débits considérés. On remarque également la présence de zones de piégeage dans la rivière sous forme de petit bras comme l'illustre la figure ci-dessus. On peut déjà voir que le débit de base n'est pas du degré de déclencher une crue.

Pour étudier les crues d'oued Soummam, on a opté pour réaliser des simulations à l'aide du logiciel HEC RAS et les résultats sont présentés comme suit :

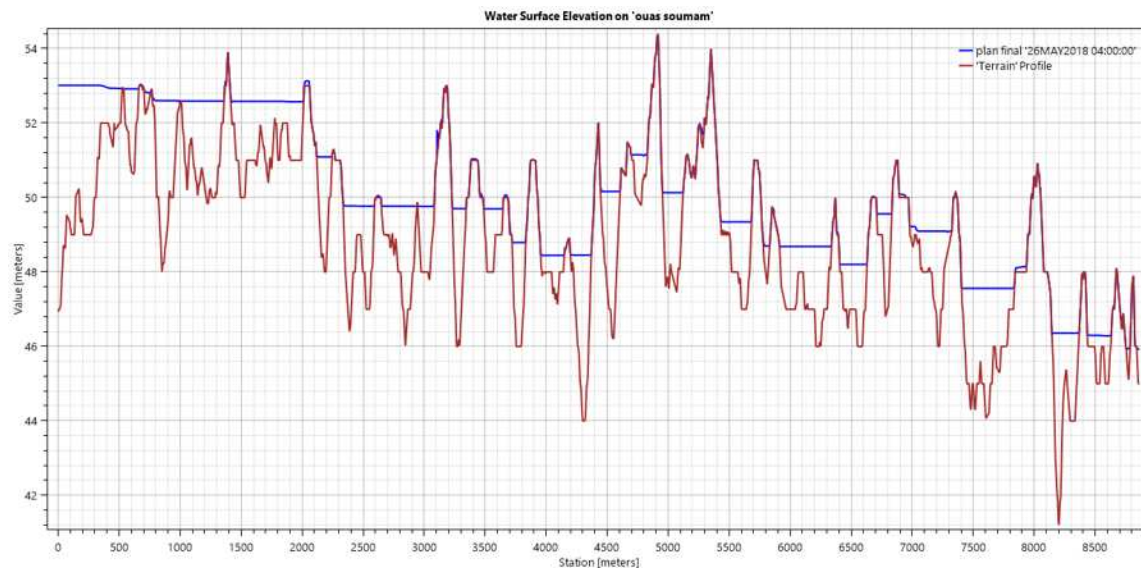
## Chapitre III Hydrologie, Simulation de la crue de l'oued Soummam et l'élévation du niveau de la mer



**Figure III.14 :** Représentation de la crue de l'oued Soummam sur le MNT.

La crue est simulée à base de deux variables suivantes : la précipitation de valeur variable entre 36 et 100 mm et débit allant de 0 à 50m<sup>3</sup>/s, dans une durée de temps de 16h (00h à 16h).

Pour bien comprendre ce phénomène, on a opté pour des profils le long de l'oued (profondeur,vitesse,flux,élévation) :



**Figure III.15 :** Profil de l'élévation du niveau d'eau de l'oued Soummam après 4 heure d'inondation.

Après 4 heures d'inondations, on observe que le niveau d'eau ne dépasse pas les crêtes de l'oued, il est peut être dûe au disponibilité d'espace où il peut encore recevoir de l'eau.

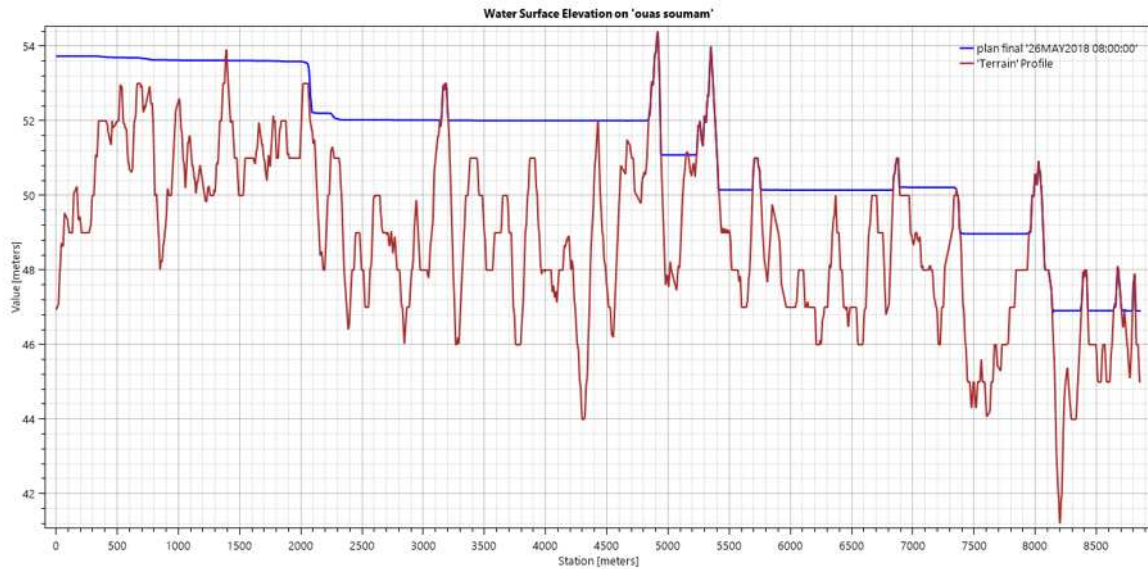


Figure III.16 : Profil de l'élévation du niveau d'eau de l'oued Soummam après 8 heures d'inondation.

Après 8 heures d'inondations on observe le niveau d'eau qui dépasse les crêtes dans quelques zones c'est le début de la crue, donc les dégats commencent à être observés.

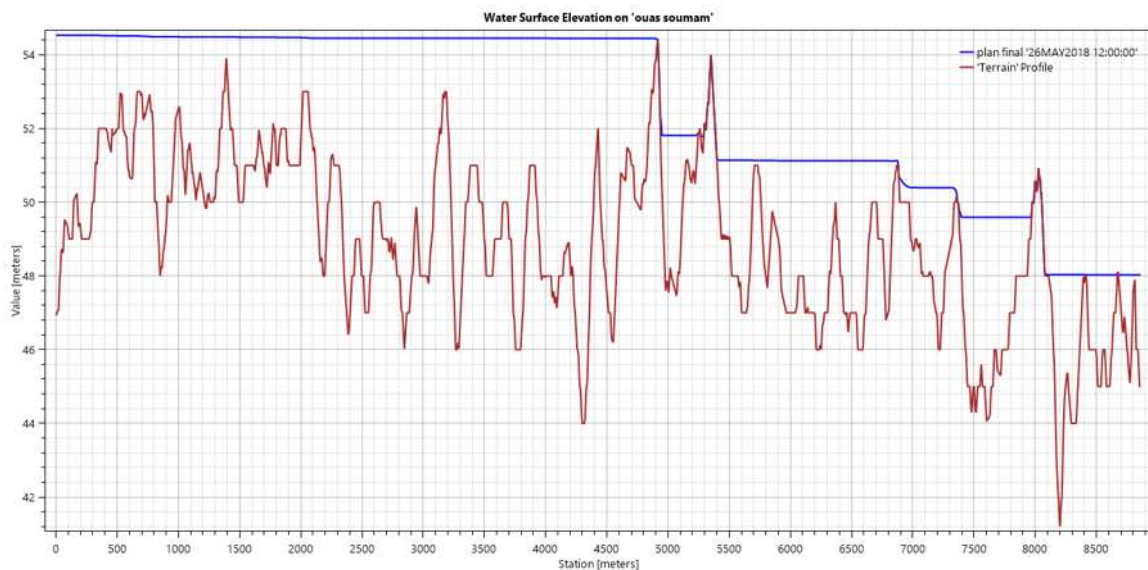
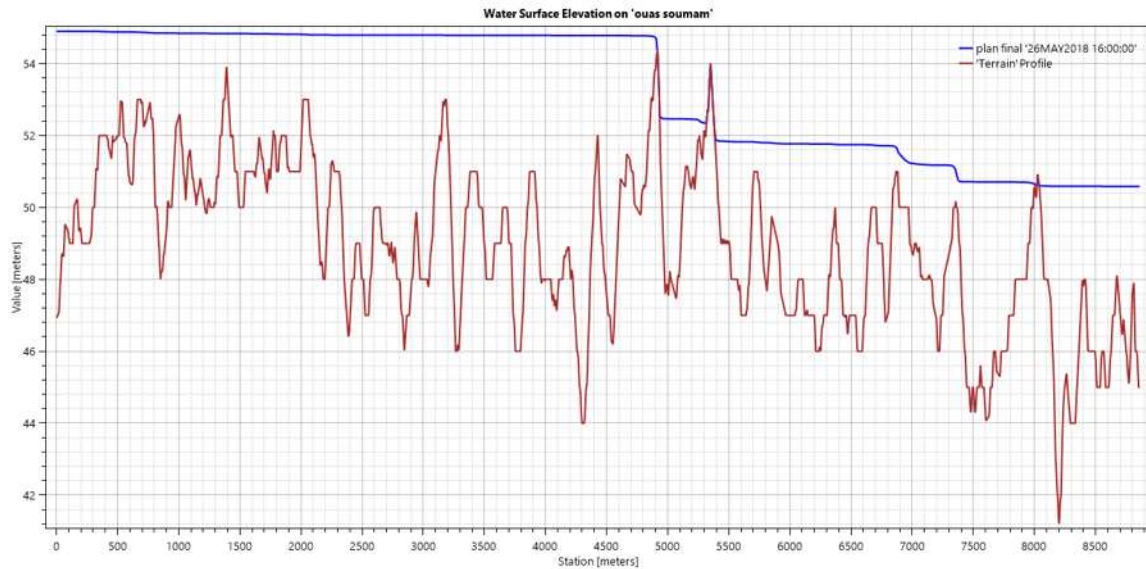


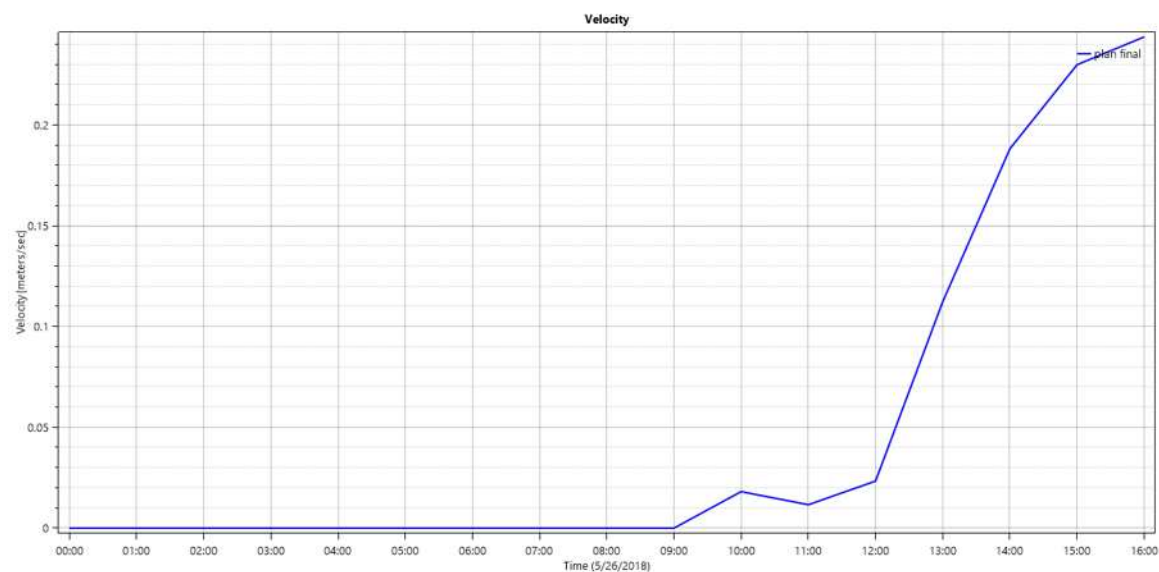
Figure III.17 : Profil de l'élévation du niveau d'eau de l'oued Soummam après 12 heures d'inondation.

Après 12 heures d'inondations, on observe que le niveau d'eau a dépassé presque 80% des crêtes dans la plupart des zones.



**Figure III.18 :** Profil de l'élévation du niveau de l'oued Soummam d'eau après 16 heures d'inondation.

Après 16 heures d'inondations, on observe que le niveau d'eau a dépassé la totalité des crêtes dans tout le périmètre étudié.



**Figure III.19 :** Profil de la vitesse de la crue de l'oued Soummam en fonction du temps.

Commentaire :

La vitesse commence à être observée à partir 9h00 et on peut le traduire par le commencement de la crue (8h00, voir profil précédent), à partir de midi on observe une forte vitesse (de 0.0125m/s jusqu'au 0.25m/s par rapport à la vitesse normale de l'écoulement de l'oued) et cela peut être interprété par la forte précipitation (100mm pour la fin de la simulation) en plus l'oued a atteint sa capacité hydrique d'accueil.

Ces résultats obtenus sont ensuite exportés sur ArcGis.

**III.B.4.4. Dégâts de la crue :**

### Chapitre III Hydrologie, Simulation de la crue de l'oued Soummam et l'élévation du niveau de la mer

Pour monétiser les dégâts dans notre zone d'étude on était dans l'obligation de la diviser en trois zones pour compter la surface inondée et comptabiliser les dégâts et aussi mettre un plan de sauvetage des zones à risque d'inondation au futur :



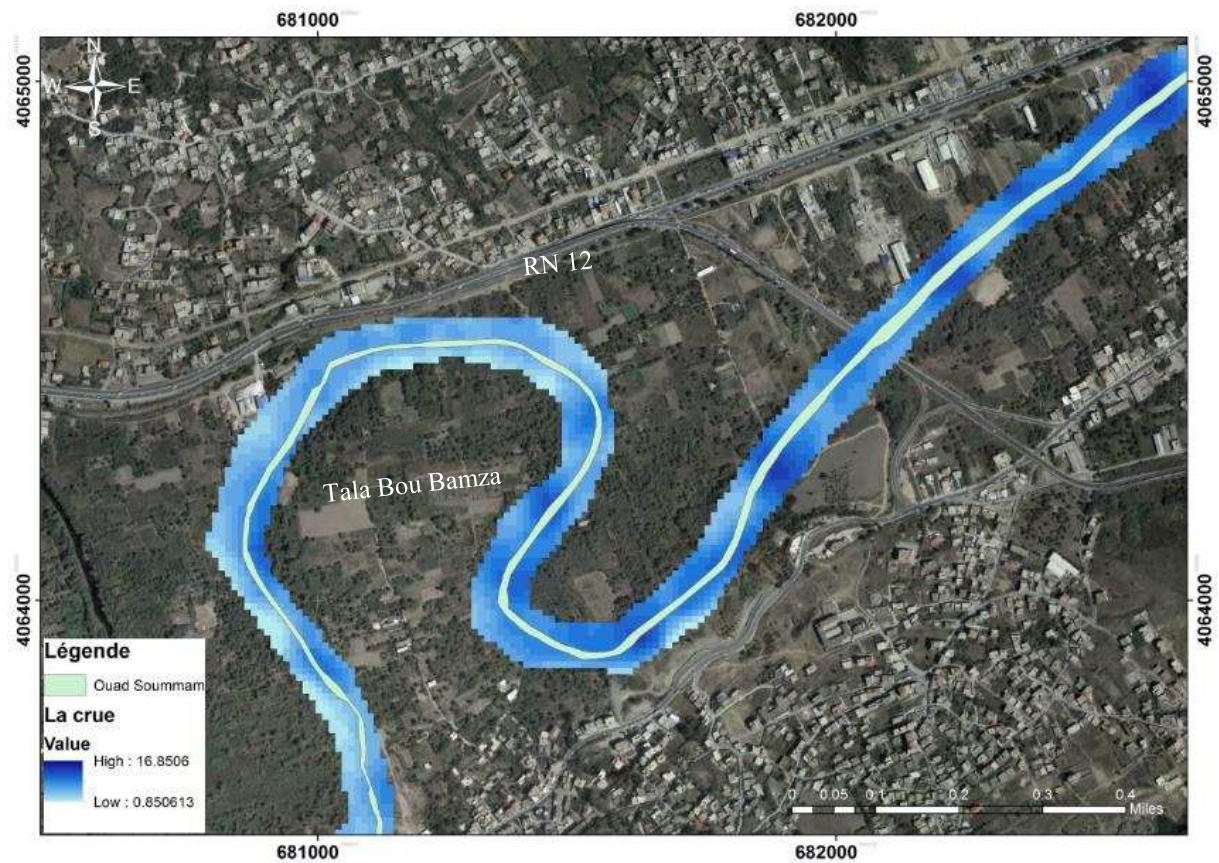
Figure III.20 : Carte de la crue de l'oued Soummam réalisée par HEC RAS



Figure III.21 : Résultats de la simulation de la crue d'Oued Soummam dans la zone 01



Figure III.22 : Résultats de la simulation de la crue d'Oued Soummam dans la zone 02



**Figure III.23 :** Résultats de la simulation de la crue d'Oued Soummam dans la zone 03

**Commentaire :**

Pour estimer la surface qui sera perdue on cartographie la crue et le périmètre de l'oued on a eu les résultats suivants d'après un traitement par Arc Gis:

$$S(\text{oued Soum}) = 201788 \text{ m}^2$$

$$S(\text{crue}) = 1149450 \text{ m}^2$$

Alors la surface perdue sera de:

$$S(\text{perdue}) = 947662 \text{ m}^2 \text{ (environ 95ha)}$$

**Tableau III.4 :** Estimation des dégâts de la crue de l'oued Soumam

| zones   | dégâts  |
|---------|---|
| Zones 1 | Cevital de Bejaia : zone à fort risque, le mur sera affecté ;<br>La route nationale N12 : sera coupée par les inondations ;<br>Risque de perte humaine. |
| Zones 2 | Les routes nationales N09 et 12 : seraient coupées par les inondations ;<br>Risque de perte humaine.  |
| Zones 3 | Terres agricoles de Tala Bou Hamza ;<br>La route nationale N12 ;<br>Risque de perte humaine.  |

**III.B.5. Solution et plan de gestion des crues :**

**III.B.5.1. Solution :**

La première manière de diminuer le risque est de se protéger, afin de réduire son exposition aux phénomènes extrêmes. C'est la justification de toute politique de protection contre les inondations.

- Protections localisées (exhaussement, endiguement local).
- Barrages écrêteurs.

Cette politique de protection fut pendant longtemps la seule mise en œuvre. Elle finit par trouver ses limites dans la multiplication des conflits amont-aval, entraînant une « spirale » de l'aménagement sans issue. La fausse sécurité induite par ces aménagements, conduit à un surdéveloppement des zones exposées et une vulnérabilité grandissante aux événements extrêmes.

**Remarque :**

Comme tous les phénomènes naturels, les crues aussi ont des effets négatifs et des effets positifs, donc on a décidé de citer quelques uns.

## Chapitre III Hydrologie, Simulation de la crue de l'oued Soummam et l'élévation du niveau de la mer

**Tableau III.5** : Les effets négatifs et positifs des crues.

| Effets négatifs   | Effets positifs   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pertes en vies humaines et dommages matériels</li> <li>- Pertes de moyens de subsistance</li> <li>- Erosion</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apports de ressources hydrologiques naturelles</li> <li>- Apports des nutriments et de sédiments</li> <li>- rajeunissement de l'écosystème fluvial ou aquatique</li> </ul> |

### III.B.5.2. La gestion du phénomène :

**Tableau III.6** : Les méthodes de gérance des crues.

| La gestion des crues et inondations  | La gestion du risque   | Gérer la catastrophe  |
|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diminution des aspects favorisant les précipités,</li> <li>- la répartition des volumes dans le bassin versant pour une bonne protection des biens et de la ressource.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- prévision météorologique.</li> <li>- prévision des crues.</li> <li>- prédiction par des bulletins et autres moyens audiovisuels</li> <li>- information préventive (affichages et panneaux)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- des scénarios de secours</li> <li>- des scénarios d'évacuations</li> <li>- cellules de crises et d'informations</li> </ul> |

## III.C. Simulation d'une élévation du niveau de la mer

### III.C.1. Submersion côtière

Les épisodes de submersion causant des dommages dépendent des niveaux d'eau extrêmes et des vagues qui déferlent sur la côte et se transforment en jet de rive. On prévoit que les récurrences de hauts niveaux d'eau seront accrues en raison de l'augmentation du niveau marin relatif et de l'adoucissement hivernal. Le premier est dû principalement au réchauffement des océans (par expansion thermique) associé aux changements climatiques. Quant à l'adoucissement des températures hivernales, il réduira la superficie de glace de mer, ce qui laissera libre cours à la formation de vagues pendant une période annuelle plus longue (Bernatchez et al. 2008).

L'approche générale consiste à calculer des récurrences de hauteurs de submersion pour la situation actuelle de même que pour les horizons temporels de 2030 et 2055 en tenant compte de l'impact des changements climatiques et en s'appuyant sur une série d'hypothèses qui concernent:

- Les probabilités de surcôtes de tempête.
- Les probabilités de vagues et le jet de rive associé.

- Les probabilités conjointes (co-récurrences) de surcôtes de tempête et de vagues.

L'une des conséquences les plus certaines du réchauffement climatique est la surélévation du niveau marin qui, selon les tendances actuelles, va continuer à s'accélérer depuis 1990.

Les images satellitaires montrent une nette accélération de ce taux, les modèles climatiques (1990 et 2100) projettent une élévation verticale du niveau marin entre 9 et 88 cm (selon GIEC).

Cette élévation aura un impact très important sur la position de la ligne de rivage qui devrait reculer avec bien entendu toutes les conséquences pour les activités économiques, les habitations et infrastructures présentes à proximité du rivage.

C'est pour ça qu'on a choisi de faire des simulations pour des cas qui peuvent être possible dans l'avenir proche et les deux scénarios sont (E1=39cm, E2=88cm)

### III.C.2. Simulation d'une élévation du niveau de la mer

#### III.C.2.1. Matériels (Logiciel utilisé):

##### 1- ArcGIS 10.2 :

Un logiciel d'information géographique développée par la société américaine Esri, ce système est composé de différentes plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG de collaborer et de partager l'information géographique.

##### 2. Global mapper 17 :

Global Mapper est plus qu'un outil de visualisation capable d'afficher les images raster, les données d'altitude et les données vectorielles. Il convertit, édite, imprime, acquière des données GPS, et permet d'utiliser des fonctionnalités SIG sur vos jeux de données de manière peu onéreuse et simple. Global Mapper permet aussi, en son sein, un accès direct à la totalité de la base de données TerraServer d'imagerie satellitaire et de cartes topographiques de l'USGS ainsi que la visualisation des données d'altitudes en vrai 3D avec un drapage de n'importe quelles images raster ou données vectorielles.

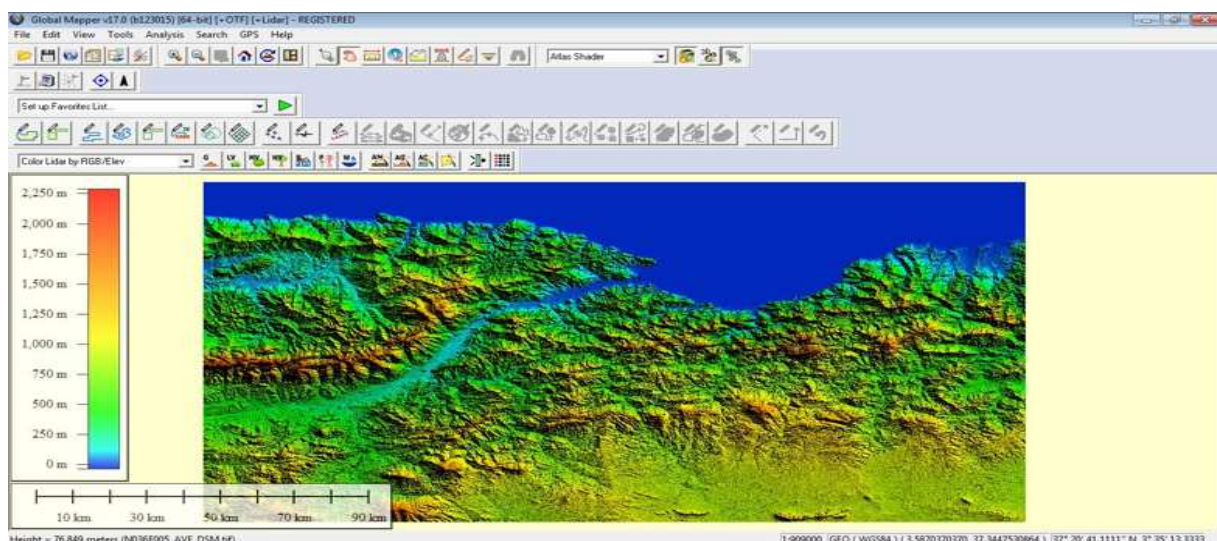


Figure III.24 : Interface du Global Mapper

III.C.2.2 méthode

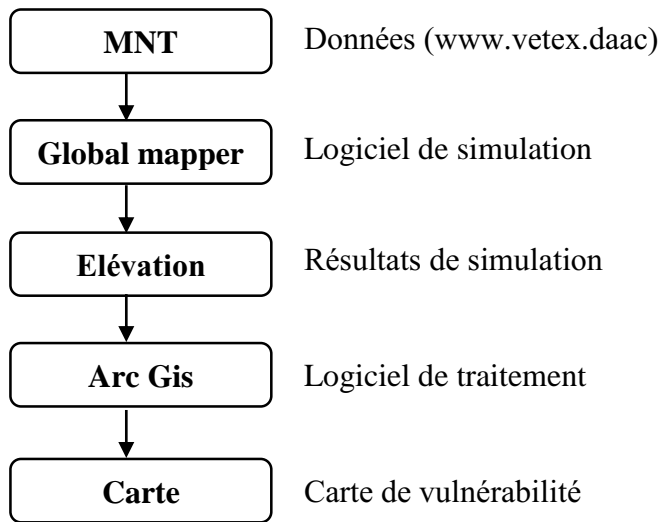


Figure III.25 : Méthodologie suivie pour l'étude de l'élévation du niveau de la mer.

III.C.2.3. Résultats et discussion.

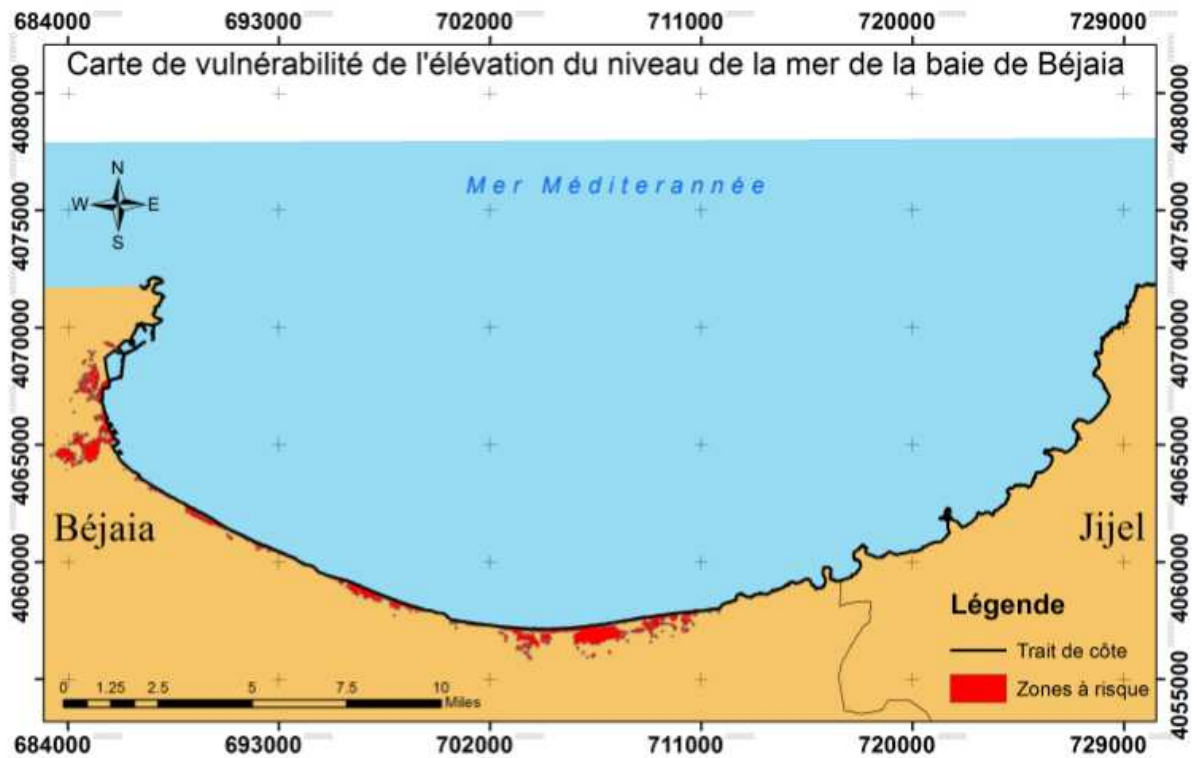


Figure III.26 : Carte de vulnérabilité de l'élévation du niveau de la mer de la baie de Béjaia

**Commentaire :**

On remarque sur la carte que la zone à risque se situe dans la partie centre et Ouest de la baie et cela est dû à la morphologie de la région (plages), où on a des faibles pentes par contre la région Est n'est pas classée comme zone à risque par rapport à l'élévation du niveau de la mer grâce à sa morphologie (zone de falaise).

**Tableau III.7 :** Estimation de la surface perdue par l'élévation du NM sur la baie de Béjaia

| Scénario / dégâts | Surface perdue (ha) |
|-------------------|---------------------|
| Scénario (88cm)   | 976                 |

**III.C.3. Monétisation des impacts négatifs de l'élévation du NM :**

**Tableau III.8 :** Estimation des pertes par l'élévation du NM sur la baie de Béjaia.

| Type d'impact                | Pertes  |
|------------------------------|---|
| <b>Liées à l'érosion</b>     | Domages aux terrains et batiments résidentiel ou commerciaux.   |
| <b>Liées à la submersion</b> | Evacuation d'urgence et dommages aux infrastructures .  |
| <b>Economique</b>            | Perte de marchandise et de revenus touristiques.  |
| <b>Environnementals</b>      | Perte d'habitat naturels.   |
| <b>Sociaux</b>               | Perte d'accées a la mer et de vue sur la mer aussi.<br>Diminution de la qualité de vie .<br>Déterioration du patrimoine historique et culturel. |

**Conclusion**

Dans ce chapitre , d'une part on a touché a des différent aspects concernant l'étude hydrographique de la Soummam , l'hydraulogie , la géologie et la lithologie, on a abouti que : la vallé de la soumam se caracterise par un réseau hydrique important avec de structure géologique complexe allant de trias au quaternaire les plus recents en passant par les differentes ères géologiques et qui est composé de différentes formes lithologiques ( alluvions, sable...). D'autre part, la connaissance en matière d'impact des changements climatiques et ses risques (inondation et submersion marine causées probablement par les fortes précipitations et la faible pente du court d'eau) associés sont indispensables dans les stratégies de la gestion de la zone côtière.

Chapitre IV

**Etude bathysédimentaire et  
modélisation  
hydrodynamique**

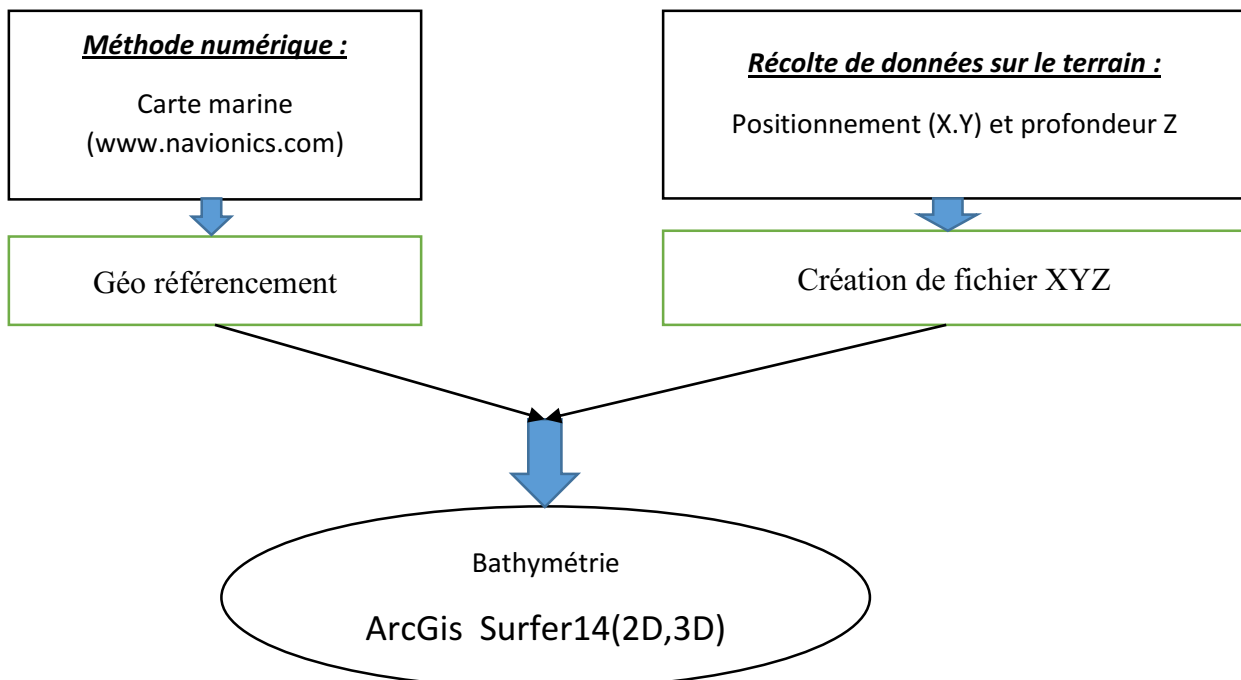
## Introduction

La bathymétrie est la mesure des profondeurs et du relief sous la surface de l'eau pour déterminer la topographie d'un fond marin. C'est une étape primordiale dans le diagnostic et la résolution des problèmes côtiers, la carte bathymétrique peut être une source importante d'informations spatiotemporelles et d'un suivi diachronique de la morphologie sous-marine. Une vue générale sur la morphologie, peut nous renseigner sur les reliefs marins, les parcours des courants potentiels

Dans la modélisation de l'hydrodynamisme des zones côtières, la carte bathymétrique est une donnée de base. L'étude bathymétrique peut aussi nous être utile dans la sélection de l'emplacement et du type de la structure pour se protéger contre les phénomènes naturels.

## A. Etude bathymétrique

### IV.1. Méthodologie :



**Figure IV.1 :** La méthodologie suivie pour la création de la carte bathymétrique de la baie de Béjaia 2018

### IV.2. Travaux sur terrain

Une campagne bathymétrique et de prélèvement de sédiments superficiels ont été effectués au niveau de Béjaia au cours d'un stage pratique au sein du CNL allant du 17 mars jusqu'au 05 mai, les travaux avaient pour but d'élaborer une carte bathymétrique de la baie de Bejaia, en effectuant plusieurs sorties en mer par les moyens suivants :

#### Outils utilisés :

- Une embarcation : Pilotine El Marsa BJ 45, appartenant à l'Entreprise Portuaire de Bejaia (EPB) menée d'un échosondeur et un DGPS, ;
- Appareils de mesures (valise) des paramètres physico-chimiques. ;
- 01 PC portable et accessoires informatiques. ;

- Véhicule utilitaire (celui du CNL). ;
- Benne preneuse de type Van Veen. ;
- L'échosondeur de la pilotine.

### IV.3. Travaux sur logiciels

#### Logiciels utilisés :

##### ArcGis 10.2 :

Un logiciel d'information géographique développée par la société américaine Esri, ce système est composé de différentes plateformes qui permettent aux utilisateurs SIG de collaborer et de partager l'information géographique, ces trois principales composantes sont :

**ArcMap** : c'est l'application principale d'ArcGis, elle permet d'afficher les jeux de données ensemble afin de voir les relations géographiques entre eux, de changer la disposition et l'afficher et même d'effectuer des zooms pour les examiner de plus près.

**ArcCatalog** : c'est l'application qui permet de trouver, d'afficher de documenter d'organiser les données et de gérer des stocks de données et crée des bases de données ainsi de que d'enregistrer et de visualiser les métadonnées ;

**ArcToolbox** : elle est utilisée pour la conversion des données et le géo-traitement, permet de définir ou de changer le système de coordonnées d'un jeu de données et comprend des fonctions qui permettent de réduire le temps de manipulation.

##### Surfer 14 :

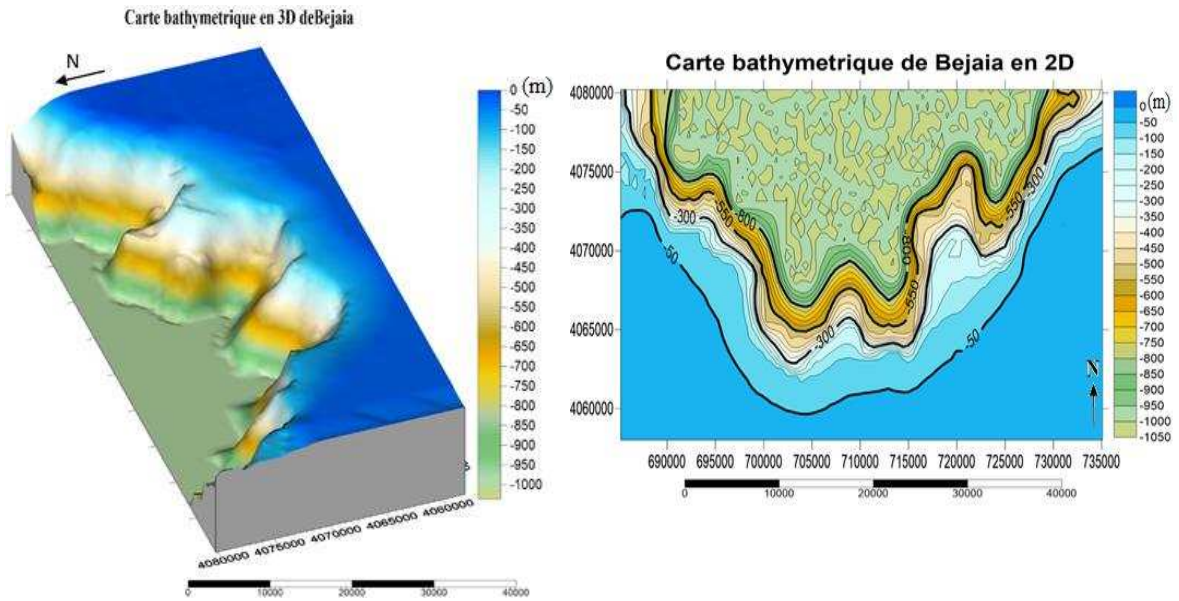
Le logiciel "**Surfer 14**" (Goldensoftware), permet de créer des grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points X, Y, Z, afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes, et parmi ces cartes on a pu élaborer la carte bathymétrique de la baie de Bejaia 2018 (en 2D et 3D)

### IV.4. Résultats et discussion

#### IV.4.1. Carte bathymétrique

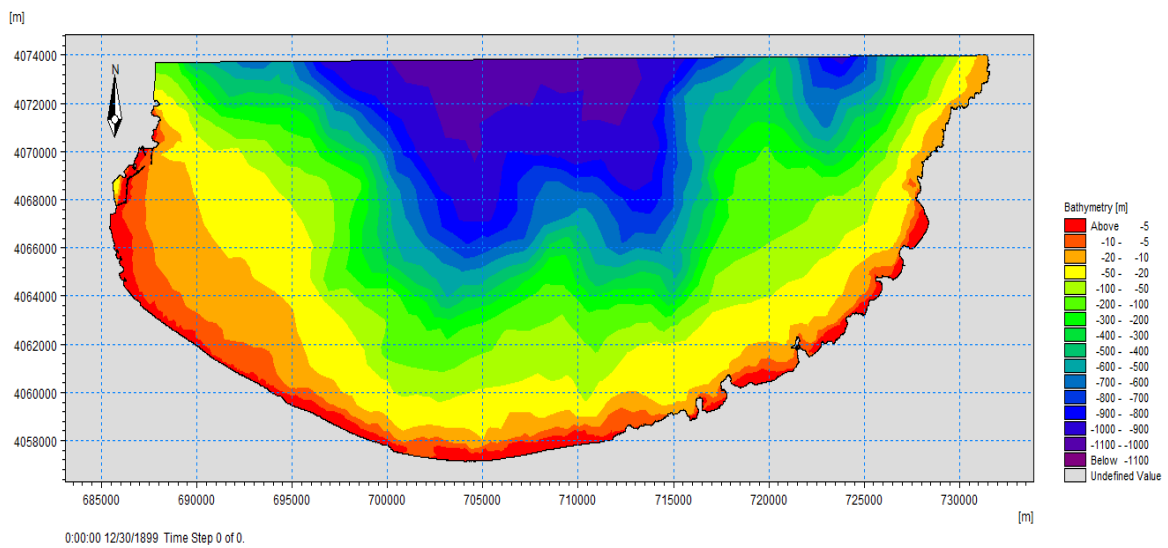
Les résultats obtenus pour le levé bathymétrique réalisé durant le stage pratique du PFE, nous ont permis de réaliser une carte bathymétrique de la baie à l'aide de différents logiciels

**Cartes réalisées par Surfer14 :**



**Figure IV.2 :** Carte bathymétrique en 2D et 3D de la baie de Béjaia

**Carte réalisée par Mike 21**



**Figure IV.3 :** Carte bathymétrique de la baie de Béjaia

**Carte réalisée par ArcGis 10.2 :**

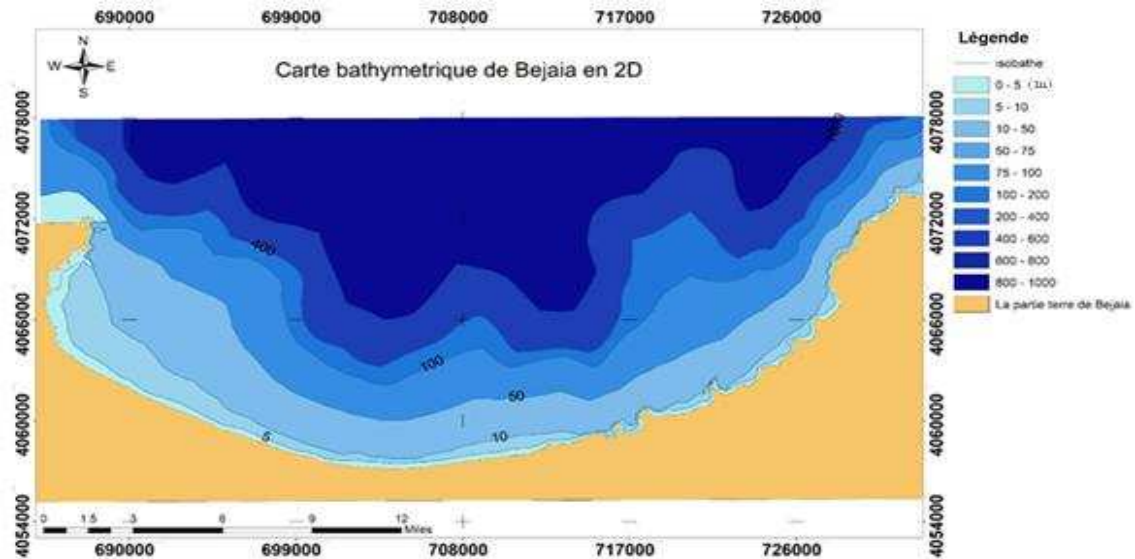


Figure IV.4 : Carte bathymétrique de la baie de Béjaïa

**Commentaires :**

La carte bathymétrique constitue un document de base nécessaire pour la reconnaissance de la morphologie sous-marine. La profondeur maximale de la baie de Bejaïa est d'environ 1000 m. Elle se singularise par un plateau peu étendu d'une largeur qui varie entre 1.5 et 2 km selon (Leclaire, 1972) la morphologie sous-marine, et un glaciais continental festonné par d'imposantes criques (Aokas, Béni Segual) d'où partent des vallées sous-marines.

**IV.4.2. Profils bathymétriques**

Afin de bien avoir une vision sur la morphologie sous-marine de la baie de Bejaia , on a opter de faire des profils bathymétrique presque perpendiculaire à la côte .

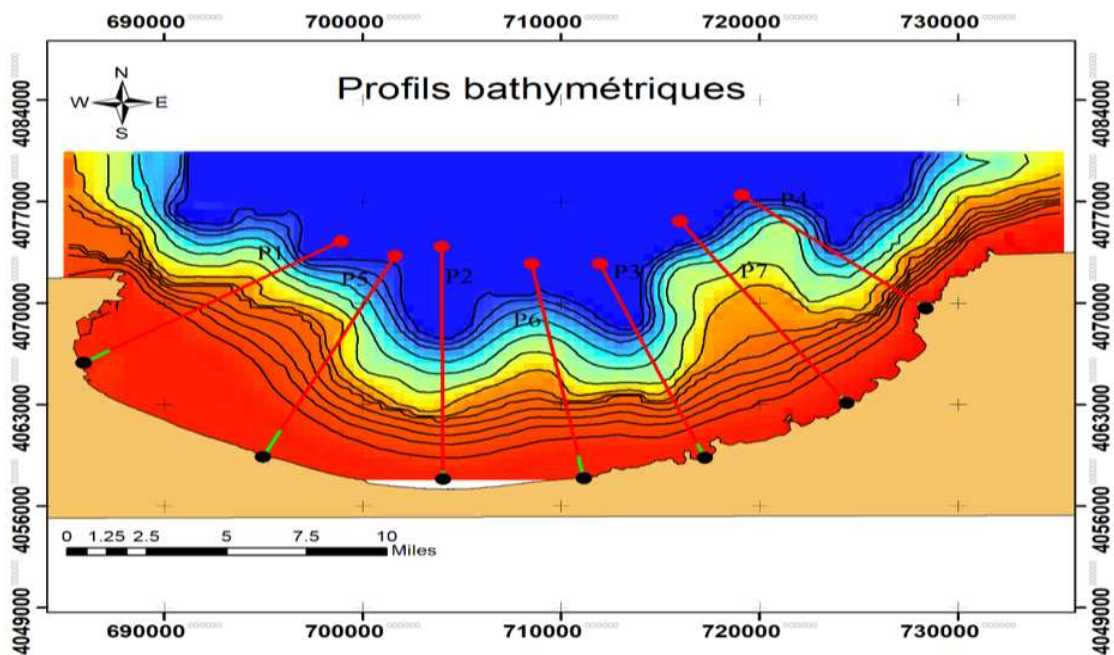
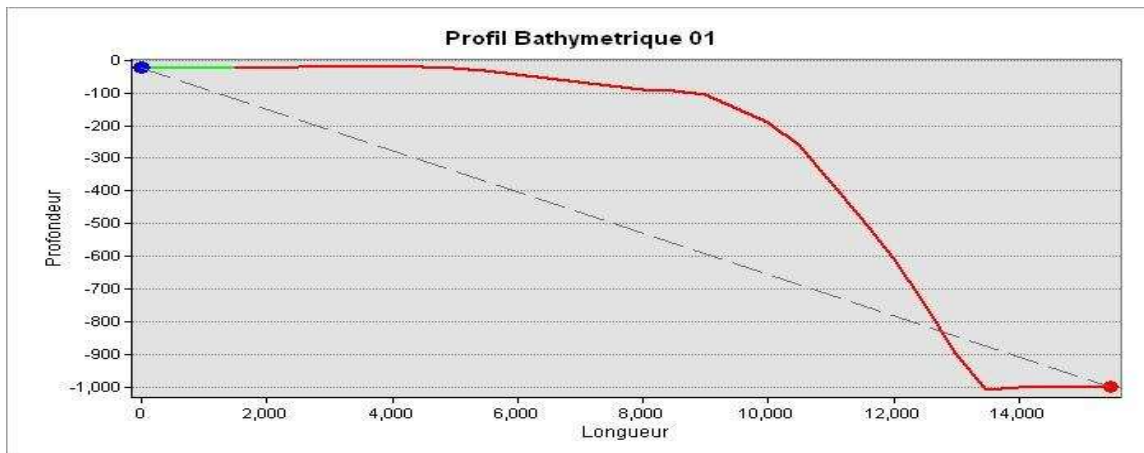
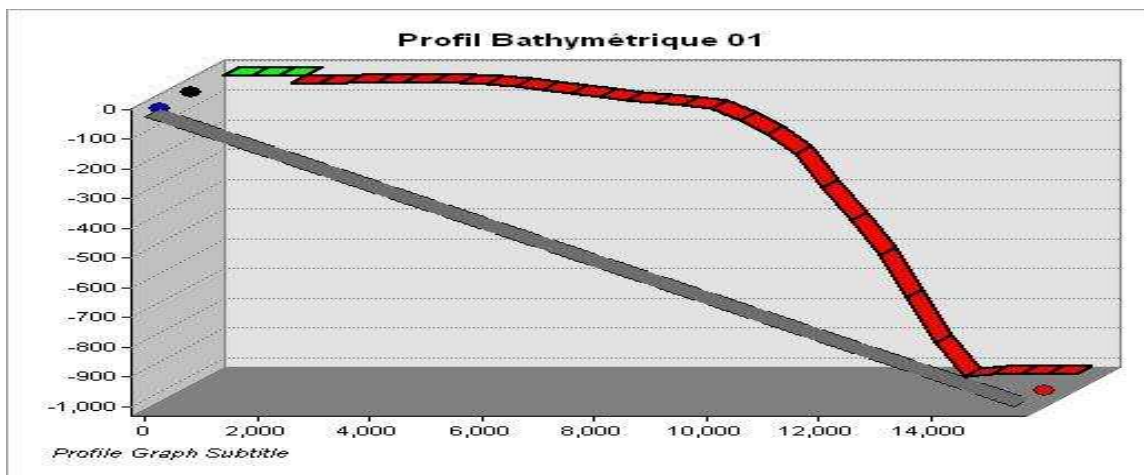


Figure IV.5 : Carte des profils bathymétriques de la baie de Béjaïa réalisé par ArcGis

**Profils réalisés par ArcGis :****Figure IV.6 :** Profil bathymétrique 01 en 2D**Figure IV.7 :** Profil bathymétrique 01 en 3D**Commentaire :**

D'après les figures ci-dessus on a constaté que le profil majoritairement descend en pente douce jusqu'à environ de 1.5km, vers la zone des canyons sous-marins, on remarque une rupture de pente modérée, puis le profil continue à évoluer en pente raide jusqu'à 1000 m de profondeur, pour une longueur de 12 à 14km au-delà c'est des plaines abyssales.

## B- Étude granulo-sédimentaire

### IV.5. Principe

L'étude est basée sur la norme MF :094-056.

L'essai consiste à fractionner au moyen d'une série de tamis le sédiment en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes (**Ghomari F. & Bendi-Ouis A, 2008**).

Le sédiment, on le fait passer à travers une série de tamis dont les ouvertures (ou mailles) d'un ordre décroissant ; cette série est mise sur une tamiseuse qui vibre un certain temps. Chaque tamis retient une quantité de sédiment appelé refus de tamis.

Le refus de tamis constitue une classe granulométrique définie par sa limite inférieure qui est la maille du tamis lui-même et sa limite supérieure qui correspond à la maille du tamis immédiatement supérieur.

Le tamisage à sec, concerne uniquement la fraction grossière  $> 40 \mu\text{m}$ . On procède donc au préalable, à l'élimination de la fraction fine  $< 40 \mu\text{m}$  par tamisage sous l'eau sur un tamis de maille  $40 \mu\text{m}$ . Chaque refus de tamis est ensuite pesé. Ces valeurs sont reportées sur un graphe comportant ; en ordonnées (en échelle arithmétique logarithmique) les poids cumulés et séparés en pourcentage de l'échantillon, et en abscisse, l'échelle logarithmique des mailles des tamis. (**Bellahbib, 2015**)

### IV.6. récolte de données terrain

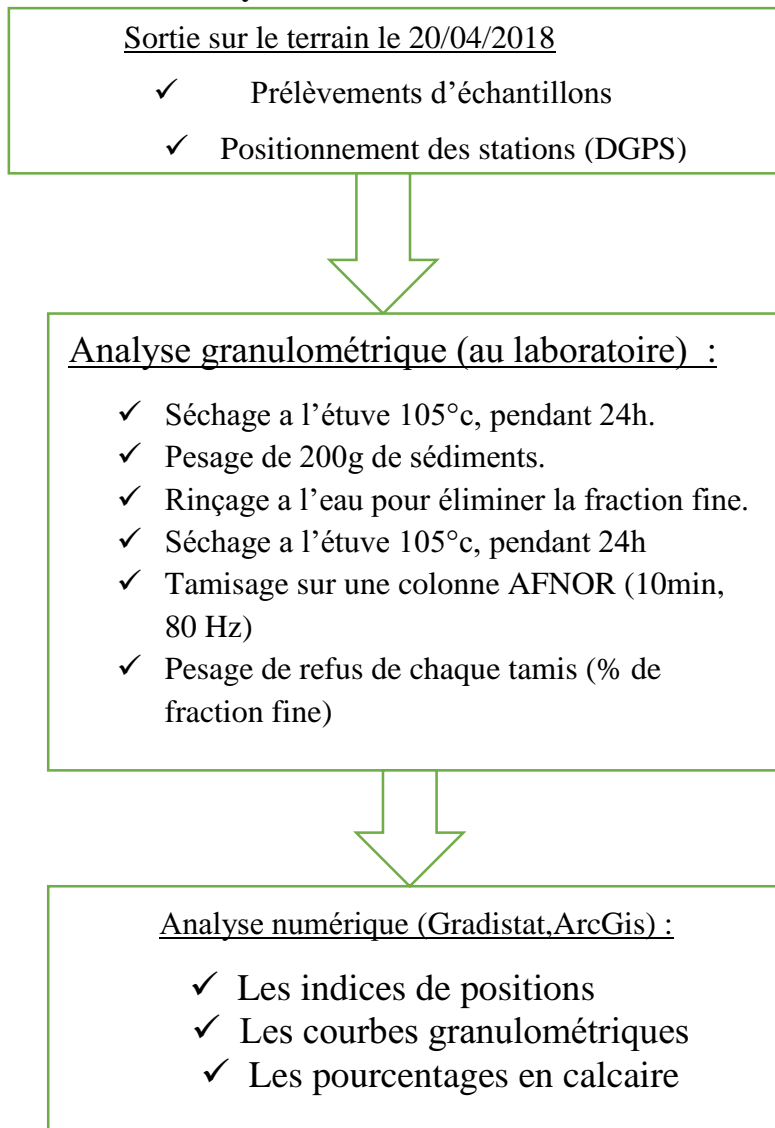
Pour la récolte des échantillons sur la partie marine on a utilisé : d'une benne Van Veen preneuse pour le prélèvement des échantillons dans différentes stations de la zone et pour savoir la profondeur de nos échantillons on a utilisé l'échosondeur de notre embarcation , pour se positionner aussi on avait le DGPS, et pour l'embarcation c'est une pilotine qui a été assurée par L'Entreprise Portuaire de Béjaia après intervention du CNL de Béjaia pour la partie marine et des embarcations de pêcheurs pour les oueds.



Figure IV.8. : Matériels utilisés.

### IV.7. Analyse au laboratoire

#### Protocole d'analyse



**Figure IV.9 :** Méthodologie de travail de l'étude sédimentologique.

#### a- Détermination de la fraction fine (<40 µm) :

En utilisant un tamis de 40 µm de diamètre ; l'échantillon est lavé sous une source d'eau pour laisser passer la fraction fine et à l'aide d'une pissette qu'on peut rassembler la totalité de l'échantillon pour diminuer au maximum la marge d'erreur, puis on fait le séchage encore une fois (105°C pendant 24h). La fraction pélitique (<40µm) représente la différence entre la première et la deuxième pesée après lavage et séchage qui sera traduite par pourcentage.

#### b- Détermination de la fraction grossière :

L'analyse granulométrique a été faite sur les sédiments séchés dans l'étuve.

Tamisage : Pour chaque échantillon nous avons utilisé une colonne de tamis de la série selon la norme AFNOR qui respectent la progression suivante : 63, 80, 100, 160, 180, 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1600, 2000 µm, les tamis sont placés les uns sur les autres dans le sens

décroissant. Le sédiment sec est déversé au sommet de la colonne nous utilisons un fond étanche à la base de la colonne pour récupérer les refus.

Chaque échantillon fait l'objet de 10 à 20 minutes de vibration avec une vitesse de secousses modérée de 20 secousses par seconde pour empêcher la cassure des grains de sédiment.

Le sédiment va ainsi être trié selon la taille des grains qui le compose. Chaque refus est alors versé délicatement dans une capsule pour être pesé.

Pesée : sur un plan horizontal et à l'aide d'une balance de précision chaque refus de tamis va être pesé.

## IV.8. Traitement des données

### IV.8.1. Logiciels utilisés :

#### Excel :

Excel est un logiciel de la suite bureautique Office de Microsoft et permet la création de tableaux, de calculs automatisés, de planning, de graphiques et de bases de données. On appelle ce genre de logiciel un tableur, Excel permet de créer facilement des tableaux de toutes sortes, et d'y intégrer des calculs. Les valeurs du tableau se mettront donc à jour automatiquement.

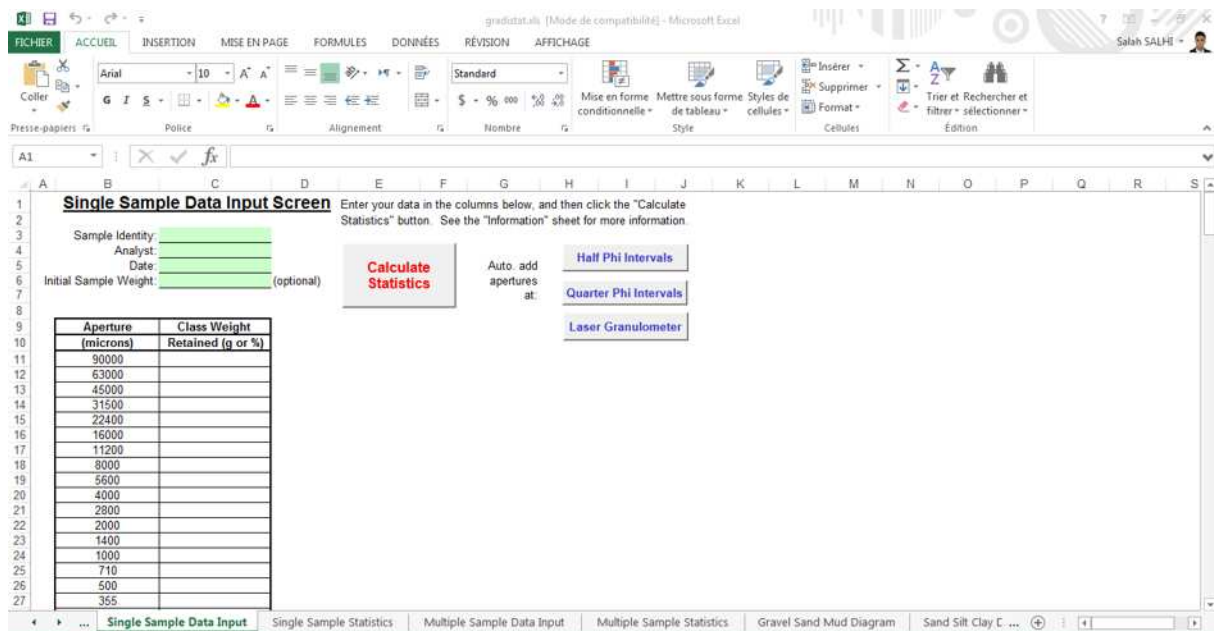


Figure IV.10 : Interface du Execl (Gradistat).

#### Matlab :

Matlab est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The MathWorks, Matlab permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages.

## IV.8.2. Représentations graphiques

### 1- Courbe granulométrique

Elle consiste à reporter en abscisse sur une échelle logarithmique la dimension des grains et des particules correspondant aux ouvertures des mailles des tamis. En ordonnées, les pourcentages cumulés des particules de taille supérieure à la dimension données sur l'axe des abscisses, sont portés sur une échelle arithmétique.

### 2- Les paramètres de position :

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

#### Les quartiles :

- $Q_1$  : diamètre du grain à l'ordonnée 25%, c'est le premier quartile ;
- $Q_2$   $D_{50}$  : diamètre du grain à l'ordonnée 50%, c'est la médiane ;
- $Q_3$  : diamètre du grain à l'ordonnée 75%, c'est le second quartile.

#### Les déciles :

- $D_{10}$  : diamètre du grain à l'ordonnée 10%, premier décile.
- $D_{90}$  : diamètre du grain à l'ordonnée 90%, second décile.

#### - Le mode granulométrique :

Le mode granulométrique correspond à la dimension la plus significative de la distribution granulométrique.

#### Courbes partielles :

**Uni modales** : présentant un seul mode, elle indique une seule dynamique sédimentaire.

**Bimodales** : présentant deux modes, qui indique l'existence d'un mélange de deux stocks sédimentaires donc de deux dynamiques différentes ;

**Plurimodales** : présentant plusieurs modes, révélant que la sédimentologie de la zone étudiée est très agitée.

### 3- Indices granulométriques :

Les méthodes de calcul de ces paramètres ont été obtenues par les formules de Folk et Ward qui nécessite l'élimination de la fraction coquillière de l'échantillon

**3-1-Indice central (Trask & Ward) (diamètre moyen)** : permet de positionner globalement l'échantillon sur l'échelle des dimensions des grains. Il traduit la puissance moyenne des paléoécoulement (Losson et Corbonnois 2006).

$$M_z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$$

Où  $\phi = -\log_2(D)$  qui est le logarithme à base de 2 du diamètre D en millimètre

**Tableau IV.1** : Les valeurs adoptées pour  $M_z$  :

| Limite de $M_z$  | Taille moyenne      |
|------------------|---------------------|
| $M_z < -6$       | Galet               |
| $-6 > M_z > -2$  | Granule             |
| $-2 > M_z > -1$  | Sable très grossier |
| $-1 > M_z > 0$   | Sable grossier      |
| $0 > M_z > 1$    | Sable moyen         |
| $1 > M_z > 2$    | Sable fin           |
| $2 > M_z > 3$    | Sable très fin      |
| $3 > M_z > 3.98$ | Vase                |

**3-2-l'indice de dispersion ; indice de classement (Folk et Ward) :**

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, 1987**)

$$S_0 = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

**Tableau IV.2.** Valeurs adoptées pour  $S_0$  :

| La valeur de $S_0$ | Le classement      |
|--------------------|--------------------|
| $S_0 < 1$          | Très bien classé   |
| $1 > S_0 > 2.5$    | Bien classé        |
| $2.5 > S_0 > 3$    | Normalement classé |
| $3 > S_0 > 4$      | Mal classé         |

**3-3-Indice d'Asymétrie (Skewness) :** 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 et Corbonnois 2006**).

$$S_k = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$$

**Tableau IV.3** : Valeurs adoptées pour  $S_k$  :

| Valeur    | Asymétrie | Interprétation   |
|-----------|-----------|--|
| $S_k < 1$ | Négative  | Courant fort ; le classement meilleur vers les sables grossier |
| $S_k = 1$ | symétrie  | Courant régulier ; autant que grossier que de fins             |
| $S_k > 1$ | positive  | Courant faible ; le classement meilleur vers les sables fins   |

**IV.9. Résultats :**

**IV.9.1. Analyse granulométrique :**

Les courbes cumulatives semi-logarithmiques des sédiments marins, sont en général à forte pente, bien redressée indiquant l'homogénéité des stocks sableux et les conditions d'énergie adaptées à la charge transportée.

**Exemple de l'échantillon P1 :**

Les résultats de l'analyse granulométrique de l'échantillon S1 est représenté sous forme de courbes cumulatives :

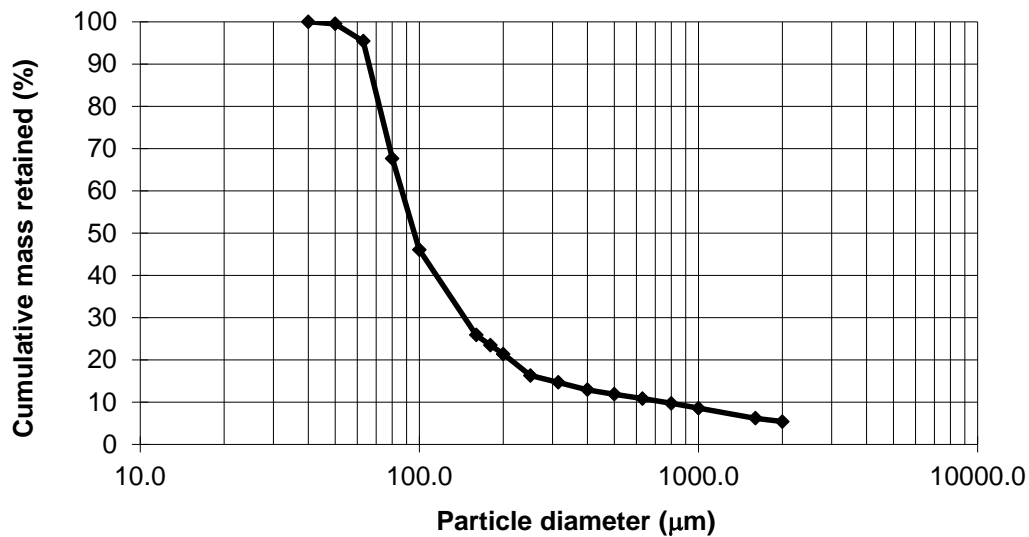


Figure IV.11 : Courbes cumulatives de l'échantillon S1

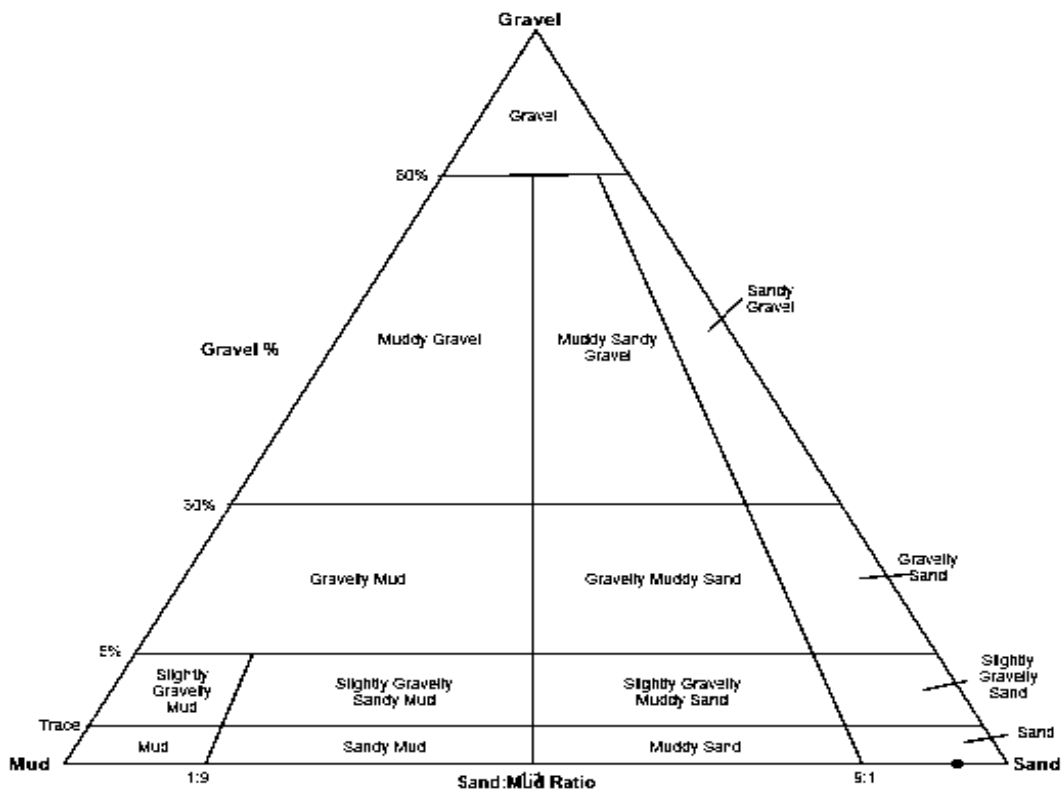


Figure IV.12 : diagramme de Folk de l'échantillon S1

**Tableau IV.4 :** Les indices granulométriques de l'échantillon S1 (pris du logiciel)

|                       | METHOD OF MOMENTS |               |             | FOLK & WARD METHOD |             |                    |
|-----------------------|-------------------|---------------|-------------|--------------------|-------------|--------------------|
|                       | Arithmetic        | Geometric     | Logarithmic | Geometric          | Logarithmic | Description        |
|                       | $\mu\text{m}$     | $\mu\text{m}$ | $\phi$      | $\mu\text{m}$      | $\phi$      |                    |
| MEAN ( $\bar{x}$ ):   | 172,5             | 92,41         | 2,896       | 120,3              | 3,055       | Very Fine Sand     |
| SORTING ( $\sigma$ ): | 266,3             | 3,641         | 1,231       | 2,331              | 1,221       | Poorly Sorted      |
| SKEWNESS ( $S_k$ ):   | 3,961             | -1,830        | -1,500      | 0,633              | -0,633      | Very Coarse Skewed |
| KURTOSIS ( $k$ ):     | 19,66             | 9,052         | 4,231       | 1,743              | 1,743       | Very Leptokurtic   |

Le traitement des données et le calcul des différents paramètres granulométriques a été effectué par un programme qui s'appelle 'Gradistat' c'est un classeur d'Excel composé de plusieurs macros qui permet d'effectuer le calcul des indices granulométriques et dessiner les différentes courbes et diagrammes, basé sur l'interpolation entre deux matrices (tamis et les diamètres des tamis).

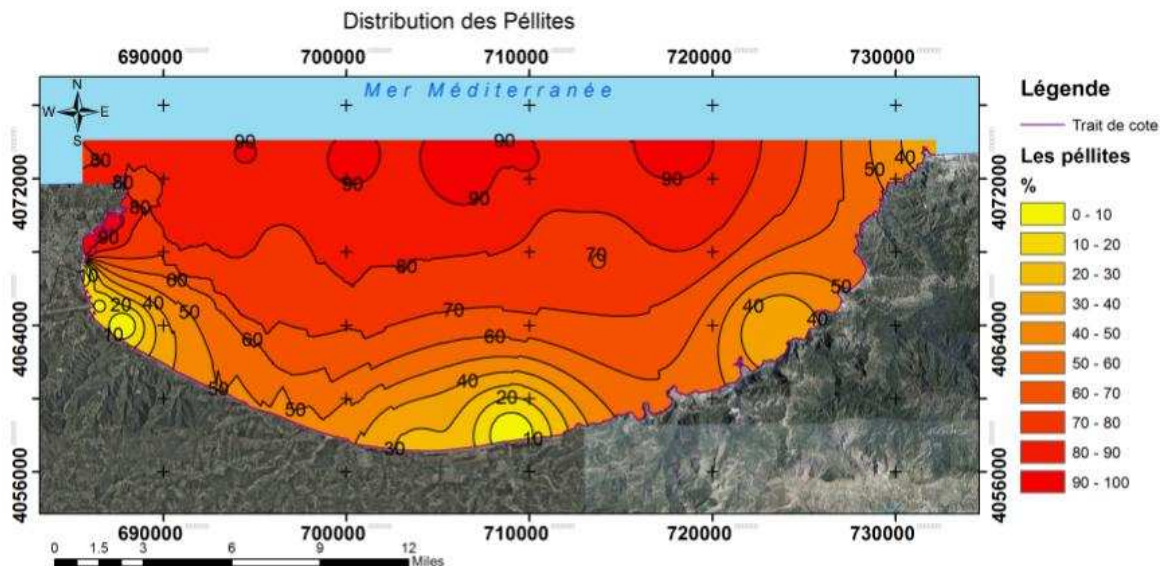
Pour la cartographie de la distribution spatiale des paramètres granulométriques ; nous avons utilisé le logiciel ArcGIS 10.2 ; par importation des données à partir d'Excel.

**IV.9.2. Cartographie et interprétation des résultats granulométriques :**

La cartographie de la distribution spatiale des trois paramètres granulométriques peut fournir des informations sur la provenance des sédiments et les conditions de dépôt (Cordier, 2007).

Les prélèvements réalisés dans la baie de Béjaia ont permis de cartographier la couverture sédimentaire des fonds marins. L'interpolation est utilisée ici afin de prédire les valeurs prises par ces variables distribuées spatialement dans les endroits non échantillonnés.

**- Analyse de la fraction fine**

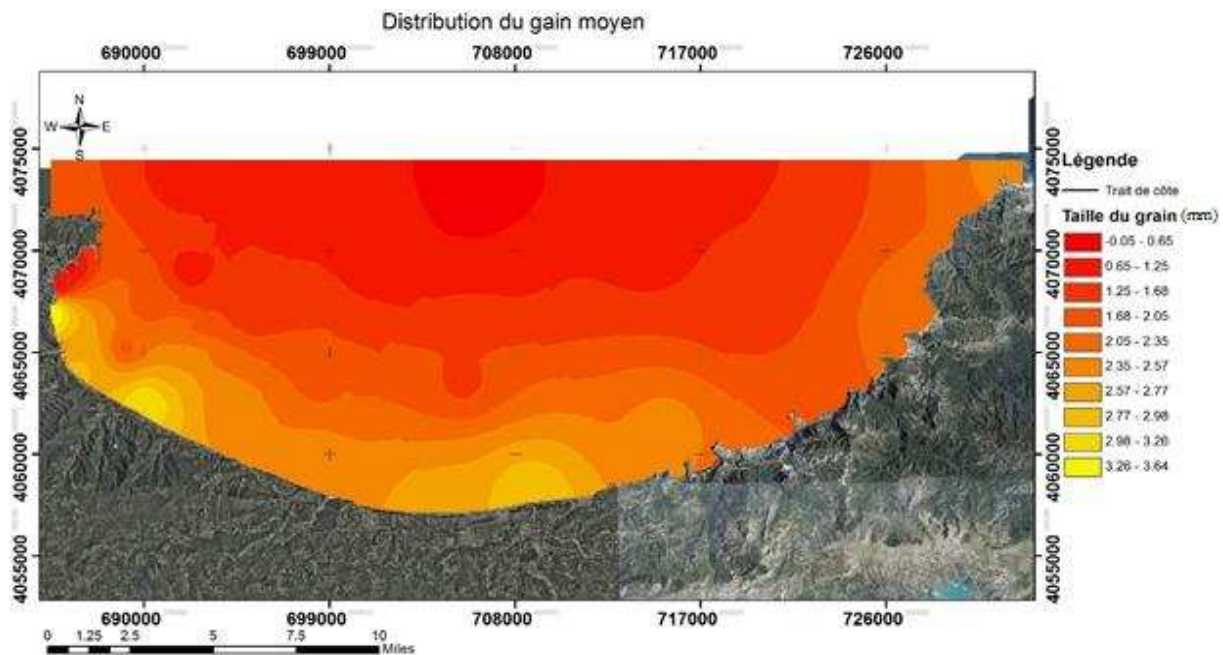


**Figure IV.13 :** Carte de la distribution des péllites au niveau de la baie de Bejaia

La couverture sédimentaire de la baie de Bejaia est composée dans sa globalité par une majorité de sable fin, les résultats obtenus (**figure IV.13**), montrent que la teneur en fraction fine augmente graduellement en avançant vers le large, même dans les zones abritées (port de Bejaia). Les teneurs les plus faibles sont enregistrées généralement dans les faibles fonds plus précisément les embouchures (oued Soummam, Agueryoun, Sghir...), cela pourrait s'expliquer par l'augmentation de l'énergie de la houle qui favorise la remise en suspension des sédiments et l'élimination d'une partie importante de la fraction fine (indicateur d'hydrodynamisme calme) vers les zones calmes permettant leurs décantation.

#### - Analyse de la fraction grossière

Le grain moyen  $Mz$  :



**Figure IV.14** : carte de distribution du grain moyen dans la baie de Béjaia.

La carte de la répartition du grain moyen (**Figure IV.14**) montre que les particules grossières se localisent au niveau des embouchures des oueds et des environs qui pourrait être dû à la dérive littorale, qui se traduit par une activité hydrodynamique intense qui favorise la mobilisation des particules fines et laisse celle qui est plus grossière sur place, les particules ensuite ont été transportées et déposées vers les zones les plus profondes par le courant de retour. (mm)

L'indice d'asymétrie  $Sk$  :

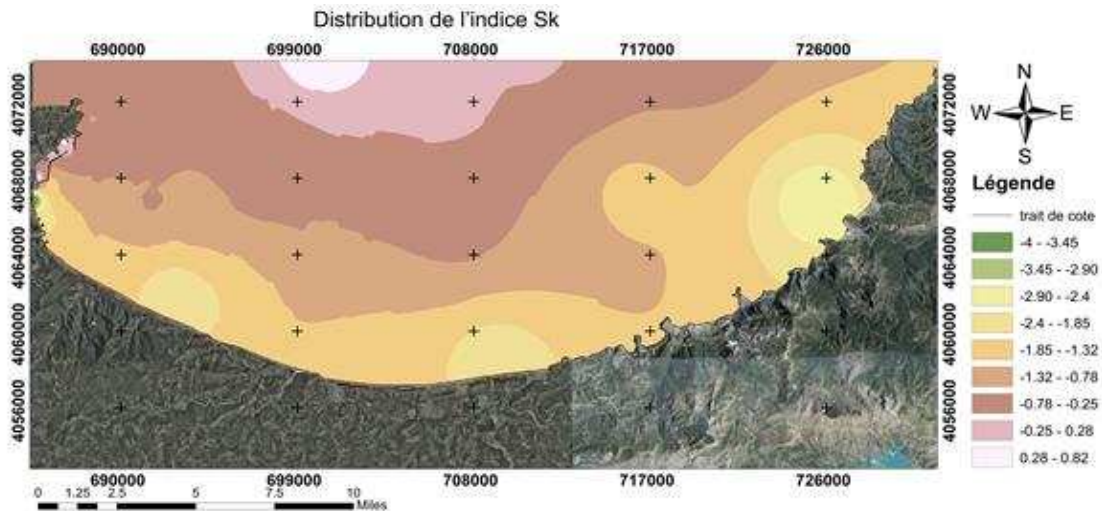


Figure IV.15 : Répartition de l'indice  $Sk$  dans la baie de Bejaia.

Les valeurs négatives de l'indice d'asymétrie sont représentées dans (figure IV.15 :) révélatrices d'une asymétrie des particules vers les grossiers traduisant un excès en particules fines. On constate que les valeurs de  $Sk$  augmentent progressivement de la côte vers le large d'une asymétrie grossière (-4) oued Soummam vers 0.8 (au large de la baie).

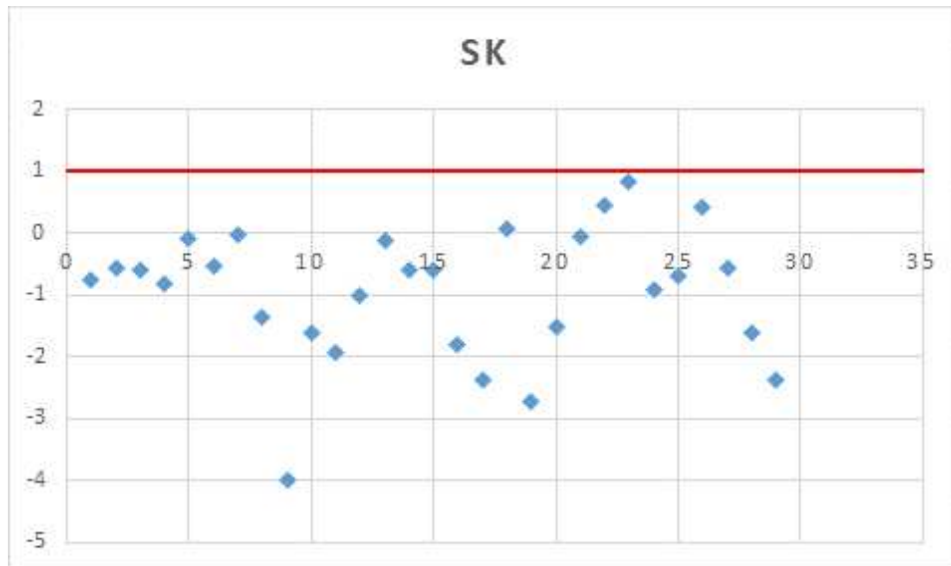


Figure IV.16 : Relation entre les coefficients d'asymétrie et le diamètre moyen

Les valeurs négatives de l'indice d'asymétrie ( $Sk < 1$ ) sont représentées dans le diagramme précédents donc ; le classement meilleur vers les sables grossier et la cause peut être le courant fort (hydrodynamisme fort).

L'indice de tri ( $S_o$ )

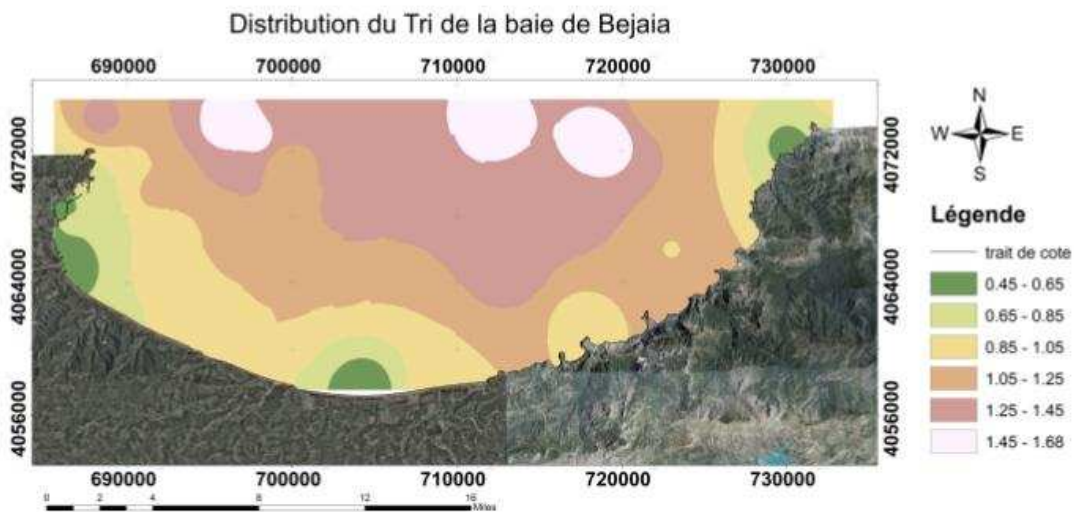


Figure IV.17 : Carte de la distribution du tri de la baie de Bejaia.

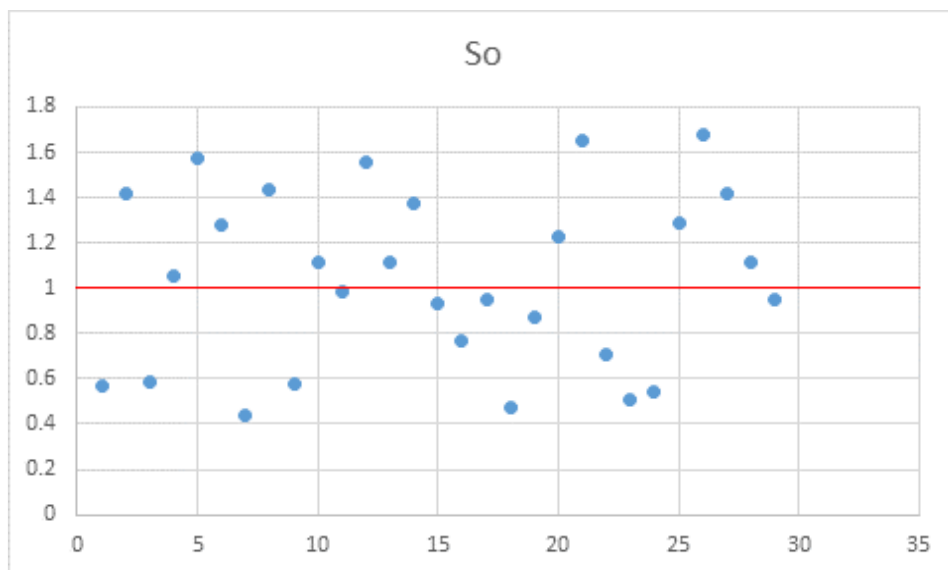


Figure IV.18 : Relation entre l'indice de classement et le diamètre moyen de la baie de Béjaia (partie marine)

Dans notre cas (Figure IV.17 & 18), tous les échantillons de notre zone d'étude ont une valeur de  $S_o$  comprise entre 0.4 et 1.8, donc nous sommes en présence d'un sédiment très bien classé et bien classé avec un pourcentage de 50% chaque un. Ceci peut être expliqué par la présence de la fraction coquillière.

## C- Modélisation hydrodynamique

### Introduction

Dans cette étude, nous allons comprendre les phénomènes en relation avec l'hydrodynamisme côtier qui est toujours un élément indispensable pour la bonne compréhension de ces phénomènes grâce au développement technologique qui nous a permis de gagner du temps en évitant la modélisation mathématique.

Alors, notre étude se focalisera sur les différentes actions des éléments naturels pouvant agir séparément ou ensemble sur les phénomènes de l'hydrodynamisme marine et d'érosion côtière en faisant des simulations des phénomènes suivants :

- La réfraction de la houle : à travers la simulation de la propagation de la houle du large vers les faibles profondeurs pour la baie de Béjaïa.
- La courantologie et déterminer les courants générés par les vents et les houles dans la baie de Béjaïa.
- Le transport sédimentaire pour estimer les taux du transport solide sous l'effet de la dérive littorale générée par les houles.

### IV.10. matériels utilisés

#### IV.10.1. Courantomètre :

D'une marque Valeport, Model 308 Self Recording Current Meter

*“Le modèle 308 a été développé en utilisant des capteurs standard éprouvés pour répondre aux besoins des océanographes, hydrographes et géomètres qui ont besoin d'un compteur de courant précis avec une flexibilité de configuration et une grande capacité de mémoire, qui peuvent envoyer des données directement à un PC “ (www.valeport.co.uk)*

#### IV.10.2. mike 21 :

Le Mike est un progiciel destiné aux professionnels du génie côtier, il comporte plusieurs codes de calculs et de modélisation numérique en 2D, il est développé par le Danish Hydraulics Institute et se base sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou pour certains modules, sur un maillage non structuré (grille triangulaire) (DHI, 2014).

Dans notre étude nous allons utiliser les 3 modèles numériques suivants : un modèle hydrodynamique (HD), un modèle de houle (SW) et un modèle de transport sédimentaire de particules non-cohésives (ST), sous l'effet de l'action combinée des vagues et des courants.

##### a. Mike 21 HD

Mike 21 HD est un modèle bidimensionnel pour les calculs hydrodynamiques à surface libre qui permet de simuler les variations du niveau d'eau et des écoulements qui fournit les paramètres hydrodynamiques nécessaires aux autres.

Le modèle hydrodynamique de Mike 21 est utilisé pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcôtes.

**b. Mike 21 SW**

Mike 21 SW est le module de propagation de la houle spectrale. Le modèle simule la propagation, l'évolution et la transformation des vagues générées par les vents et des houles au large et dans les zones côtières.

**c. Mike 21 ST**

Ce module permet le calcul du transport des sables et de l'évolution morphologique des plages se fait à l'aide du module ST en combinant le du transport sédimentaire, les courants et les vagues. En fonction de l'ensemble des forçages hydrodynamiques (courant de marée, agitation due aux vagues et courants littoraux).

**d. Le Mike /3 FM**

Le modèle couplé Le Mike /3 FM comprend différents modules tels que HD, ST, et SW

**IV.11. Méthode****IV.11.1. Création 2D Bathymétrie sous le maillage**

L'étude de l'élaboration de la carte bathymétrique a été déjà citée dans le chapitre 03 en détails.

**IV.11.2. Configuration des maillages**

Le trait de côte de notre zone d'étude est intégré avec un Code 1, qui est un code spécifique pour la partie Terrestre. Le code 2 est attribué à la limite Est, code 3 pour la limite Nord et code 4 pour la limite Ouest. Pour la baie de Béjaia on a 2402 mailles et 1440 nœuds, allant de l'extrême Est du Cap Carbon jusqu'à l'extrême Est du Cap Aouana. La surface du maillage est d'environ 77 km<sup>2</sup>.

**IV.11.3. Méthodologie suivie****IV.12. Configurations et résultats**

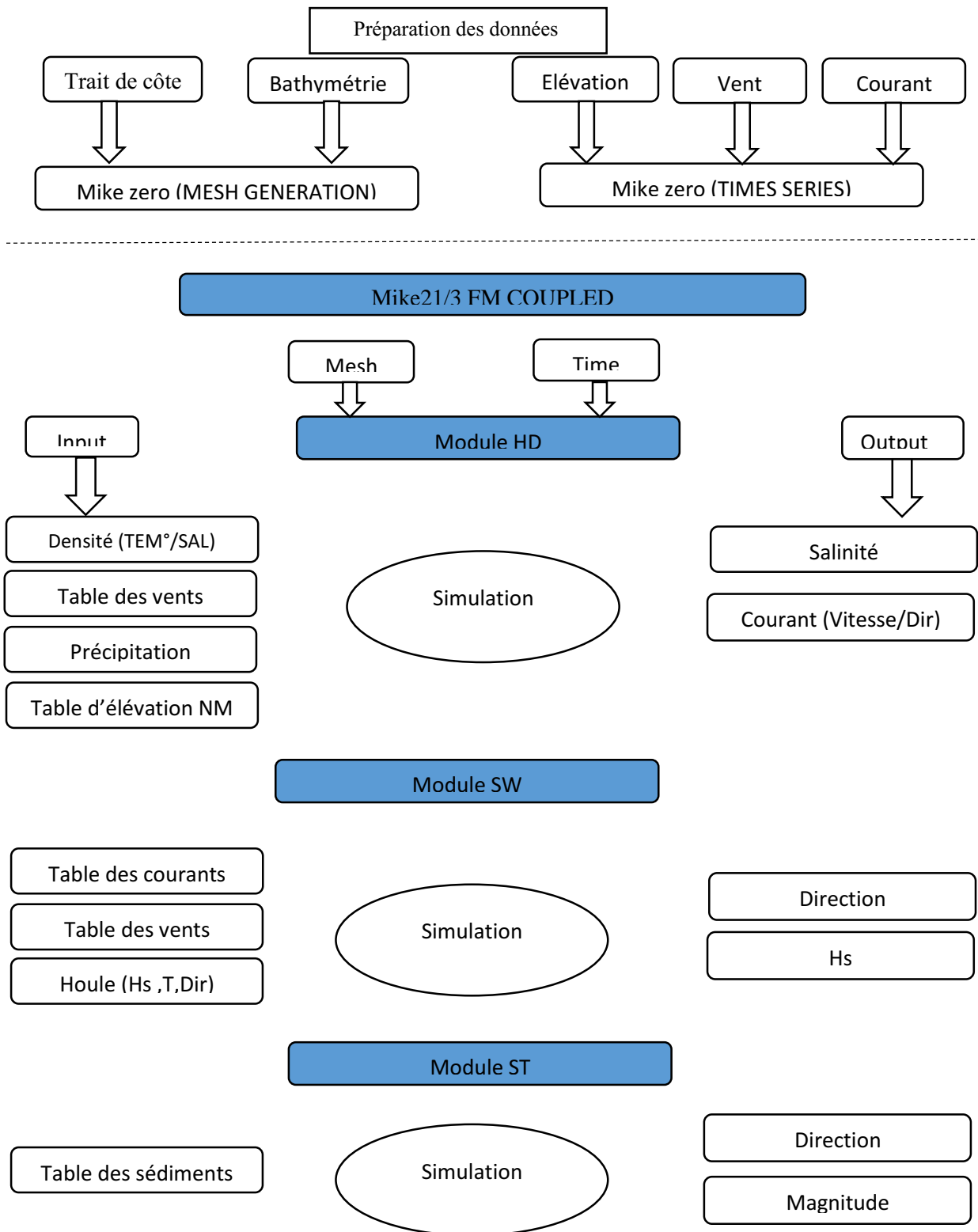


Figure IV.19 : Méthodologie suivie.

### IV.12.1. Configuration du module SW

#### IV.12.1.1. Conditions du niveau marin

Les conditions du milieu marin varient en fonction du temps de simulation et selon la bathymétrie de la zone d'étude, la grille des données du niveau marin est calculée par le module HD.

Pour l'élévation du NM on a créé une table d'élévations qui varie dans le temps et dans le domaine (bathymétrie), la grille est calculée par le module HD, et les données sont celle d'un site internet (<https://rp5.ru/>) Les données sont enregistrées quatre fois par heure pendant une journée (Le 20 avril 2018).

#### IV.12.1.2. Les conditions de courant

Les vecteurs de vitesse et de direction des courants sont récoltés lors de la campagne en mer à l'aide du courantomètre de l'école.

#### IV.12.1.3. Rupture des vagues

La rupture des vagues est calculée par le changement de la profondeur avec une valeur constante  $\gamma = 0.8$  et  $\alpha = 1$ .

#### IV.12.1.4. Conditions initiales des limites

Les conditions initiales imposées dans le module **SW** dans les limites des zones d'études sont les paramètres de la houle,

Les données de la houle au large utilisées pour le calcul de la réfraction de la houle au **L.E.M** sont celles du Summary of Synoptic Meteorological Observations (**SSMO**) de 1963 à 1970

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

Dans ce travail on a pris trois paramètres (Hauteur significative, période de la houle, et la direction) comme suite :

$$H_s = 4.99\text{m} ; T_p = 9\text{s} ; \text{Dir} = 0^\circ\text{N (Nord)} \dots\dots\dots (1)$$

$$H_s = 3.77\text{m} ; T_p = 9\text{s} ; \text{Dir} = 45^\circ\text{N(Nord-Est)} \dots\dots\dots (2)$$

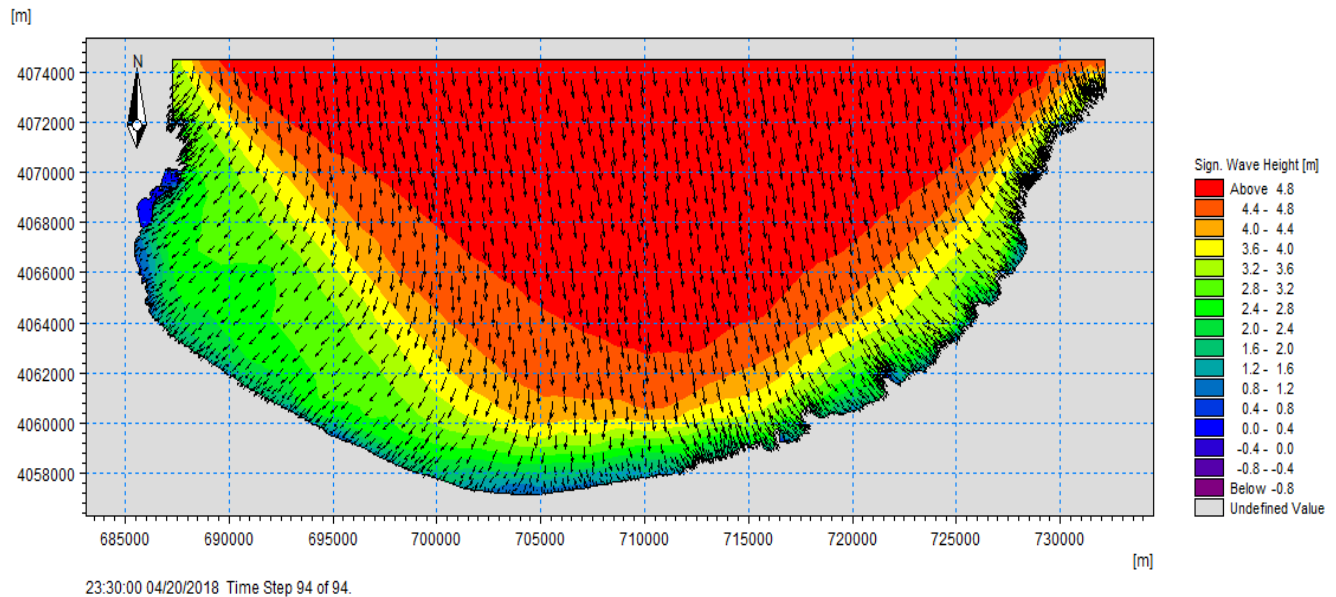
$$H_s = 6.52\text{m}; T_p = 9\text{s}; \text{Dir} = 315^\circ\text{N (Nord-Ouest)} \dots\dots\dots (3)$$

| Période de retour     | Directions   |                   |                      |
|-----------------------|--------------|-------------------|----------------------|
|                       | NORD<br>(0°) | NORD-EST<br>(45°) | NORD OUEST<br>(315°) |
| <b>Biennale</b>       | 4.99 m       | 3.77 m            | 6.52 m               |
| <b>Quinquennale</b>   | 5.91 m       | 4.38 m            | 7.50 m               |
| <b>Décennale</b>      | 6.60 m       | 4.83 m            | 8.23 m               |
| <b>Vingtennale</b>    | 7.29 m       | 5.29 m            | 8.97 m               |
| <b>Cinquantennale</b> | 8.20 m       | 5.09 m            | 9.94 m               |
| <b>Centennale</b>     | 8.89 m       | 6.36 m            | 10.67 m              |

**Figure IV.20 :** les hauteurs significatives avec les directions dominantes dans la baie de Béjaia Aoudj & al (2018)

Pour ce travail on a pris les plus grandes houles enregistrées au large :

#### IV.12.2. Résultats du module SW :



**Figure IV.21 :** Champs des houles dans la baie de Béjaia ( $H = 4.99\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 360^\circ\text{N}$ )

#### Commentaire :

La Figure IV.21 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction  $360^\circ\text{N}$  (Nord) avec une hauteur de  $4.99\text{m}$  au large et une seule période  $T_p = 9\text{s}$ .

Le champ des houles aborde la côte d'une manière frontale, en déviant graduellement jusqu'au rivage ; au fur et à mesure que la profondeur diminue, la hauteur de la houle diminue considérablement.

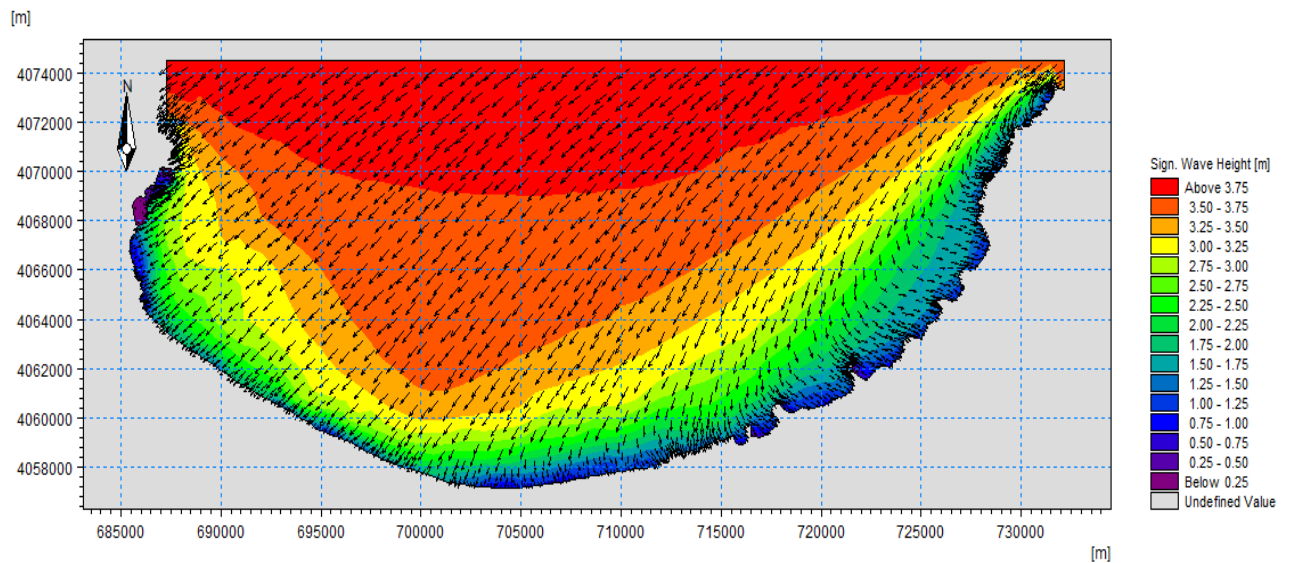
L'action de ces houles au voisinage du rivage, se traduit par une variation de la hauteur significative de la manière suivante :

Dès que ce champ de houle approche de la côte on remarque une diminution des hauteurs qui atteignent les  $0.8\text{m}$  dans la partie Ouest de la baie de Béjaia, et la cause est : les profondeurs sont plus ou moins faibles, cela signifie que la houle perd la majorité de son énergie.

Ce changement des caractéristiques de la houle (hauteur et direction) est peut-être dû à l'effet de la configuration de la bathymétrie qui fait que le coefficient de la réfraction soit important pour cette direction.

Les valeurs comprises entre  $2.4\text{m}$  et  $2.8\text{m}$  dans la partie Est de la baie sont dues à la profondeur modérée, tellement c'est des falaises.

Pour le cas du port : la valeur est comprise entre  $0$  et  $0.25\text{m}$  donc on peut dire qu'il est bien abrité.



**Figure IV.22 :** Champ des houles dans la baie de Béjaia ( $H= 3.77\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 45^\circ\text{N}$ )

### Commentaire :

La Figure IV.22 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction  $45^\circ\text{N}$  (Nord Est) avec une hauteur de  $3.77\text{m}$  au large et une seule période  $T_p = 9\text{s}$ .

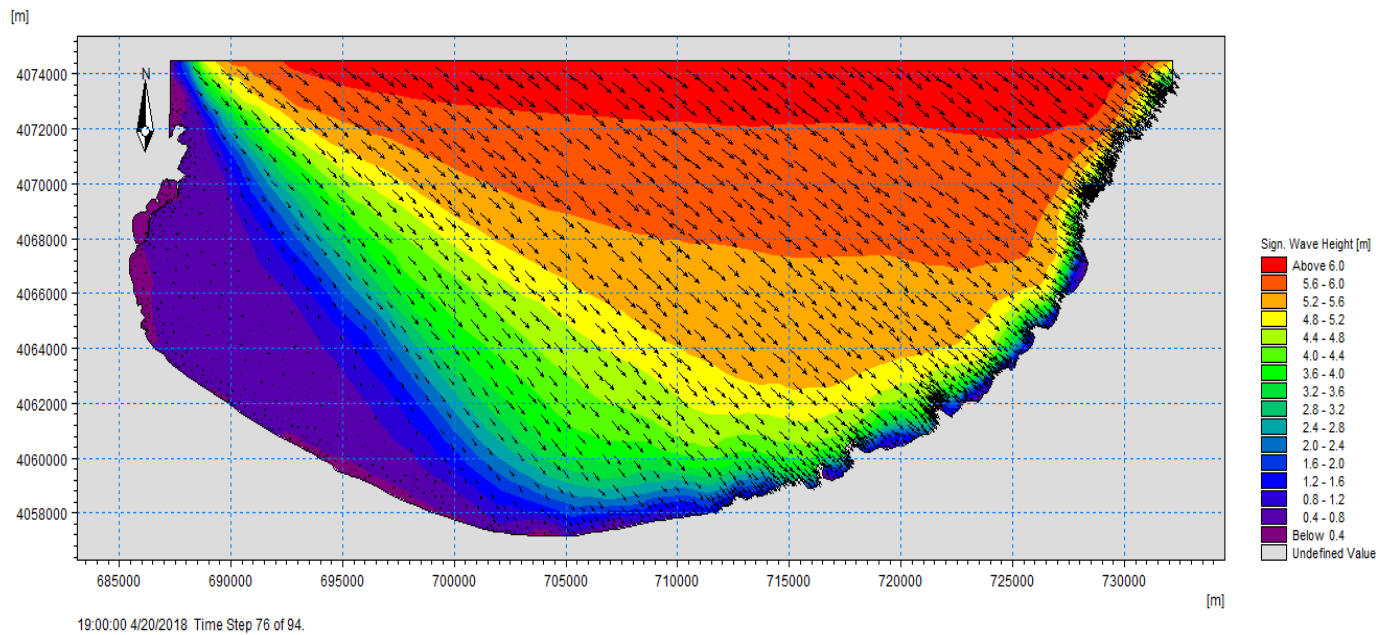
Le champ des houles dévie graduellement jusqu'au rivage ; au fur et à mesure que la profondeur diminue, la hauteur de la houle diminue considérablement.

L'action de ces houles au voisinage du rivage, se traduit par une variation de la hauteur significative de la manière suivante :

Dès que ce champ de houle approche de la côte on remarque une diminution des hauteurs qui atteignent les  $0.75\text{m}$  dans la partie Ouest de la baie de Béjaia, et cela peut être dû à la géomorphologie de la baie et le changement de la profondeur est la principale cause de cette dissipation d'énergie, (cotes sableuse avec des faibles profondeurs), cela signifie que le coefficient de la réfraction de la houle est important.

Concernant les valeurs comprises entre  $0.25\text{m}$  et  $0.5\text{m}$  dans la partie Est de la baie, ce changement des caractéristiques de la houle est peut être due à la présence du cap (El Aouana), qui joue le rôle d'un obstacle pour la propagation des houles de cette direction.

Pour le cas du port : la valeur est comprise entre  $0$  et  $0.25\text{m}$  donc on peut dire qu'il est bien abrité, malgré que c'est une houle frontale vis-à-vis le port.



**Figure IV.23 :** Champ des houles dans la baie de Béjaia ( $H= 6\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ;  $\text{Dir} = 315^\circ\text{N}$ )

**Commentaire :**

La Figure IV.23 représente la simulation numérique de la réfraction de la houle pour la direction  $315^\circ\text{N}$  (Nord-Ouest) avec une hauteur de  $6\text{m}$  au large et une seule période  $T_p= 9\text{s}$ .

Le champ des houles dévie graduellement jusqu'au rivage ; au fur et à mesure que la profondeur diminue, la hauteur de la houle diminue considérablement.

L'action de ces houles au voisinage du rivage, se traduit par une variation de la hauteur significative de la manière suivante :

Dès que ce champ de houle approche de la côte on remarque une diminution des hauteurs qui atteignent une valeur entre les  $0.4$  et  $0.8\text{m}$  dans la partie Ouest de la baie de Béjaia , et cela peut être dû à la présence du cap (Carbon), qui joue le rôle d'un obstacle (brise-lames naturel) pour la propagation des houles de cette direction.

Pour le cas du port : la valeur est inférieure de  $0.4\text{m}$ , donc on peut dire qu'il est bien abrité,

**IV.12.3. Configuration du module HD**

La période de la simulation est étalée sur 95 étapes, le pas de temps pour toute la simulation est fixé à  $900\text{s}$ , pour le module DHI-Mike 21 HD les configurations sont comme suites :

**IV.12.3.1. Frottement sur les fonds**

Toutes les simulations hydrodynamiques ont été réalisées avec un coefficient de Manning de  $n = 0,03$ , constant dans l'ensemble du secteur modélisé.

**IV.12.3.2. Viscosité turbulente**

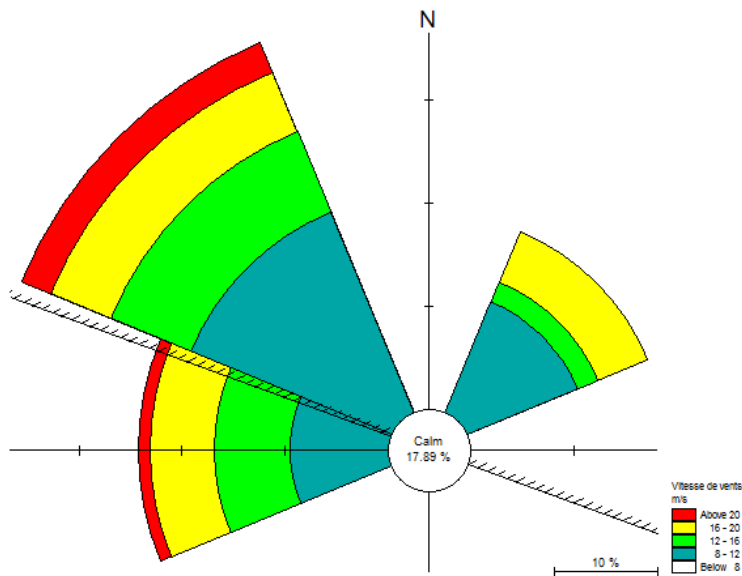
La viscosité prend une valeur constante de 0.28, la résistance est considérée comme valeur par défaut 32 m<sup>1/3</sup>/s.

#### IV.12.3.3. Force de Coriolis

La Force de Coriolis a été prise en compte avec un type de variation selon le domaine. Le calcul de la force de Coriolis est programmé automatiquement selon l'algorithme de **DHI-Mike 21**.

#### IV.12.3.4. Force des Vents

On a créé une grille de donnée qui varie dans le temps et dans le domaine (table des vents), les données utilisées sont celle de l'**ONM** de la station de l'aéroport de Béjaia. Les données sont enregistrées quatre fois par heure pendant une journée. (Le 20 avril 2018).



**Figure IV.24 :** Rose des vents de la station de l'aéroport de Béjaia du 20-avril-2018.

#### IV.12.3.5. Les radiations des champs de houle

Les radiations des champs de houle sont obtenues grâce à la formulation spectrale du module Mike 21 SW.

#### IV.12.3.6. Conditions initiales

Les conditions initiales sont les niveaux d'eau utilisés comme conditions aux limites, des informations de niveaux d'eau sur les points aux limites Nord, Est et Ouest sont nécessaires, de ce fait la valeur du niveau d'eau utilisé est de  $e=0.34$  m (**SHFN, 2012**).

IV.12.4. Résultats du module HD :

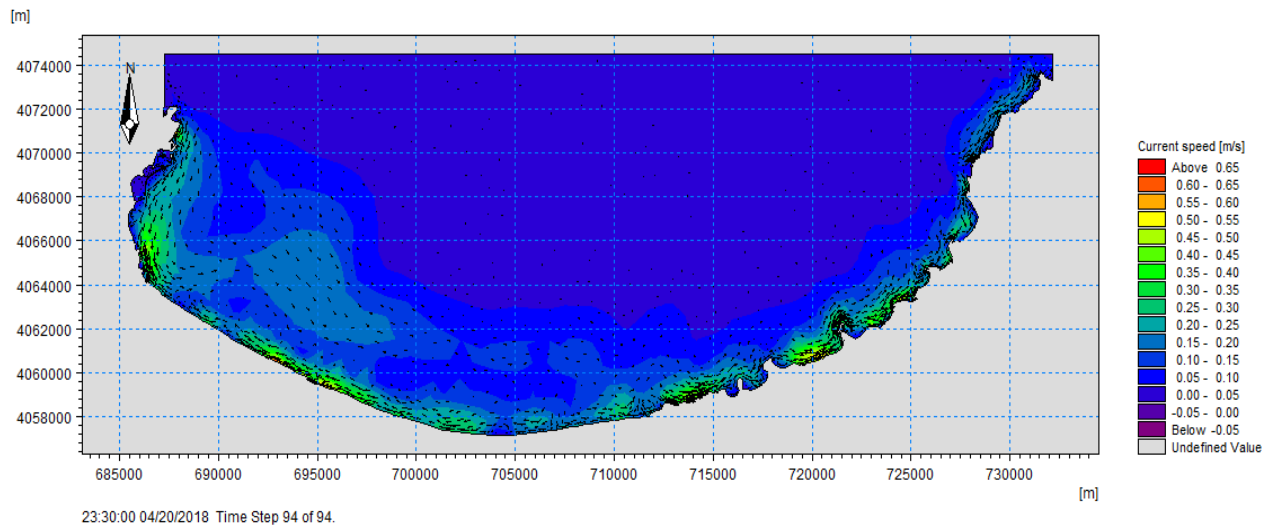


Figure IV.25 : Champs des courants dans la baie de Béjaia (H= 4.99m ; Tp = 9s ; Dir = 360°N)

**Commentaire :**

La Figure IV.25 représente les champs de courant dans la baie de Bejaia générés par des houles du secteur Nord.

On remarque que la majorité des courant sont de l'ordre de 0.05m/s allant jusqu'à 0.5m/s.

La simulation montre qu'au niveau Est et centre de la baie, les courants sont parallèles à la cote avec des vitesses allant de 0.4 à 0.5m/s.

Par contre au niveau Ouest de la baie on remarque la présence de deux courant parallèles à la côte et de direction différente ce qui a engendré un courant de retour à proximité de l'embouchure de l'oued Soummam, et ce courant a un effet sur les sédiments à proximité du rivage (transporté au large).

Dans le port, le champ des courants est d'un ordre qui varie entre 0 et 0.05m/s, on peut dire que le port est abrité.

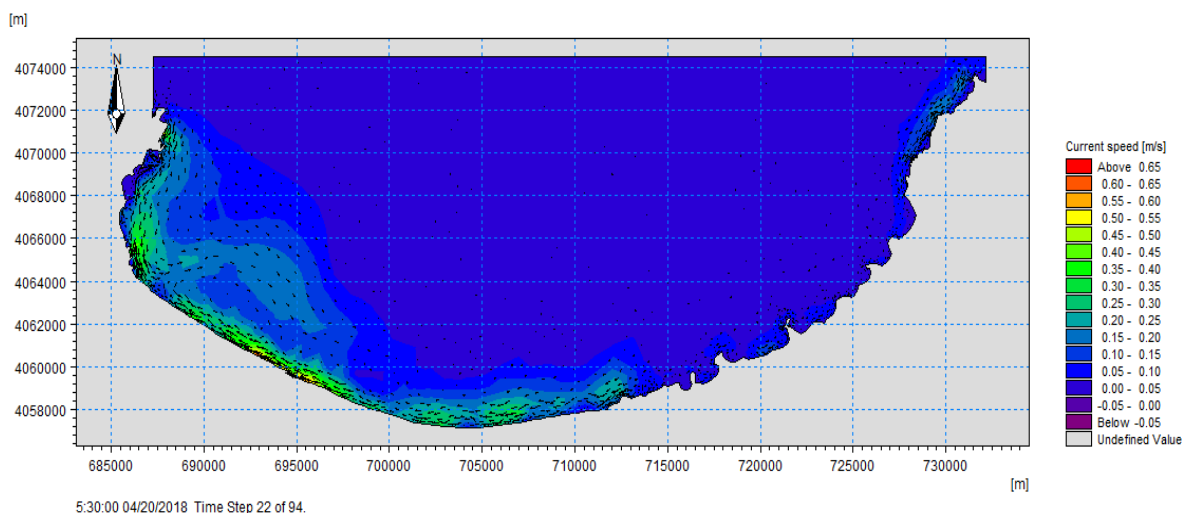


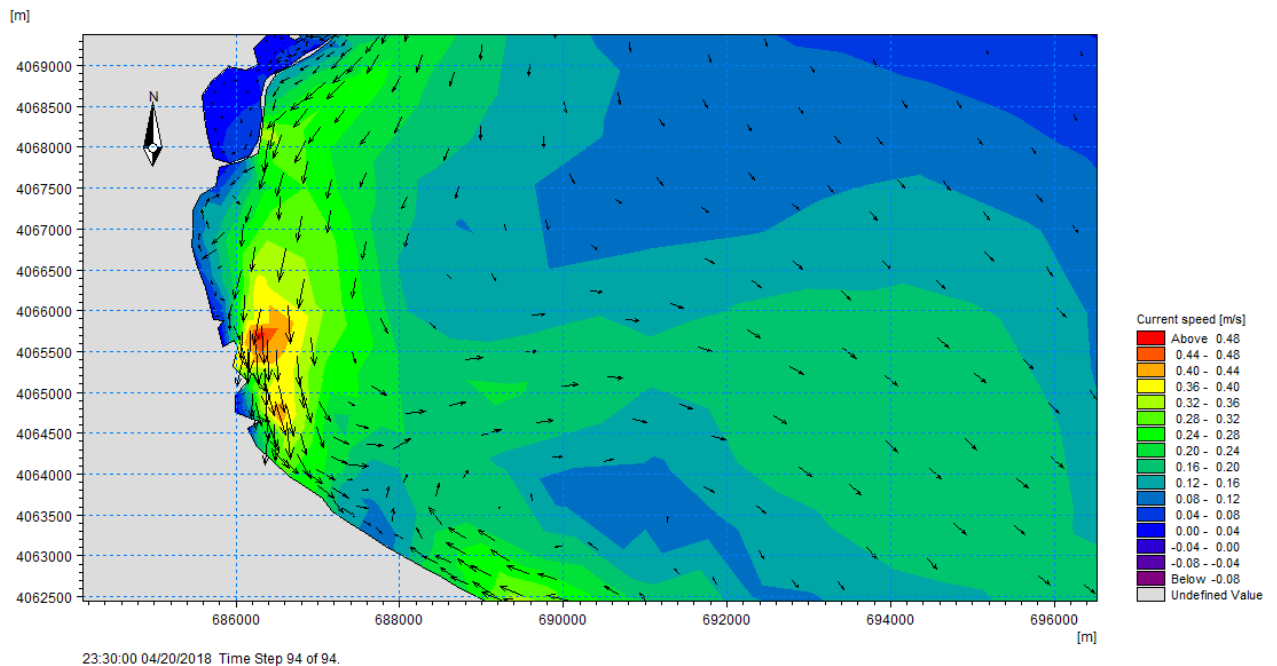
Figure IV.26 : Champs des courants dans la baie de Béjaia (H= 3.77m ; Tp = 9s ; Dir = 45°N)

**Commentaire :**

La Figure IV.26 représente les champs de courant dans la baie de Bejaia générés par des houles du secteur Nord-Est.

On remarque que la majorité des courants sont de l'ordre de 0.05m/s allant jusqu'à 0.45m/s.

La simulation montre qu'au niveau Est de la baie, les courants sont parallèles à la côte avec des vitesses allant de 0.05 à 0.15m/s (très faibles) et cela est peut-être dû à la géomorphologie de la région (côte rocheuse=falaise).



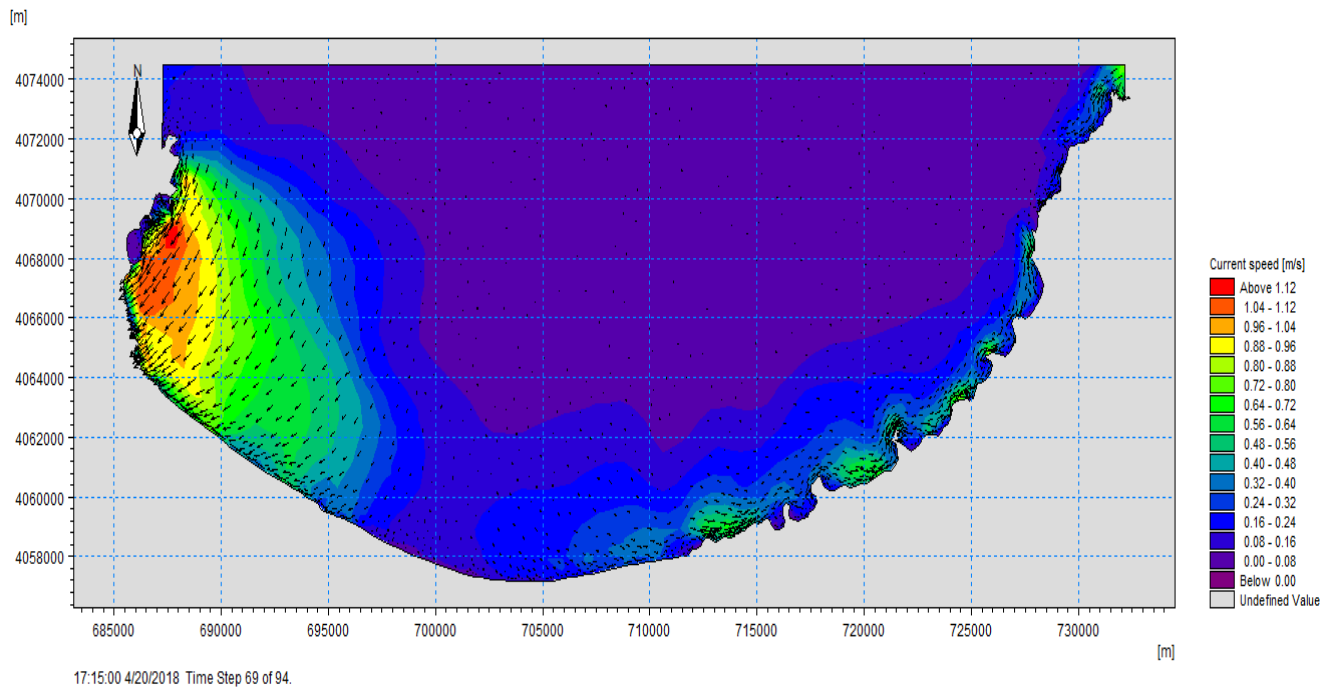
**Figure IV.27 :** Champs des courants de retours dans la baie de Béjaia ( $H= 3.77\text{m}$  ;  $T_p = 9\text{s}$  ; Dir  $45^\circ\text{N}$ )

**Commentaire :**

La Figure IV.27 représente les champs de courant dans la baie de Bejaia générés par des houles du secteur Nord-Est.

Par contre au niveau Ouest de la baie on remarque la présence de deux courants parallèles à la côte et de direction différente ce qui a engendré un courant de retour à proximité de l'embouchure de l'oued Soummam allant jusqu'à 0.44 m/s (courant fort), et ce courant a un effet sur les sédiments à proximité du rivage (transporté au large), et cela peut être dû à la géomorphologie de la région (côte sableuse).

Dans le port, le champ de courant est d'un ordre qui varie entre 0 et 0.04m/s, on peut dire que le port est abrité.

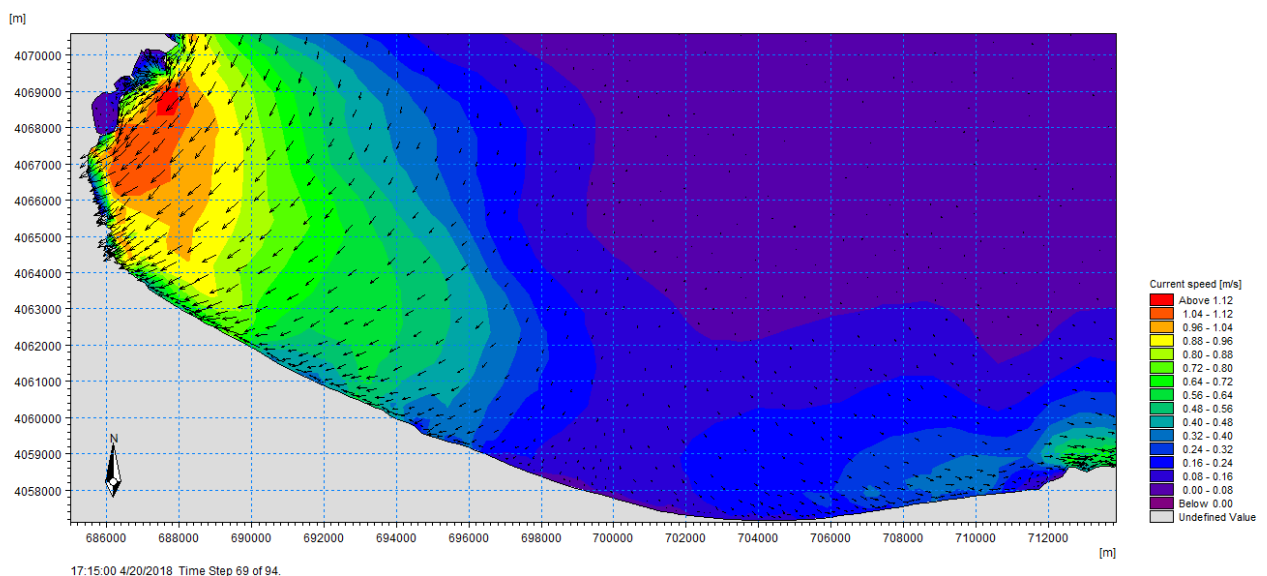


**Figure IV.28 :** Champs des courants de dans la baie de Béjaia ( $H= 6m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ )

**Commentaire :**

La Figure IV.28 représente les champs de courant dans la baie de Bejaia générés par des houles du secteur Nord-Ouest.

On remarque que la majorité des courant sont de l'ordre de 0.15m/s allant jusqu'à 1.1m/s (partie Est)



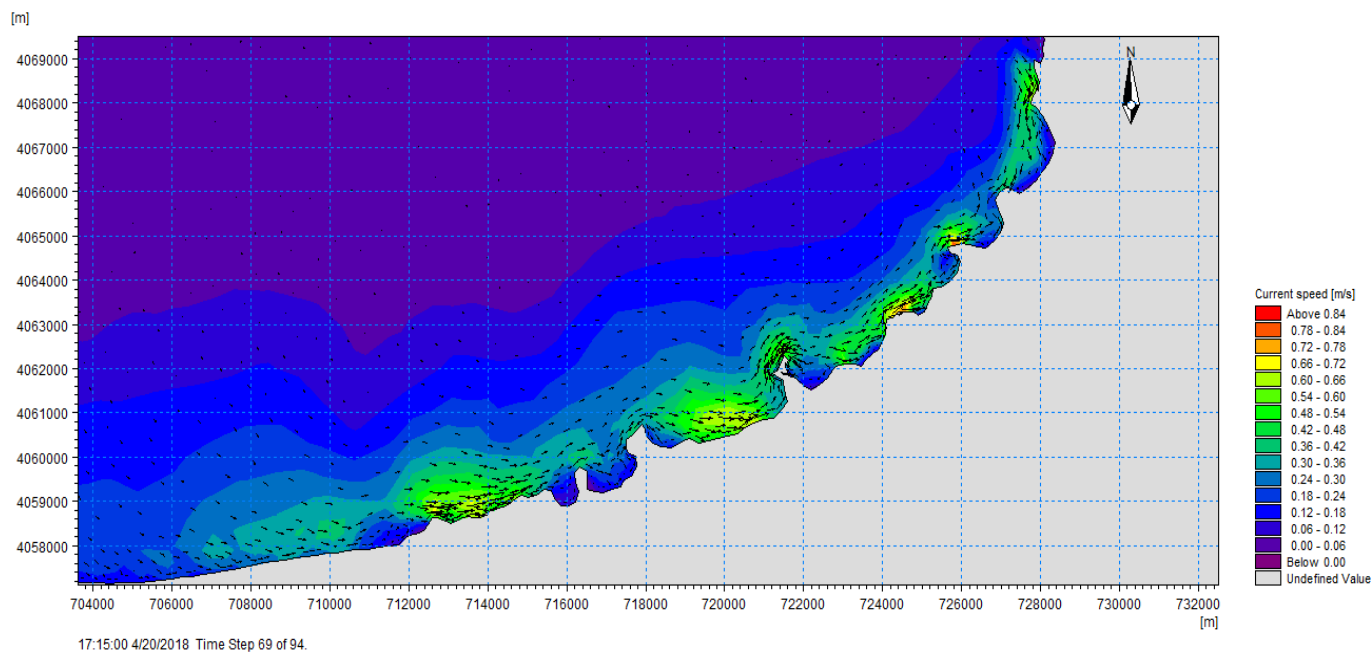
**Figure IV.29 :** Champs des courants dans la baie de Béjaia (côté Ouest) ( $H= 6m$  ;  $Tp = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ )

**Commentaire :**

La Figure IV.29 représente les champs de courant dans la baie de Bejaia générés par des houles du secteur Nord-Ouest.

Au niveau Ouest de la baie on remarque la présence d'un courant fort a la côte et (dévié par le cap Carbon) qui serait dû au phénomène de contournement, allant jusqu'à la proximité de l'embouchure de l'oued Soummam, d'une vitesse de 1.2 m/s (courant fort), et cela peut être dû à la géomorphologie de la région (côte sableuse).

Dans le port, le champ de courant est d'un ordre qui varie entre 0 et 0.32m/s, on peut dire que le port est abrité.



**Figure IV.30 :** Champs des courants dans la baie de Béjaia (coté Est) ( $H= 6m$  ;  $T_p = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ )

**Commentaire :**

La Figure IV.30 représente les champs de courant dans la baie de Bejaia générés par des houles du secteur Nord-Ouest.

La simulation montre qu'au niveau Est de la baie, les courants sont parallèles à la côte avec des vitesses allant de 0.24 à 0.6m/s (vitesse moyenne) et cela peut être dû à la géomorphologie de la région (côte rocheuse=falaise).

**IV.12.5. Configuration du module ST :**

La simulation est effectuée à l'aide d'un générateur de table sédimentaire offert par « Mike21Toolbox » de Mike 21 avec le module ST.

Le paramètre granulométrique considéré est le **D50** qui est d'une valeur de 0.164 mm

**IV.12.6. Résultats du module ST :**

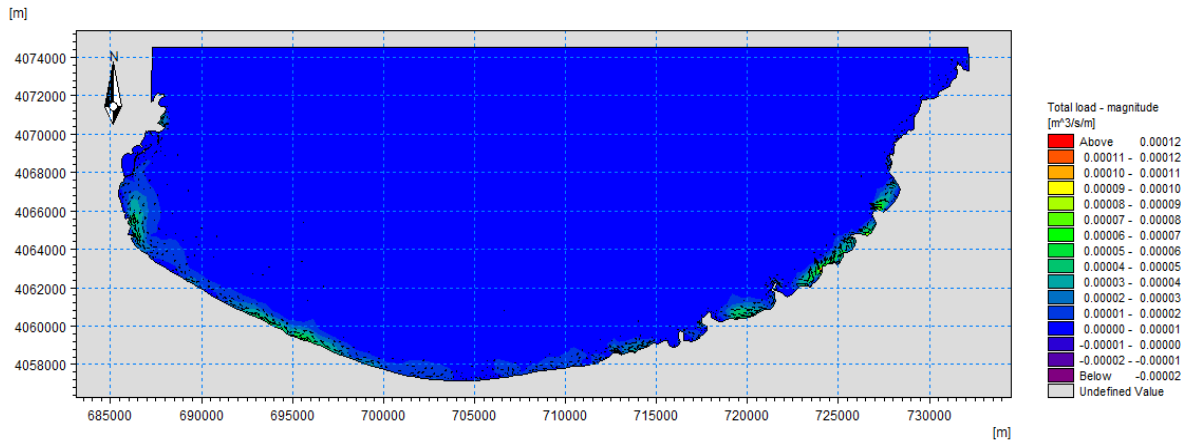


Figure IV.31 : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia (H= 4.99m ; Tp = 9s ; Dir = 360°N)

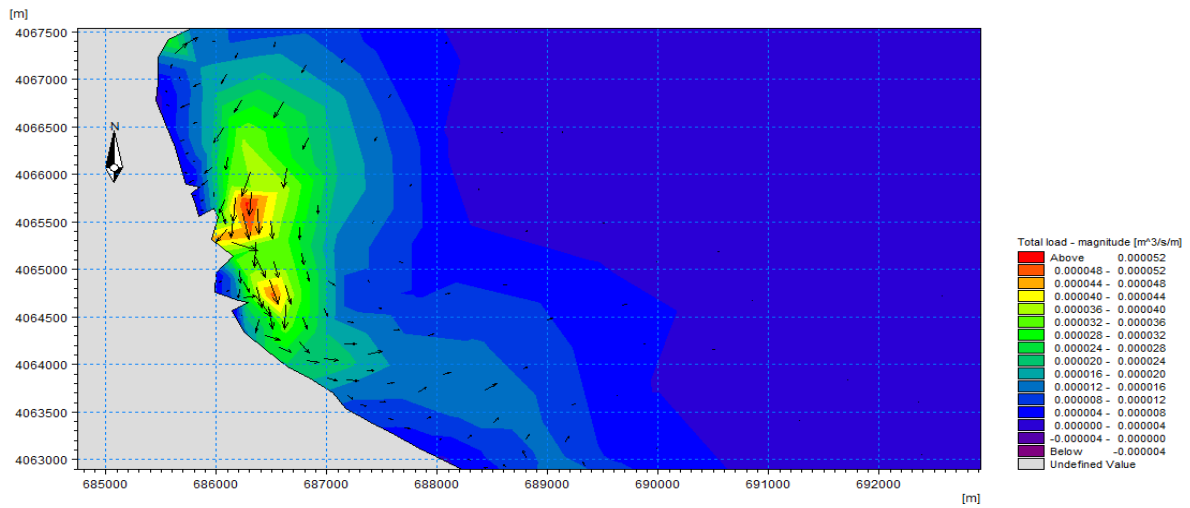


Figure IV.32 : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia (H= 4.99m ; Tp = 9s ; Dir = 360°N)

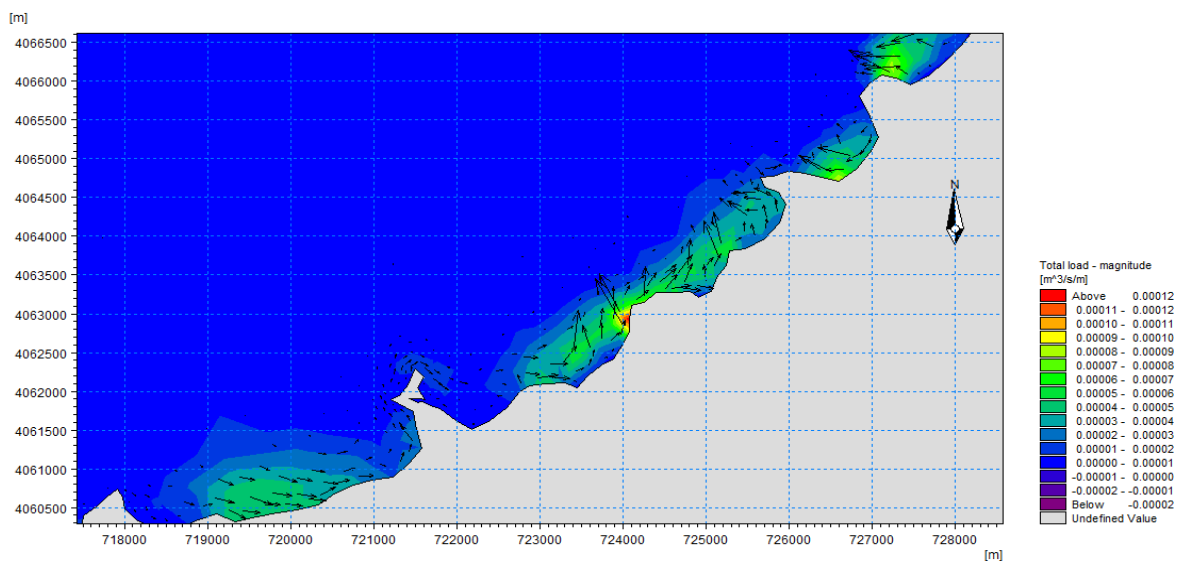


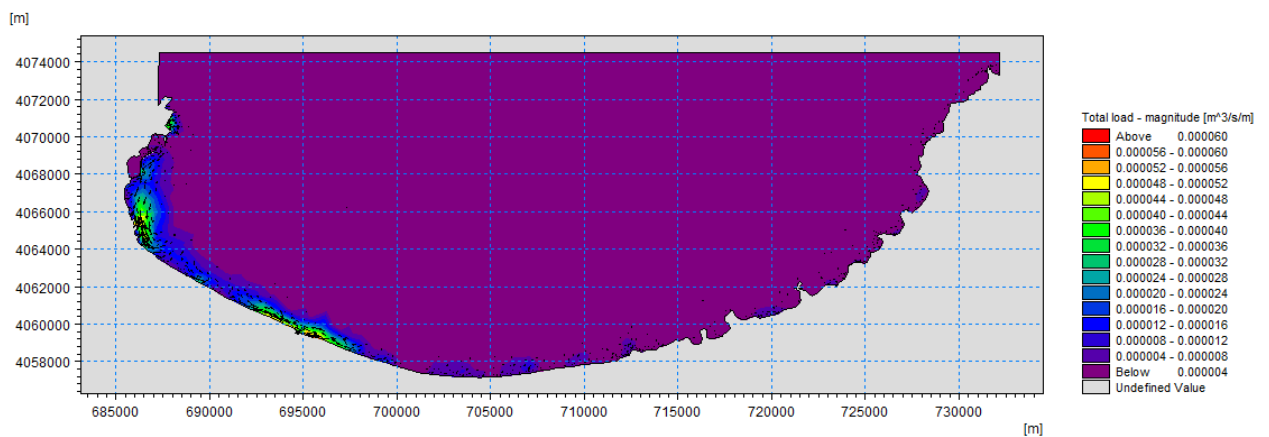
Figure IV.33 : Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia (H= 4.99m ; Tp = 9s ; Dir = 360°N)

**Commentaires :**

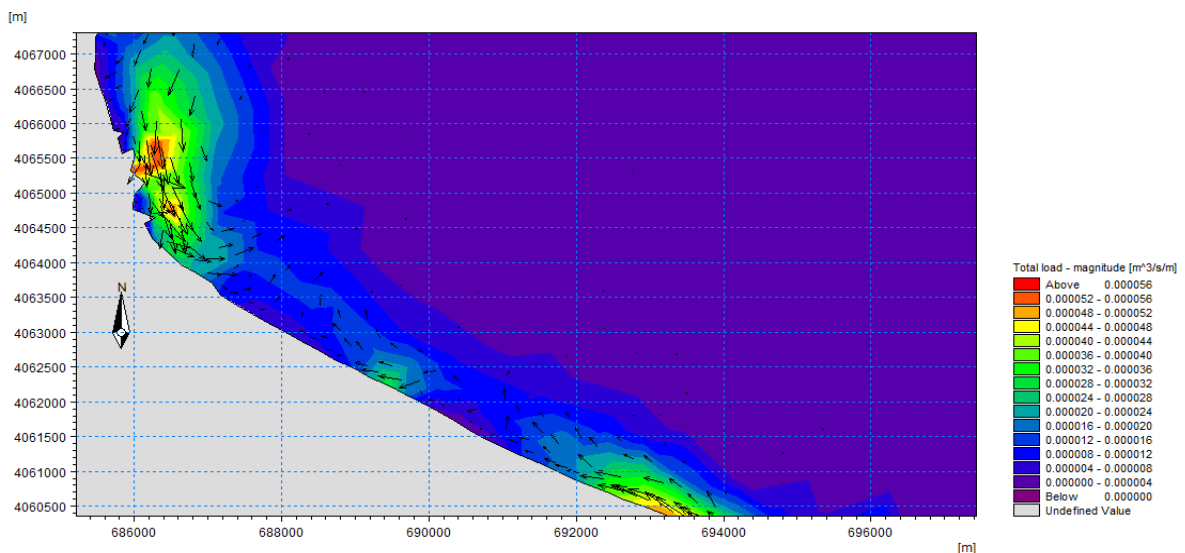
La simulation du taux du transport des sédiments non cohésifs est représentée dans les figures IV.31, 32,33. Les résultats de cette simulation montrent que le déplacement des sédiments suit le sens et l'intensité des courants, où on a un flux sédimentaire important à proximité du rivage dans la partie Ouest et centre de la baie (côte sableuse).

Un autre flux de charriage de sédiments vers le large, engendré par le courant de retour, on constate aussi que les houles de direction Nord (N360°) n'ont aucun impact direct sur l'ensablement du port de Béjaia.

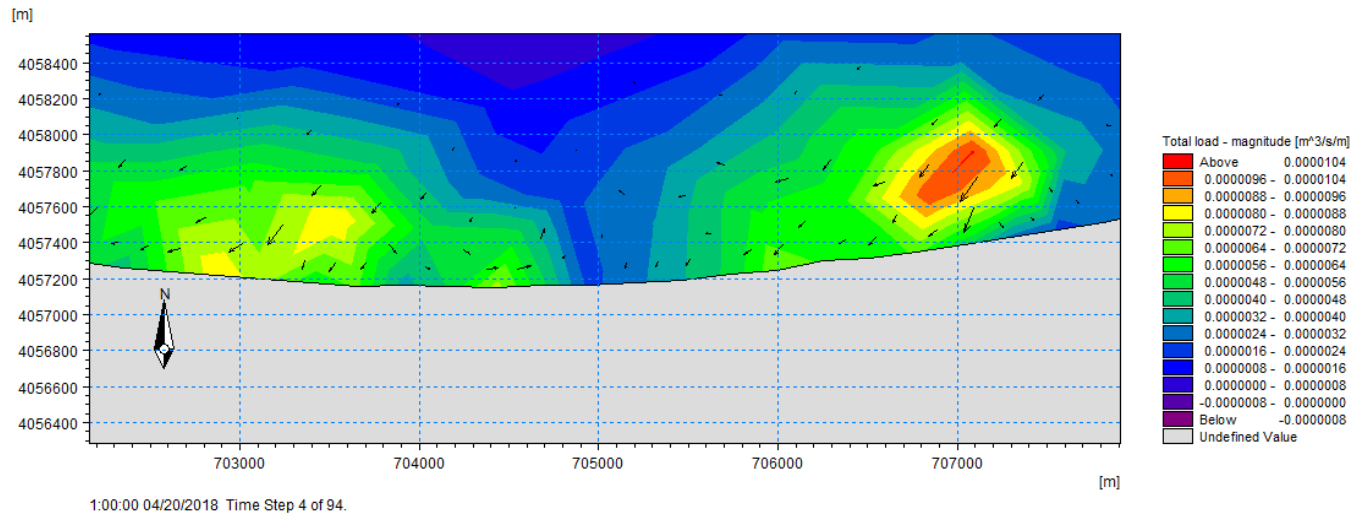
Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont de l'ordre de 3784 m<sup>3</sup>/an/m au voisinage d'Oued Soummam et il diminue en allant vers l'Est (2800 m<sup>3</sup>/an/m) par le fait de la nature de la région (falaise et un nombre moins important de source de sédiments)



**Figure IV.34 :** Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia (H= 3.77m ; Tp = 9s ; Dir = 45°N)



**Figure IV.35 :** Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia (H= 3.77m ; Tp = 9s ; Dir = 45°N)



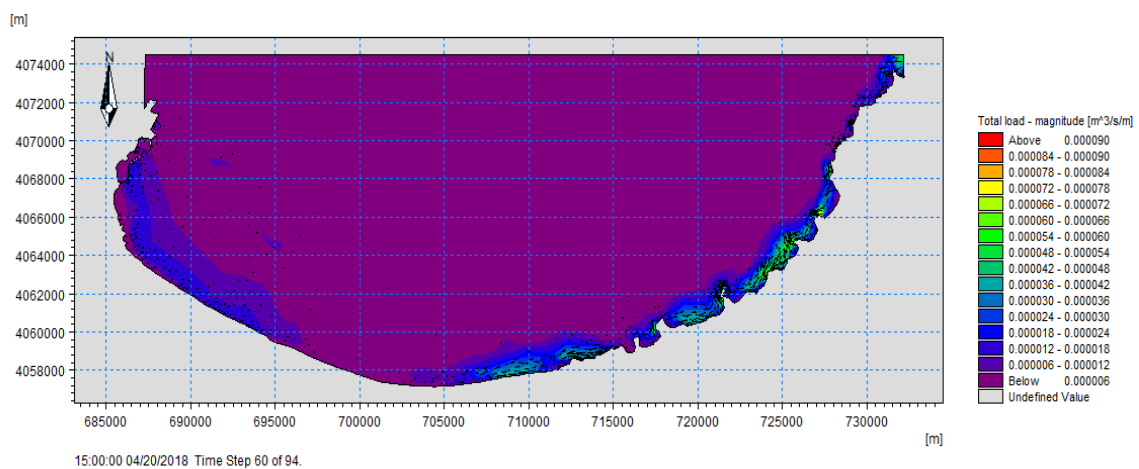
**Figure IV.36 :** Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 3.77m$  ;  $T_p = 9s$  ;  $Dir = 45^\circ N$ )

**Commentaires :**

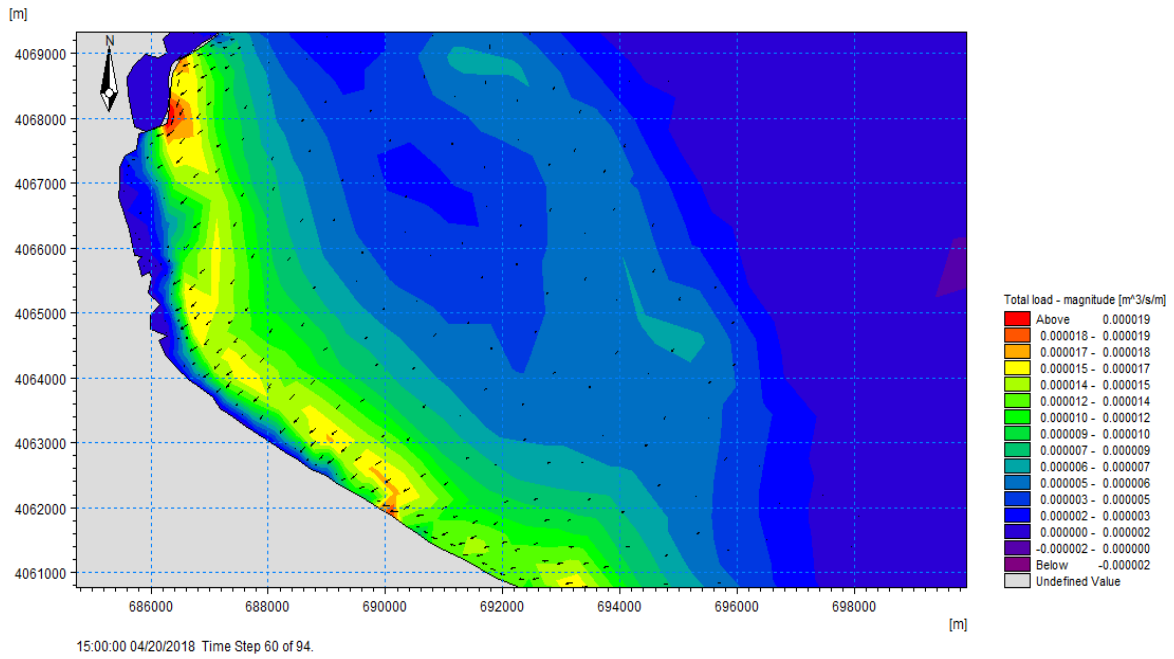
La simulation du taux du transport des sédiments non cohésifs est représentée dans les figures IV.34, 35,36. Les résultats de cette simulation montrent que le déplacement des sédiments suit le sens et l’intensité des courants, où on a un flux sédimentaire important à proximité du rivage dans la partie Ouest et centre de la baie (côte sableuse).

Un autre flux de charriage de sédiments vers le large, engendré par le courant de retour, on constate aussi que les houles de direction Nord-Est ( $45^\circ$ ) n’ont aucun impact direct sur l’ensablement du port de Béjaia.

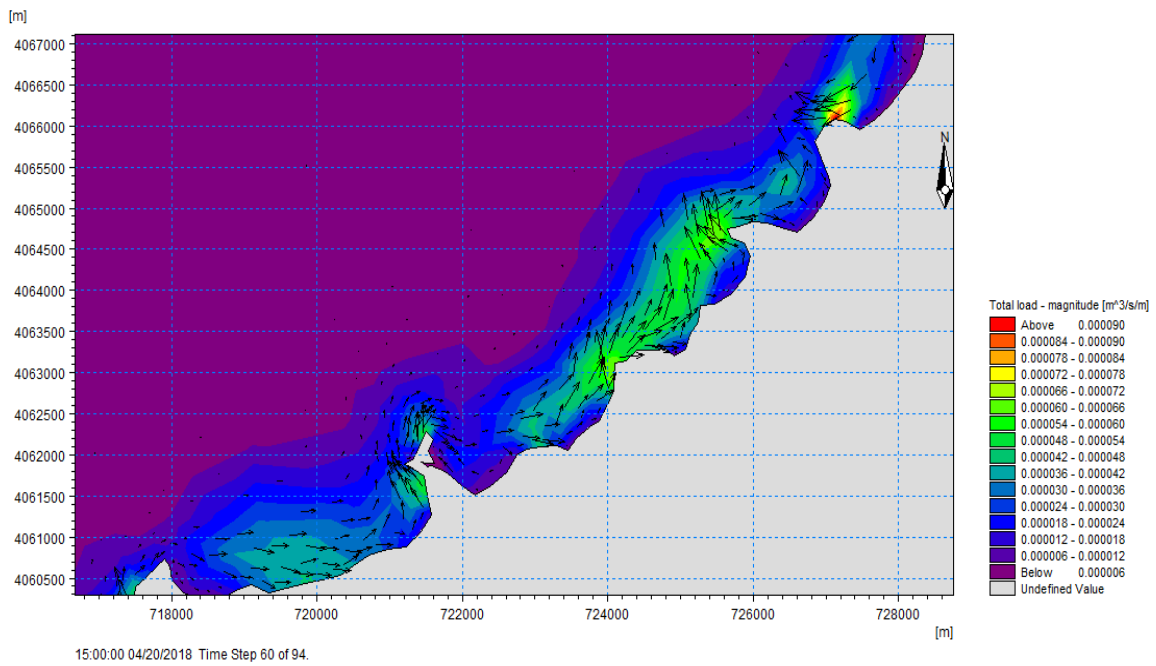
Les valeurs du flux sédimentaire au voisinage du rivage sont de l’ordre de  $1600 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$  au voisinage d’Oued Soummam et il diminue en allant vers l’Est ( $300 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ ) par le fait de la nature de la région (falaise et un nombre moins important de source de sédiments)



**Figure IV.37 :** Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 6m$  ;  $T_p = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ )



**Figure IV.38 :** Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 6m$  ;  $T_p = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ )



**Figure IV.39 :** Répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 6m$  ;  $T_p = 9s$  ;  $Dir = 315^\circ N$ )

**Commentaires :**

La simulation du taux du transport des sédiments non cohésifs est représentée dans la figure IV.37,38,39. Les résultats de cette simulation montrent que le déplacement des sédiments suit le sens et l'intensité des courants, où on a un flux sédimentaire faible à proximité du rivage dans la partie Ouest et centre de la baie (côte sableuse).

Un autre flux de sédiments parallèle à la côte dans la partie Est de la baie, on constate aussi que les houles de direction Nord-Est (315°) n'ont aucun impact direct sur l'ensablement du port de Béjaia.

**Conclusion**

L'étude sédimentaire indique l'existence d'un stock très dynamique, le mécanisme du transport responsable de la mise en place et la distribution de ce stock est principalement la houle et les courants de dérive.

La répartition des sédiments dans la baie de Béjaïa est conditionnée par l'action des houles des secteurs Nord-Ouest, Nord-Est ainsi que par celles du secteur Nord (**L.E.M**).

Les houles de l'Ouest dominantes en période hivernale (lors des prélèvements) abordent la côte avec une incidence oblique, créant un courant de dérive littorale, assurant le transit des sédiments dans la même direction.

Les houles du Nord par contre, régulières durant toute l'année, arrivent à la côte avec une incidence frontale, créant un courant de retour assurant la répartition des sédiments dans le profil.

La simulation de l'hydrodynamisme de la baie de Béjaia a montré que, cette région est exposée à un fort hydrodynamisme avec trois directions dominantes, et un bilan sédimentaire assez régulier entre la perte (le courant de charriage) et le gain (l'apport des sédiments de la part de l'oued Soummam) pour l'ensemble de la baie. Juste au côté Ouest où on remarque une érosion due à la géomorphologie de la région et à la pente qui favorise ce phénomène en plus l'emplacement du port de Béjaia est idéal (port bien abrité) avec un ensablement minime.

Chapitre V

# **Solution d'aménagement**

## Introduction

Le chapitre précédent « modélisation hydrodynamisme de la baie de Béjaia » nous a donné une vision sur l'intensité de ce phénomène naturel dans la région et les conséquences qui auront un impact sur la zone côtière ainsi ces infrastructures.

Les parties Centre et Ouest de la baie sont les plus touchées par ce phénomène d'hydrodynamisme, et parmi les conséquences observées durant les dernières années, la perte de 2 plages (Sid Ali Lebhar et Boukhelifa), le déséquilibre de la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaia, et c'est la cause de notre intervention (étude).

## I. matériels utilisés

### I.1. Autocad :

Autocad est un logiciel de dessin assisté par ordinateur (DAO), il permet la création et la gestion d'architectures (des ouvrages dans notre cas) de manière poussée, à l'aide d'imagerie en 2D ou en 3D. Ces performances permettent de développer et d'appréhender la gestion de projets industriels.

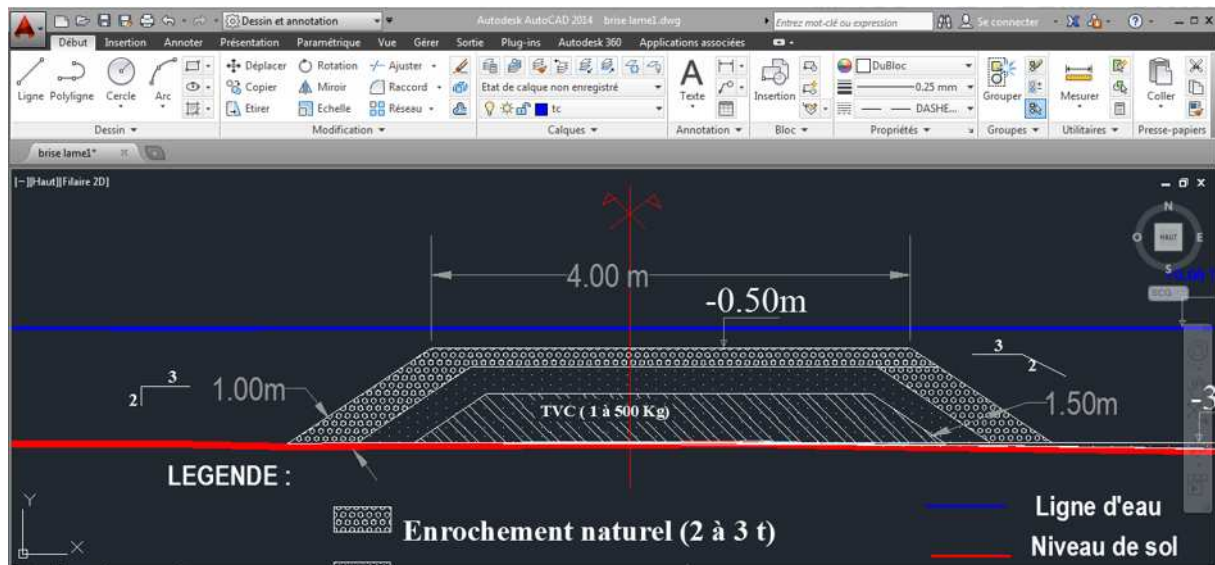


Figure V.1 : Interface d'AutoCAD

I.2. Mike 21

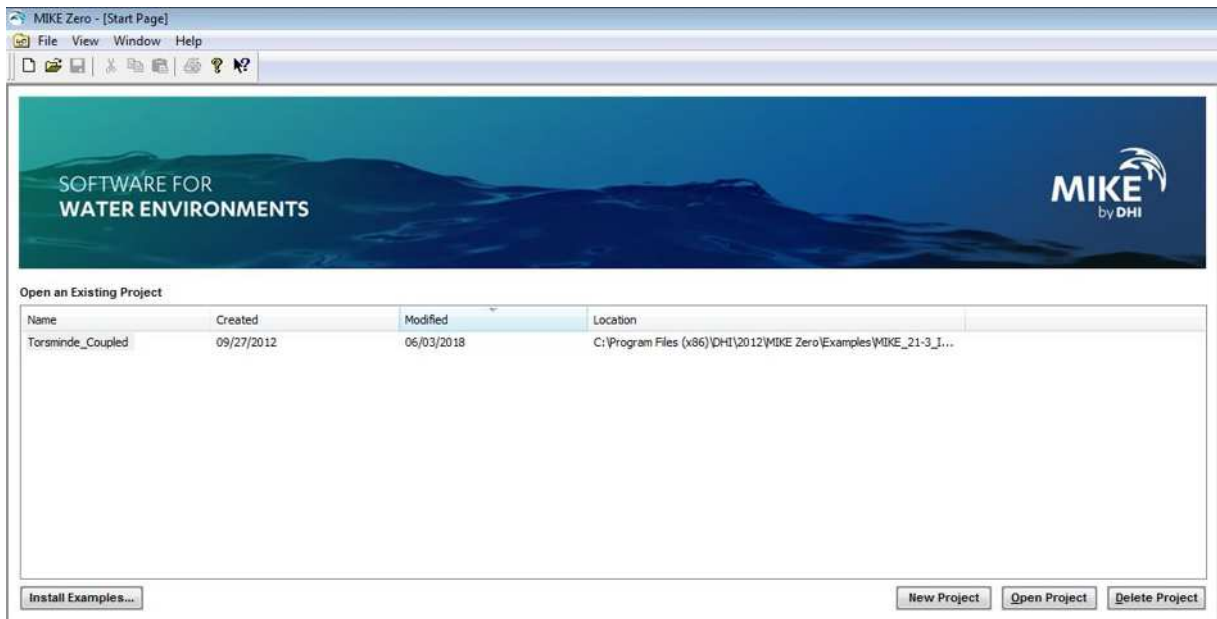


Figure V.3 : interface du Mike 21  
 Déjà développé dans le chapitre 04.

II. Méthodologie suivi :

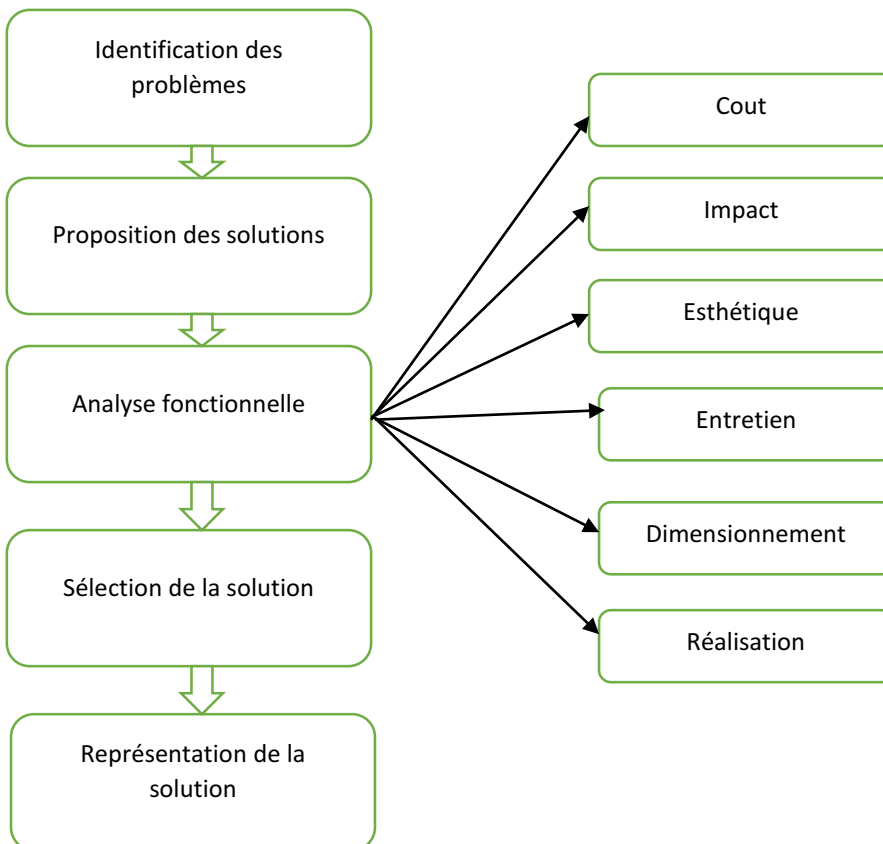


Figure V.2 : Méthodologie suivi.

### III. Proposition de variante

Pour protéger la partie la plus exposée à l'hydrodynamisme et au courant marin on a proposé les variantes suivantes :

#### III.1. Variante1 : brise lame immergé et rechargement

##### Pré dimensionnement de l'ouvrage

- **La longueur :**

$$I > 1.2(Ic + 0.3L) \Rightarrow I > 1.2(100 + 0.3 \times 48.13) \Rightarrow I > 161.32m$$

$$\text{Avec } L = \frac{gT^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 * D_p}{gT^2}\right)} = \frac{9.81 \times 9^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 \times 3}{9.81 \times 9^2}\right)} = 48.13m$$

Pour éviter la pollution, on prendra une longueur de brise lame inférieure de celle de la théorie donc  $I = 150m$

- **La hauteur :**

La hauteur du brise lame est en relation avec le franchissement souhaité, sachant que  $H_s = 2.75m$  et on est dans l'isobath  $-3m$  alors on a accepté une hauteur d'eau de  $0.5m$

Donc le **h=2.5m**

- **La largeur :**

$$K_t = -0.4 \frac{F}{H_s} + C_p \left(\frac{B}{H_s}\right)^{-0.31} \left[1 - e^{-0.5\epsilon_B}\right]$$

Avec :

$K_t$  : Le coefficient de transmission  $K_t = 0.45$

$F$  : La hauteur d'eau entre la surface et le sommet  $F = 0.5m$

$H_s$  : La hauteur significative au pied de l'ouvrage  $H_s = 2.75m$

$C_p$  : Le coefficient de perméabilité  $C_p = 0.64$  (ouvrage perméable)

$B$  : La largeur de la berme

$$\xi_B ; \text{ Nombre d'Iribarren } \xi_B = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_s}{\lambda_0}}} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{2\pi \cdot H_s}{gT^2}}} = \frac{0.66}{\sqrt{\frac{2\pi \times 2.75}{9.81 \times 9^2}}} = 4.52$$

$$\text{Donc } B = \left[ \frac{K_t + 0.4 \frac{F}{H_s}}{C_p \cdot [1 - e^{-0.5\epsilon_B}]} \right]^{\left(\frac{1}{0.31}\right)} * H_s = \left[ \frac{0.45 + 0.4 \frac{0.5}{2.75}}{0.64 [1 - e^{-0.5 \times 4.52}]} \right]^{\left(\frac{1}{0.31}\right)} = 3.7m$$

$$B_T = B + 2 * \frac{h}{\tan \alpha} = 3.70 + 2 \times \frac{2.5}{0.66} = 11.27m$$

Alors

$$B_T = 12m$$

**Dimensionnement du brise lame**

Notre choix s'est porté sur un brise lame immergé caractérisé par un musoir, carapace, un filtre et le noyau.

**Tableau V.1 : Dimensionnement du brise lame.**

| Ouvrage         | Formule  | Application  | Résultat  |
|-----------------|--|--|---|
| <b>Musoir</b>   | $W_{Musoir} = \frac{\gamma_w \cdot H_d}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot g \alpha}$ $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W_{Musoir}}{\gamma_s}}$ $E = n * K_t * D_{n50}$     | $W_{Musoir} = \frac{2.65 \times 2.54^3}{1.9 \times \left(\frac{2.65}{1.028} - 1\right)^3 \times 1.5}$ $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{3.87}{2.65}}$ $E = 2 \times 0.97 * 1.13$   | $W_{Musoir} = 3.87t$ $D_{n50} = 1.13m$ $E = 2.2m$     |
| <b>Carapace</b> | $W_{carapace} = \frac{\gamma_w \cdot H_d}{K_d \left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3 * \cot g \alpha}$ $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W_{carapace}}{\gamma_s}}$ $E = n * K_t * D_{n50}$ | $W_{carapace} = \frac{2.65 \times 2.54^3}{2.4 \times \left(\frac{2.65}{1.028} - 1\right)^3 \times 1.5}$ $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{3.07}{2.65}}$ $E = 2 \times 0.97 * 1.05$ | $W_{carapace} = 3.07t$ $D_{n50} = 1.05m$ $E = 2.037m$ |
| <b>Filtre</b>   | $W_{Filtre} = \frac{1}{10} W_{carapace}$   | $W_{Filtre} = \frac{1}{10} \times 3.07$  | $W_{Filtre} = 307kg$                                  |

|                 |  |  |                               |
|-----------------|--|--|-------------------------------|
|                 | $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{W_{butée}}{\gamma_r}}$ $E = n * K_t * D_{n50}$ | $D_{n50} = \sqrt[3]{\frac{0.307}{2.65}}$ $E = 2 \times 0.97 \times 0.48$ | $D_{n50} = 0.48m$ $E = 0.93m$ |
| <b>Le noyau</b> | $W_{Noyau} = \frac{1}{200} W_{carapace}$                                 | $W_{Noyau} = \frac{1}{200} \times 3.07$                                  | $W_{Noyau} = 15kg$            |

Le déversement sur le rivage de quantités importantes de sédiments provenant de carrières de prélèvement situées en mer ou sur terre, ou de déblais de construction, permet de stabiliser ou d'agrandir une plage menacée d'érosion ou de créer une nouvelle plage (**Ramoge,2002**)

**Dimensionnement du rechargement :**

Largeur de la berme

$$b = 0.5 \frac{d}{m} = 5m$$

Le volume de rechargement

$$R_A = \frac{\sigma_b}{\sigma_n} e^{-\left(\frac{(\mu_n - \mu_b)^2}{2(\sigma_n^2 - \sigma_b^2)}\right)} = \frac{2.15}{1.86} e^{-\left(\frac{(1.8-2)^2}{2(1.86^2 - 2.15^2)}\right)} = 1.15$$

$$V_{theorique} = (13724 - 9765) \times 1.15 = 4642m^3$$

$$\text{On a } \sigma_b > \sigma_n \Rightarrow V = 1.5 * V_{theorique} = 1.5 \times 4642 = 7000m^3$$

La pente de la plage est de l'ordre de 2%.L'objectif est celui de couvrir toute la plage sur 425 ml, jusqu'à une profondeur de 0.5m, nécessitant un volume de rechargement estimé à 7000m3. A l'aide des ouvrages proposés et des mouvements de la mer, le sable va être redistribué sur toute la zone à protéger, c'est protection à long terme.

Le profil à donner aux plages dépend des matériaux d'apports pour notre cas le rechargement de plage est applicable en choisissant un sédiment suffisamment grossier ou du concassé de carrière de 2 mm

On prend 4m² pour chaque individu donc la superficie aménagées répondraient a l'achalandage de 3400 baigneurs alors qu'elle suffisait à 2400 seulement.

L'estimation du rechargement (volume approximative) a été confirmée par un calcul de la superficie obtenue par l'Autocad.

#### **Cout de réalisation du brise-lame et du rechargement :**

L'estimation des couts de la réalisation des différentes variantes est basée sur des prix unitaires donnés par **LEM**, ces couts sont détaillés en Annexe

Montant total TTC : **180 millions DA**

#### **Réalisation :**

- La réalisation du brise lame se fait par succession de travaux : préparation du fond, mettre en place le tout-venant puis la butée en suite le filtre en fin la carapace.
- Le rechargement a un intérêt, c'est de recharger la zone érodée pour élargir le haut estran afin de créer une plage, dont la manière la plus utilisé c'est de déposer des quantités suffisant du sable et la mer fait son travail de tel façon que le  
 $D(\text{apport}) > D(1.8\text{mm})$ .

#### **Impact :**

La construction d'un brise-lames déplace l'équilibre du trait de côte. Son impact sur l'évolution de la ligne de rivage est essentiellement gouverné par l'accélération locale qu'il produit sur le transport sédimentaire longitudinal, et dans une moindre mesure par le transport solide dans le profil. Par contre le rechargement a des effets positifs sur la zone ciblée (reconstitution de la plage).

#### **Esthétique :**

La variante garde l'esthétique de la zone tellement le brise lame est immergé en plus le rechargement aide à la reprofilation de la plage.

Représentation de la solutions :

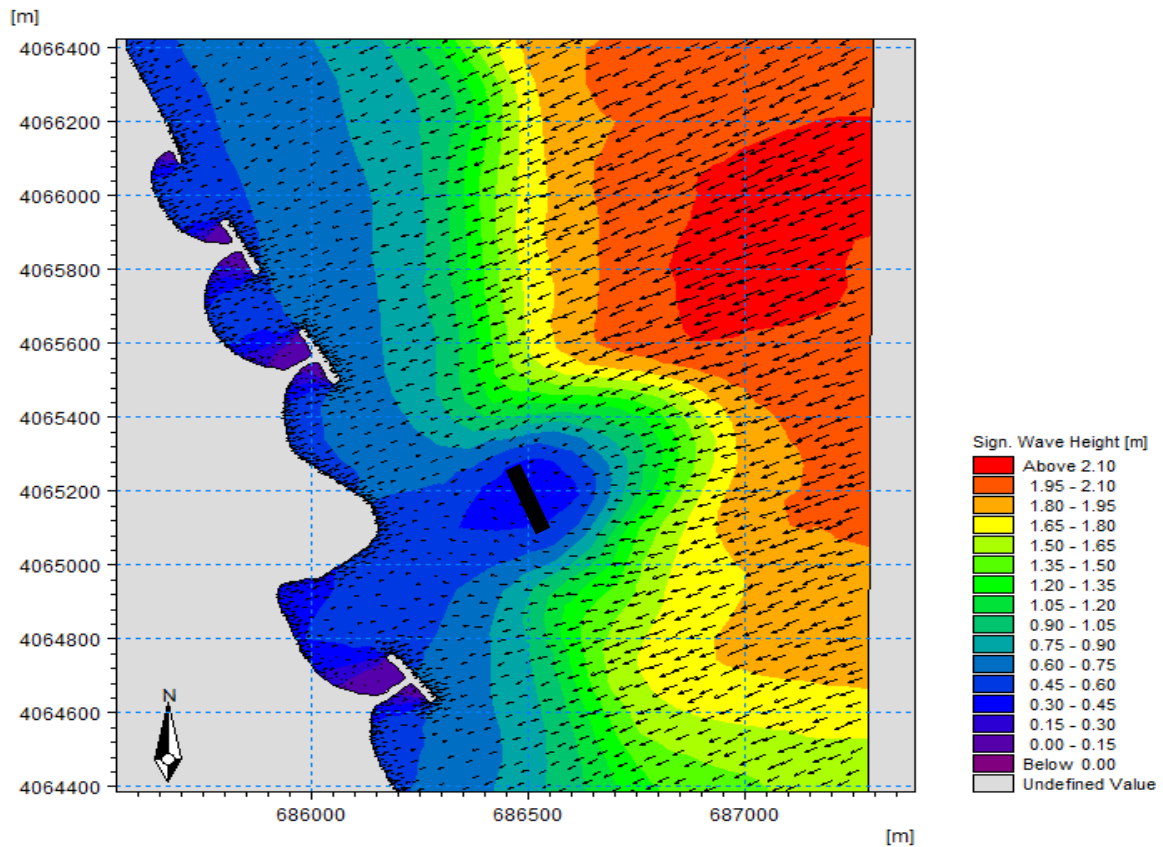


Figure V.4 : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 01 (direction Nord)

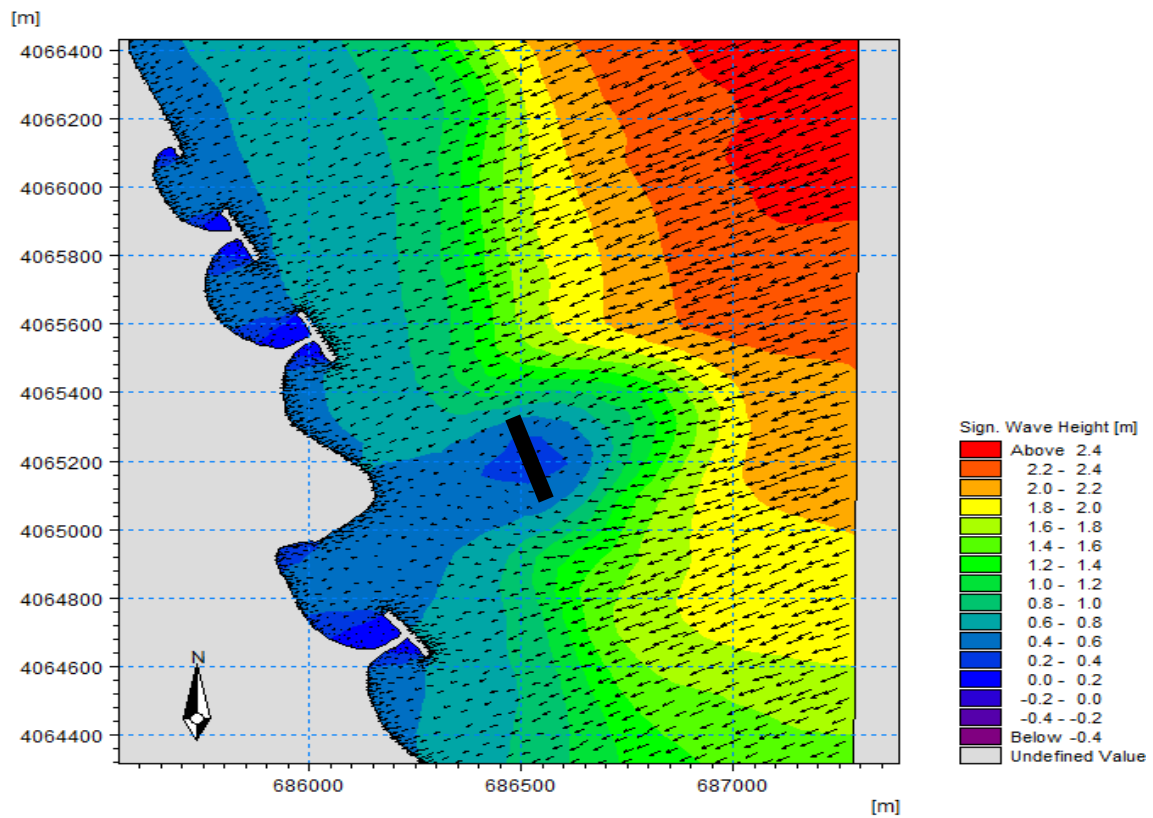


Figure V.5 : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 01 (direction Nord Est)

Les représentations des variantes sur AutoCad ci-dessous, sont exagérées 3 fois pour une vision meilleure.(voir les plans).

### III.2. Variante2 :Brise-lames immergés en géotube + stabi-plage

#### Dimensionnement

##### 1-Géotube :

- La distance du géotube par rapport à la cote :

$$D = \frac{L}{2} \quad (\text{W. Pilarczyk, 2000}), \text{ Avec :}$$

**L** : La longueur d'onde au large  $L = \frac{gT^2}{2\pi} = 126.53m$

$$D = 65m$$

À 63m de distance de la côte, la profondeur est :  $d = -2.5m$  et à cette profondeur, on a  $H_s$  est en moyenne 2.5m, donc on a choisi un tube de 2m de diamètre.

- La longueur du géotube ( $I_g$ ) :

La longueur du géotube est en relation direct avec la longueur d'onde, on a :

- Au pied de l'ouvrage :

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 * D_p}{gT^2}\right)} = \frac{9.81 \times 9^2}{2\pi} * \sqrt{\tanh\left(\frac{4\pi^2 \times 2.5}{9.81 \times 9^2}\right)} = 44.45m$$

$$I_g > 1.2(I_c + 0.3L) \Rightarrow I > 1.2(68 + 0.3 \times 44.45) \Rightarrow I > 97.60m$$

Les géotubes sont placés à une distance de 100m par rapport à la cote.

##### - La hauteur :

Pour un bon fonctionnement de l'ouvrage on opte pour une hauteur de 2m afin que la hauteur d'eau doive 0.5m

##### - La largeur du géotube :

D'après le tableau des caractéristique géosynthétique en fonction de leurs paramètres (LEM, 2012) (voir annexe) :

La largeur est de  $B_g = 3.5m$

- **La stabilité de géotube :**

Pour une bonne stabilité le rapport  $\frac{H_s}{\Delta.Bg}$  doit être inférieur à 1

$$\frac{H_s}{\Delta.Bg} < 1 \Rightarrow \frac{2.5}{\left(\frac{2.65 - 1.028}{1.028}\right) * 3.5} = 0.45 < 1$$

Donc on dire que notre géotube est stable

D'après le dimensionnement on a les caractéristiques suivantes :

- Une distance à la côte d'environ 65m
- Une longueur de 100m (02 géotubes de 50m)
- Une profondeur moyenne d'implantation de -2.5.
- Une cote d'arase de -0,5m NGA par rapport au niveau de la mer ;
- Une largeur en crête de 10.5m ;
- Une pente de 3/2 à l'extrémité.

**2-Stabi-plage :**

Le dimensionnement de ce type d'ouvrage varie en fonction de la plage et de son profil, donc pour notre cas, on a opté pour la mise en place de trois géotubes de longueur qui varie entre 13 et 21 m, ils seront ancrés à 1.2 m au-dessous du niveau de la plage.

La longueur des géotubes est adaptée à la largeur de la plage existante .l'espacement entre les géotubes est déterminé de manière à favoriser le maintien des matériaux de rechargement.

D'après le dimensionnement on a les caractéristiques suivantes :

- Une profondeur d'ancrage : 1.2m
- Une hauteur de 1m. (Annexe 5)
- Une largeur maximale de 2m (Annexe 5)
- Un filtre perméable en géotextile et d'une carapace polyester perméable résistante aux UV et a l'abrasion.

**Cout de réalisation :**

- **Géotube immergé :**

Montant total TTC (**168 millions de dinars**)

- **Stabiilage :**

Montant total TTC (**115 millions de dinars**)

Pour plus de détails (voir annexe).

- **Total : 283 millions de dinars**

**Réalisation :**

Ces travaux consistent à installer des 3 épis en géotextile de 13 et 21 m de longueur espacé de 100m Le géotextile est en polypropylène avec double enveloppe capable de résister aux UV et à la houle. Le remplissage s'est fait à terre avec un sable de 2 mm.



**Figure V.9 :** Vue des stabiilages transverses sur une plage sableuse

**Impact :**

L'utilisation des géotextiles pour la protection du littoral suit les techniques déjà mise en place pour les protections classiques en enrochements (brise-lames, épis, perrés). Considérée comme une solution légère, économique et réversible (**Koffler et al., 2009**)

**Esthétique :**

On observe actuellement une augmentation sensible à l'échelon national et international des ouvrages de protection contre l'érosion marine ayant un caractère de "réversibilité".

Représentation de la solutions :

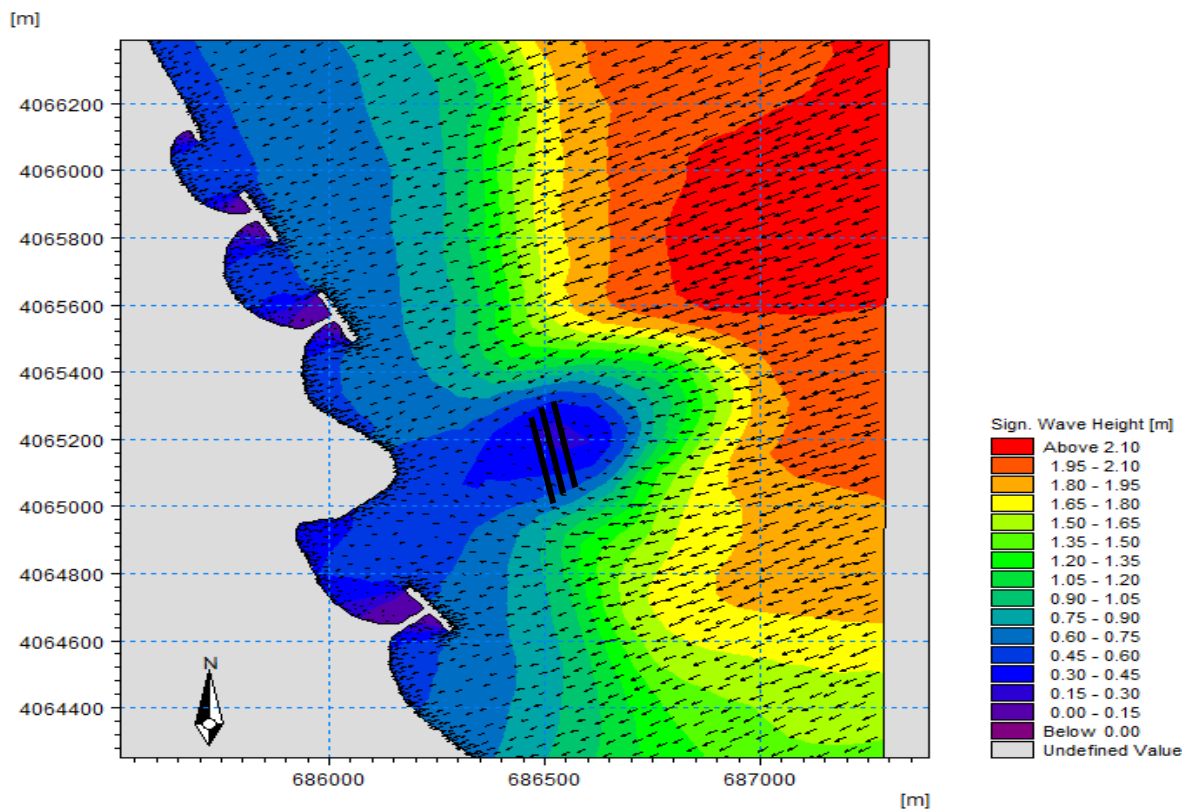


Figure V.10 : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 02 (direction Nord)

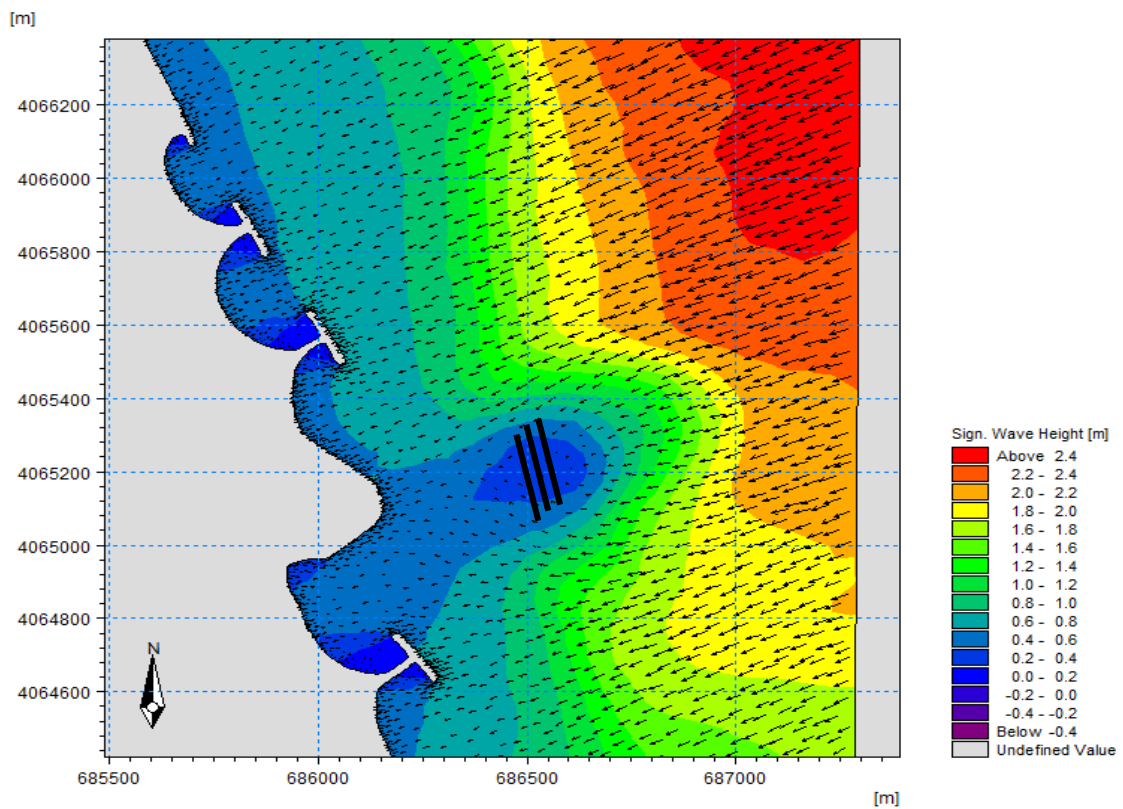


Figure V.11 : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 02 (direction Nord Est)

### III.3. Variante3 : récif artificiel + brise-vent

#### Dimensionnement :

##### a-Brise-vent :

Les brises vents ont les caractéristiques suivantes : une longueur de 3-4m enfonce dans le sable presque en moitié avec un diamètre de 5cm chacune avec un intercale d'un pieux de grande taille chaque 4m et de diamètre de 20 cm.

D'après notre zone on a : 465 m linaires de brise vent pour la plage de SidAli Lebhar.

##### b-Récif artificiel :

Ces récifs artificiels sont de forme trapézoïdale de type enrochement naturel qui a pour but de dissiper une partie de la houle qui frappe la piste d'atterrissage provenant du secteur Nord et Nord-Est, il se caractérise par :

- Une distance à la côte d'environ 100m ;
- Une longueur de 150 ml ;
- Une profondeur moyenne d'implantation de -3m de profondeur, qui correspond à une hauteur significative de la houle est 2.75m.
- Une cote d'arase de -0,5m NGA par rapport au niveau de la mer ;
- Une largeur en crête de 12m ;
- Une pente de 3/2 à l'extrémité ;
- Une seule catégorie d'enrochement (0,5- 1t) posée directement sur le fond.

#### Cout de réalisation :

- L'estimation du cout du brise vent est basé sur la longueur de la plage à proteger :

D'apres **Marobine. D (2009)**,Le cout est estimé : 3000DA/ml (20€/ml), et on a 465km de plage

Le cout de la variante

Montant total TTC : **100 millions DA**

**Réalisation :****a-Brise vent :**

Le brise vent est un dispositif en bois enfoncé dans le sable afin de capter le sable transporté par le vent, le dispositif comprend des rangées parallèles au trait de côte. On peut implanter de la végétation pour un bon fonctionnement du dispositif dont on peut citer oyat.

**b-Récif**

Différents types peuvent être imaginées pour réduire les nuisances liées à l'hydrodynamisme dans la bande côtière.

L'objectif est d'implanter un ensemble de récifs qui soit suffisamment opérationnel pour détourner l'hydrodynamisme de ces zones littorales. Le principe de base est de constituer des obstacles physiques, par une action mécanique, en disposant les modules un à un en ligne.

**Impact :**

- Le but d'implantation des récifs c'est d'occuper le maximum d'espace et de former une véritable barrière contre l'hydrodynamisme et de protéger les infrastructures (piste d'atterrissage), en plus est milieu favorable pour le développement de la biodiversité.
- Les brises vents ont un but d'alimenter la plage en sédiment.

**Esthétique :**

Les récifs artificiels sont immergés, donc ils n'auront pas de nuisance par rapport à l'esthétique. Par contre les brises vents peuvent être intégrées avec l'esthétique de la zone en les peignant avec une couleur harmonisée avec le site.

Représentation de la solutions :

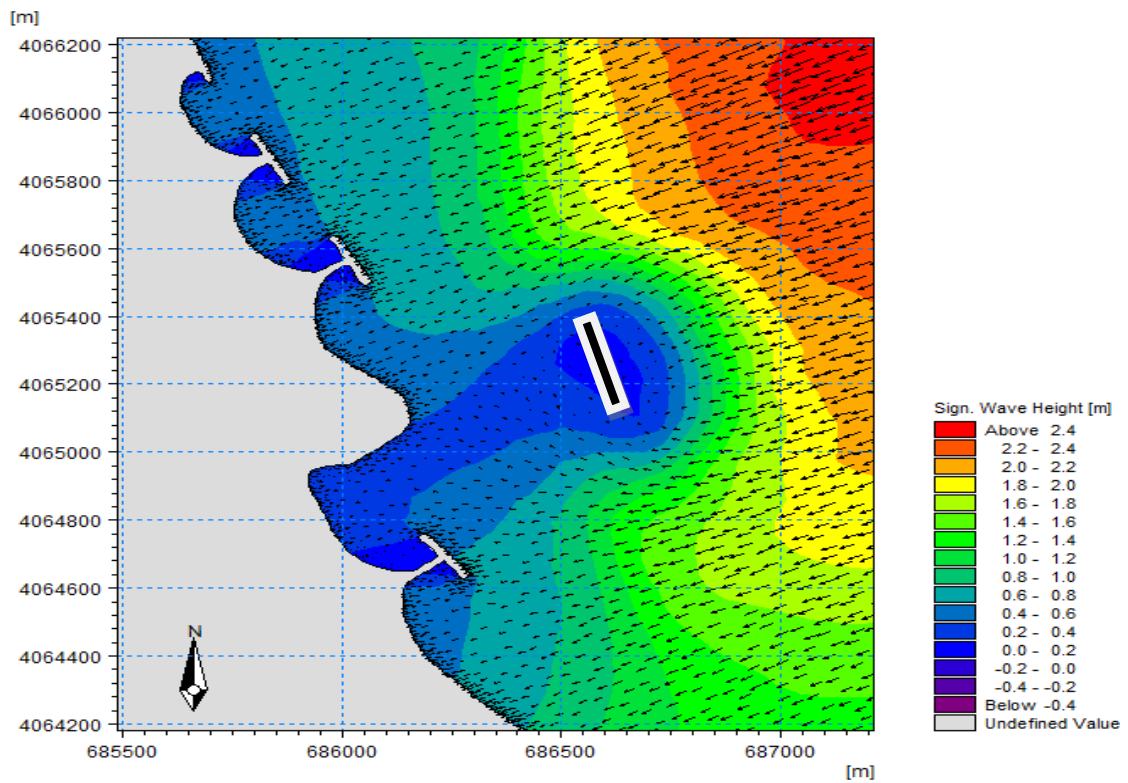


Figure V.15 : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 03 (direction Nord Est)

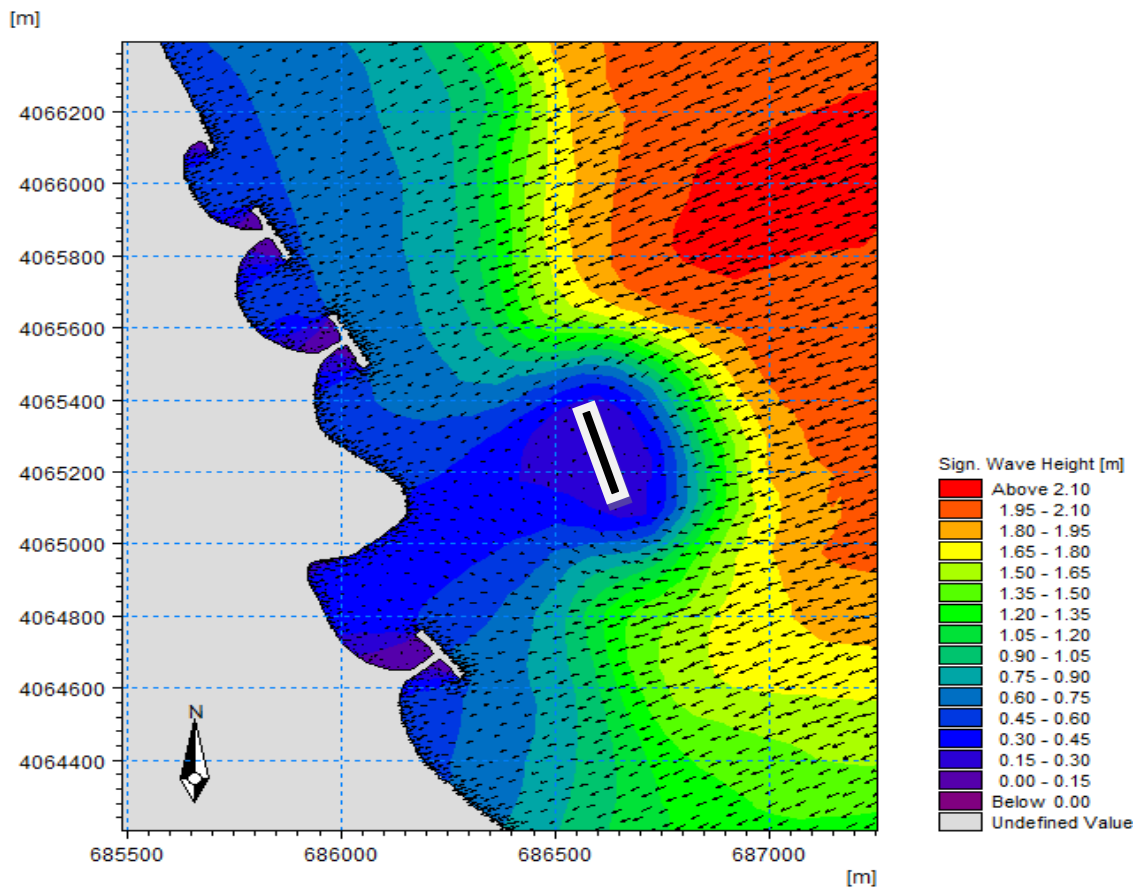


Figure V.16 : Simulation de l'hydrodynamisme de la variante 03 (direction Nord)

**Entretien des variantes :**

L'entretien des ouvrage maritime consiste à l'établissement d'un diagnostic sur l'état de l'ouvrage, le nettoyage, la protection des fondations par des enrochements, réparer les déchirures et à poser de nouveaux tubes sur ceux existants pour surélever l'ouvrage et le traitement des enrochements ou géotextile et même les brises vent et les récifs.

**IV. Comparaison des variantes :****Tableau V.2 :** comparaison des variantes proposées.

| <b>Variante/critères</b>                   | <b>Variante 1</b>  | <b>Variante 2</b> | <b>Variante 3</b> |
|--|--|-------------------|-------------------|
| <b>Réalisation (délai, difficultés...)</b> | <b>0</b>   | <b>0</b>          | <b>1</b>          |
| <b>Cout de réalisation</b>                 | <b>1</b>   | <b>0</b>          | <b>2</b>          |
| <b>Entretien</b>                           | <b>1</b>   | <b>2</b>          | <b>1</b>          |
| <b>Impact</b>                              | <b>1</b>   | <b>2</b>          | <b>2</b>          |
| <b>Esthétique</b>                          | <b>2</b>   | <b>2</b>          | <b>2</b>          |
| <b>Total</b>                               | <b>5</b>   | <b>6</b>          | <b>8</b>          |
| <b>Echelle</b>                             | <b>0 : défavorable    1 : peu favorable    2 : favorable</b> |                   |                   |

**Conclusion**

Dans ce chapitre on a essayé de modéliser l'action de l'hydrodynamique et son impact sur la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaia et sur la plage de SidAli Lebhar, pour cela on a proposé 03 solutions d'aménagement.

Après l'étude comparative, il ressort que la variante 03 est la plus recommandée et la plus avantageuse.

# **Conclusion générale**

### Conclusion

Notre travail est le fruit de plusieurs jours sur le terrain avec les manipulations sur des différents instruments et l'utilisation des données acquises pendant notre stage du PFE qui a duré presque deux mois au sein du CNL de Béjaia , ou on a pu avoir des réponses à nos questions qui étaient à la fois sombres et complexes au début de notre étude.

La première partie consistait à faire une étude hydrogéologique et à déterminer les caractéristiques hydrographiques de la Soummam où on a déterminé la forme du bassin versant qui est étalé avec un réseau hydrographique très important ce qui favorise les crues.

Pour cela on a fait des simulations des phénomènes d'inondation (crue), et aussi celui de l'élévation du niveau de la mer à l'heure prête pour monétiser les conséquences et les pertes matérielles, définir les zones à risques et enfin mettre un plan de gestion.

La seconde partie consistait à établir une étude bathy-sédimentaire et hydrodynamique où on a eu les données nécessaires pour établir la carte bathymétrique de la baie de Béjaia et l'évolution morphologique côtière, et aussi on a touché à l'aspect sédimentaire, où on a eu une distribution conditionnée par l'action des houles dominantes (Nord-Ouest, Nord et Nord-Est).

Ensuit l'utilisation des études précédentes dans la modélisation hydrodynamique et interprétation des résultats de plusieurs phénomènes tel que le transport sédimentaire qui se manifeste aux alentours du rivage Ouest et centre de la baie par la présence de la dérive littorale et un courant de retour qui favorise un charriage des sédiments vers le large.

Vu que la baie de Béjaia est exposée à un fort hydrodynamisme avec trois directions dominantes ce qui menace l'évolution morphodynamique du rivage ainsi les infrastructures plantées à ce niveau.

Enfin, pour réduire ces risques , il fallait proposer des solutions d'aménagement pour bien protéger notre zone, on a choisi 3 variantes et après l'étude qualitative, la modélisation des solutions et la représentation, s'est avéré que le récif artificiel et l'installation des brise-vent étaient les plus adéquats pour protéger la piste d'atterrissage de l'aéroport de Béjaia et la plage de SidAli Lebhar.

# **Bibliographie**

## Bibliographie

- AMARNIA-LAHLAH, Z. (2009).** « Le Port de Béjaïa Une vision, une évolution... », Qualité environnement : rapport environnement Béjaïa 2007 2008. pdf/www.mipi.dz/file/fr/EPBÉJAÏA . PDF (09-02-2009) p48 annuaire statistique de la wilaya de Béjaïa , 12p.
- AOUDJ, C., BOUAZIZ, T. (2014).** Fonctionnement et dynamique morpho-sédimentaire du littoral Est de Béjaïa. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p. 81-95
- ASTIER, J. (2014).** Morphodynamique de la zone « swach » : etude en canal a houle par une methode de stereoscopie optique. Toulouse :s.n
- BELLAHBIB, N., ET AL. (2015).** Etude granulométrique et minéralogique des sédiments superficiels du littoral de Saïda et de l'estuaire de la Moulouya (nord-est du Maroc). LARHYSS Journal ISSN 1112-3680 24: 19-40
- BENHAMICHE, N. (1997).** Modélisation de la relation pluie- relief en vue de la cartographie par kriageage : cas du bassin versant de la Soummam. Thèse de magister en sciences Agr. Spelt hydrologie. INA El Harrach. 180p
- BENNABI, M. (1985).** Contribution à l'étude hydrogéologique de la vallée d'oued Sahel-Soummam (Algérie). Thèse doctorat en géologie appliquée. Option hydrogéologie. Univ. Scientifique et Médicale de Grenoble.156p.
- BENNIS, S. (2007).** Hydraulique et hydrologie.2° éd. UNIV Québec
- BERKENNOU, N., SALLAYE, M. (2012).** Etude de protection du rivage du complexe culturel de Chenoua. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, p. 5-15
- BERNATCHEZ, P., FRASER C., S. FRIESINGER, JOLIVET Y., DUGAS S., DREJZA, S. ET MORISSETTE, A. (2008).** Sensibilité des côtes et vulnérabilité des communautés du golfe du Saint-Laurent aux impacts des changements climatiques. Rimouski, Chaire de recherche en géoscience côtière - Laboratoire de dynamique et de gestion intégrée des zones côtières - Université du Québec à Rimouski, 256
- BIRD, E. C. F. (1985).** Coastline changes: a global review. Chichester: John Wiley, 219 p
- BLOTT, S. AND PYE, K. (2008).** Particle shape: a review and new methods of characterization and classification. Sedimentology. Vol. 55, pp. 31-63
- BOEGLIN, J. (2000).** Contrôle des eaux douces et de consommation humaine. Ed. Techniques de l'ingénieur.24 p
- BONNEFILLE, R. (1992).** Cours d'hydraulique maritime. France : Masson, 208 p
- BOUBEKER, (2017).** Inventaire et géolocalisation de quelques sources karstiques de la région Nord-est de Béjaïa – Algérie. Université béjaïa p22.

- BOUDOUMA AMARA, Z. (2018).** Cours de Génie côtiers, 5eme année Aménagement du littoral ENSSMAL
- BOURGOU, M. et MIOSSEC, J. (2010).** Les littoraux Enjeux et dynamiques. France. PUF. 296p.
- BOUTARCHA, F., CHRIF AINOUCHE, M. (2009).** L'apport de la politique environnementale algérienne pour l'activité de la pêche : Cas de la Wilaya de Béjaïa .
- BOUTIBA, M. (2004).** Biodiversité marine et littorale algérienne. Algérie : SONATRACH, p. 14-19.
- CARTER, R.W.G. (1988).** Coastal environments. An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines. Academic Press : Oxford (London). Elsevier : Science and Technology. Livre, pp. 1 - 617.
- CHAMLEY, H. (1987).** Sédimentologie. Edit Dunod, Paris, 175 p.
- 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 Réunion, la Réunion, 193 p.
- CORLAY, (2001).** Interactions fonctionnelles et spatiales en zone côtière : réflexions pour l'analyse et la gestion, Cinquièmes Rencontres halieutiques de Rennes. ENSAR/Ifremer, pp.69-86, 2001.
- COYN ET BELIERS, (1973).** Etude de la régulation de la Soummam (étude de la d'aménagement), univ. Louis Pasteur, centre de géographie appliquée (Strons Bourg). Edition bureau d'ING. conseils-Paris, 87p.
- DAHMANA, A. (2003).** Caractérisation de la biodiversité dans la ripisylves de l'oued Soummam : Cas de la végétation et des oiseaux. Mémoire de magister en biologie de la conservation et écodéveloppement. Université de Béjaïa . 94p.
- DAHMANA, A., AZEGAGH, A., GHILAS, R., PEYRE, O. et MOALI, A. (2006).** Etude de l'herpétofaune dans la basse vallée de la Soummam (Algérie). Communication présentée lors des Rencontres Méditerranéennes d'Ecologie, Organisées les 7-9 novembre 2006 par le Laboratoire d'Ecologie et Environnement, Université de Béjaïa , 10p.
- DEMANGEOT, J. (1999).** Tropicalité. Géographie physique intertropicale
- DHI (2014).** Mike zero: Creating 2D Bathymetries. Bathymetry Editor & MeshGenerator. Denmark: Hørsholm,
- DPAT, (2012).** Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire. Contribution a t'étude Hydrogéologique de la vallée l'Oued sahel-Soummam Annuaire Statistique de la Wilaya de Béjaïa , 2012.
- DPRH, (2015).** Direction de la Pêche et des Ressources Halieutique. Annuaire statistique de la wilaya de Béjaïa 2015.P.209.
- DPSB, (2015).** Direction de la Programmation et Suivi Budgétaire. Annuaire statistique de la wilaya de Béjaïa 2015.P.8 – 12.

- DSA, (2015).** Direction des Services Agricole. Annuaire statistique de la wilaya de Béjaïa 2015.P.170.
- DUBREUIL, P. (1974).** Initiation à l'analyse hydrologique. Ed. Masson et Cie. 216 p.
- DUPLAN, (1960).** Morphologie régionale : Béjaïa , 19e congrès géologiques international. 1ère série, Algérie. 39p.
- FABBRI, (1998).** Heat transfer optimization in internally finned tubes under laminar flow conditions. Int. J. Heat and Mass Transfer, 41 (10) (1998), pp
- FAO, 2017. FAO. [En ligne]**  
Available at: [www.fao.org/forestry/icam/4302/fr](http://www.fao.org/forestry/icam/4302/fr)  
[Accès le 17 02 2018].
- FERNANDEZ, (1997).** Stratégies pour le renforcement de l'aménagement des bassins versants en zones tropicale. Xle congrès Forestier Mondial. Antalya Turquie.
- FERRMOUM, (2015).** Caractérisation des eaux superficielles de la plaine d'El Hadjar, Option : Hydrogéologie, université Badji Moukhtar-Annaba.
- FRERE G, (2002).** Caractéristiques biophysiques des bassins versants en Haïti à l'aide d'un couplage SIG/Téledétection : cas de Diricie, sous bassin versant du grand bassin versant de la rivière du Limibé. Mémoire d'ingénieur-agronome, UNIQ, Haïti, 85p
- GHOMARI, F., BENDI-OUIS, A. (2008).** Science des matériaux de construction : Rapport d'activité. Document non publié. Tlemcen : Université Aboubekr Belkaid.
- GUILCHER, A. (1974).** Précis de l'hydrologie marine et continentale .Ed Masson, Paris. 334p
- HASSISSENE, M. (1989).** Etude géologique des Djebels Aghabalou et Gouraya. Eléments occidentaux du domaine des Babors (Région de Béjaïa ), Thèse magister, U.S.T.H.B. éd. O.P.U., Alger.98p.
- HEQUETTE, A., HEMDANE, Y. et ANTHONY, E. (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, France. 24p (3), p 695– 707.
- IDER, K. (2004).** Modélisation hydrodynamique d'un cours d'eau, application à l'Oued Soummam thèse Magister en Hydraulique-Ecole nationale polytechnique-124p
- JOSEPH, V. (1999).** La situation actuelle des bassins versants d'Haiti et les différentes approches d'aménagement. Haiti Econet Edition spéciale, pp.93-101
- KHALDI, N. (2015).** Modélisation de l'hydrodynamique sédimentaire soumise à l'action de la houle et des courants : application à la côte de Sidi-Fredj. Mémoire d'ingénieur. Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL, 135 p.
- KOFFLER ET AL, (2009).** Un atténuateur de houles en tube géosynthétique pour limiter l'érosion de la plage de la Capte à Hyères. Rencontres géosynthétiques 2009

**LABORATOIRE DE TECHNOLOGIE DES MATERIAUX ET DE GENIE DES PROCEDES , (2009).** Etude et caractérisation physico-chimique des eaux de l'oued Soummam (Algérie). Sécheresse, 20(4), p. 362.

**LECLAIRE, L. (1972).** La sédimentologie holocène sur le versant méridional au bassin Algero-Baléares (pré-continent Algérien). Mémoire Museum Histoire Naturelle. Paris série C tome 24. 391p.

**LEONE, MESCHINET DE RICHEMOND ET VINET, (2010).** Caractérisation des vulnérabilités aux catastrophes « naturelles » : contribution à une évaluation géographique multirisque (mouvements de terrain, séismes, tsunamis, éruptions volcaniques, cyclones). Ed. Edilivre Universitaire Collection, 336 p..

**LEVEQUE, C. (1984).** Note de lecture : Ramade, F., éléments d'écologie : écologie fondamentale. Revue d'Hydrobiologie Tropicale, 17 (1), 85. ISSN 0240-8783.

**LEYNAUD, G. (1968).** Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, 224-881.

**LOSSON, B., ET CORBONNOIS, J. (2006).** Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. GeologicaBelgica, Belgique, 9p, p 257-265.

**MAGNY, E. (1991).** Ressources Naturelles, Environnement : une nouvelle approche. Henri Deschamps, Haïti

**MARINE, D. (2014).** Dynamique sédimentaire en zone côtière dans le cas de sédiments hétérogènes : application au domaine côtier haut-normand. Thèse Doctorat en science pour l'ingénieur. Spécialité mécanique. Université du Havre. 47p.

**MAZA, M., HAMDY L. ET SAOU H. (2008) .** Présentation de la géologie de la basse Soummam, recueil du séminaire international Béjaïa -Rouen, contribution à la connaissance de la ressource en eau du bassin versant de la Soummam, université de Béjaïa ,26,27et 28 Octobre 2008, 250p.

**MEZHOUD ET AL, (2017).** Conséquences de l'implantation des ouvrages de protection sur la frange côtière de Bordj El Kiffan (Algérie)

**MEZOUAR, K. (2009).** Etude comparative entre les méthodes de protection des deux littoraux algérien et roumain. Thèse de doctorat. Géotechnique et fondation. Roumanie : Université Technique de Construction de Bucarest, 404 p.

**MILLA, T. (1998) .** Contribution à l'étude des peuplements macrobentique de substrat meuble du port de Béjaïa . Ingénieur de biologie, spécialité aquaculture, option benthos, U.S.T.H.B (Alger), 76p

**MILLOT, C. (1987).** Circulation in the Western Méditerranéen sea. Oceanology. Acta, Vol 10 (2) : 143-148

- MONBARON, M. (1993).** La géomorphologie, élément indispensable dans toute étude d'impact sur l'environnement, UKPIK, Cahiers de l'Institut de Géographie de l'Université de Fribourg, 9, p113-130.
- MUSY, A. (2005).** Cours d'hydrologie générale chapitre 01 et 02
- ORGM, (1999).** Office National de Recherche Géologiques et Minière. Livret de la substance utile non métallique de l'Algérie, édition de service géologique de l'Algérie Boumerdes .p.5, 6.
- PASKOFF, R. (1993).** Les littoraux, impact des aménagements sur leur évolution. 2éme Ed Masson
- PASKOFF, R. (1998).** Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution.3 éd. Physical processes. Journal of Hydraulic Research .p .727-740.
- RAMADE, F. (2000).** Dictionnaire encyclopédique de pollution. Les polluent de l'environnement a l'homme. Ed. Ediscience international.Paris.690p
- RAMADE, F. (2011).** Introduction à l'écochimie, les substances chimique et l'écosphère a l'Homme édition. Lavoisire. Paris.
- RAMOGE, (2002).** La défense des plages contre l'érosion. Ramoge, p9-10.
- REFES, W. (2011).** Contribution à la connaissance de la biodiversité des fonds chalutables de la côte algérienne : les peuplements ichtyologiques des fonds chalutables du secteur oriental de la côte algérienne. Thèse de doctorat. Science de la mer. Algérie : Université badji mokhtar, Annaba. 280 p.
- RENARD, F. (2002).** Cours hydrogéologie, France: UJF Grenoble.
- ROOSE, E. (1996).** Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. Bull Réseau Erosion, 16, pp 87-97.
- SAOU, A. (2013).** Hydrogéochimie des eaux de la vallée de la basse Soummam Béjaïa Algérie. Th. DOCT, Université A. Mira Béjaïa . P.136
- SELTZER, P., LASSERRE, A., GRANDJEAN, A., AUBERTY, R. (1946).** Le climat de l'Algérie. (Travaux de l'Institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie). Alger : Imprimerie « La Typo-litho » & J. Carbonel, 1946. 1 vol. (XXIII-219 p.) : ill. en noir, cartes, tab. ; 32 cm + 1 carte pluviométrique de l'Algérie.
- SHENG, T. (1977).** Protection des versants cultivés.Aménagement des terrasses sur des versants abrupts en région humide. In ``FAO'' ; Aménagement des bassins versants, 20p.
- SOGREAH, (2010).** Schéma d'orientations pour une utilisation raisonnée et solidaire de la ressource en eau - Rapport de diagnostic, version 2.1b de septembre 2010, 197 p.
- SONMB, (2013).** Station Office National Météorologique de Béjaïa . La répartition des précipitations moyennes mensuelles en mm période 1978 - 2012.p.3.

**SSMO, (1970).** Summary of Synoptic Meteorological Observations. U.S Naval Weather Service Command. Mediterranean marine, Volume 2, October 1970, 632p.

**THIBAUT, S. (2011).** Bassin versant. Encyclopédie de l'hydrologie urbaine et de l'assainissement, Lavoisier. 56p

**TRENTESAUX, A. (2005).** Enregistrement de processus sédimentaires pléistocènes Exemples de plates-formes détritiques et de bassins profonds Mer du Nord et mers de Chine. Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches. Université des Sciences et Technologies de Lille. Lille. 82p.

**ULYSSE, B. (2008).** Contribution à l'élaboration d'un plan d'aménagement du bassin versant de la rivière Coupe à l'Inde. Inde: Université d'Etat d'Haïti, Faculté d'Agronomie et de Médecine Vétérinaire (FAMV).

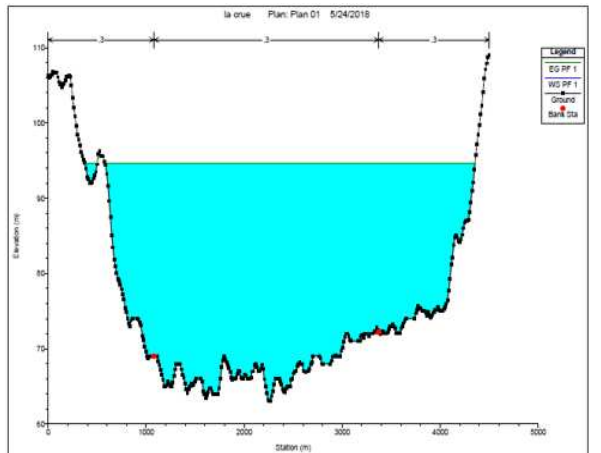
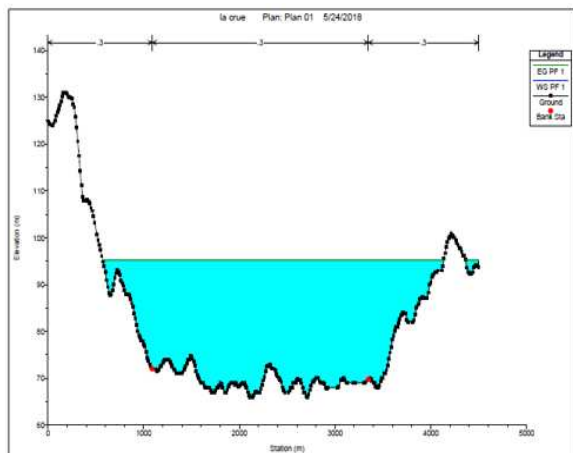
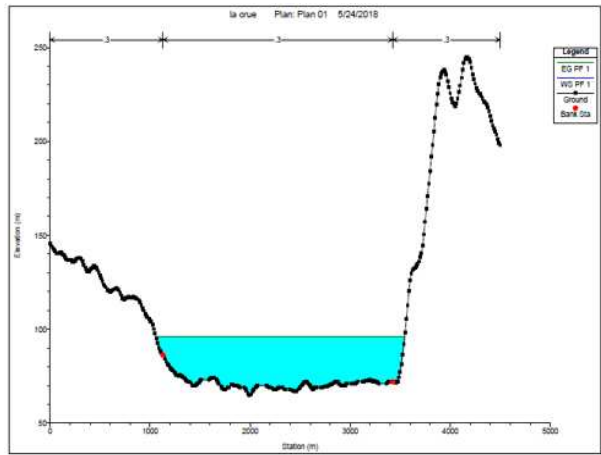
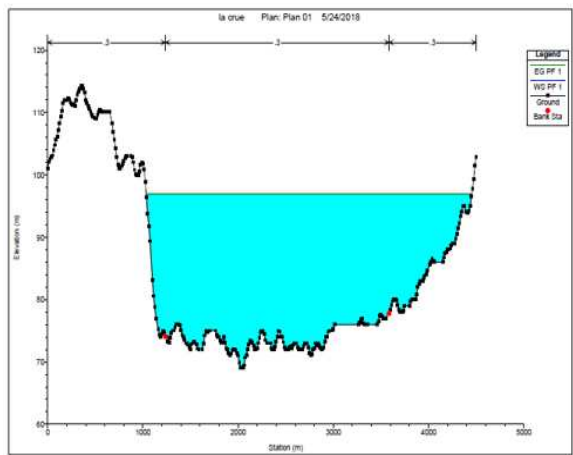
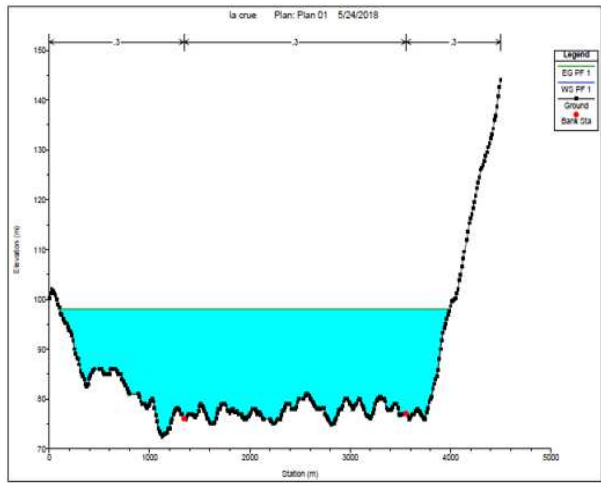
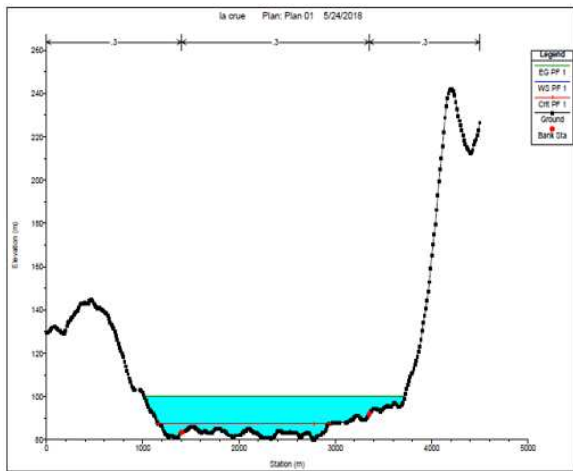
**VIZITERV, G. (1987).** Etude d'approvisionnement en eau potable et industrielle des agglomérations du couloir Akbou-Béjaïa à partir du barrage Tichi-Haf, rapport de synthèse de la collecte des données. Rapport de synthèse.

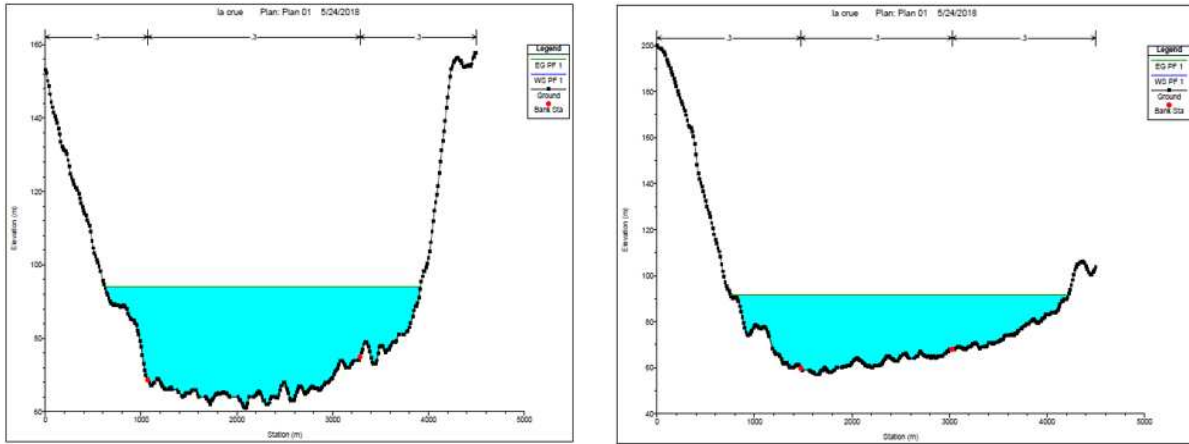
**WEGGEL, J. (1972).** Maximum breaker height for design. Proc. 13th ICCE , pp. 419–432

# **Annexes**

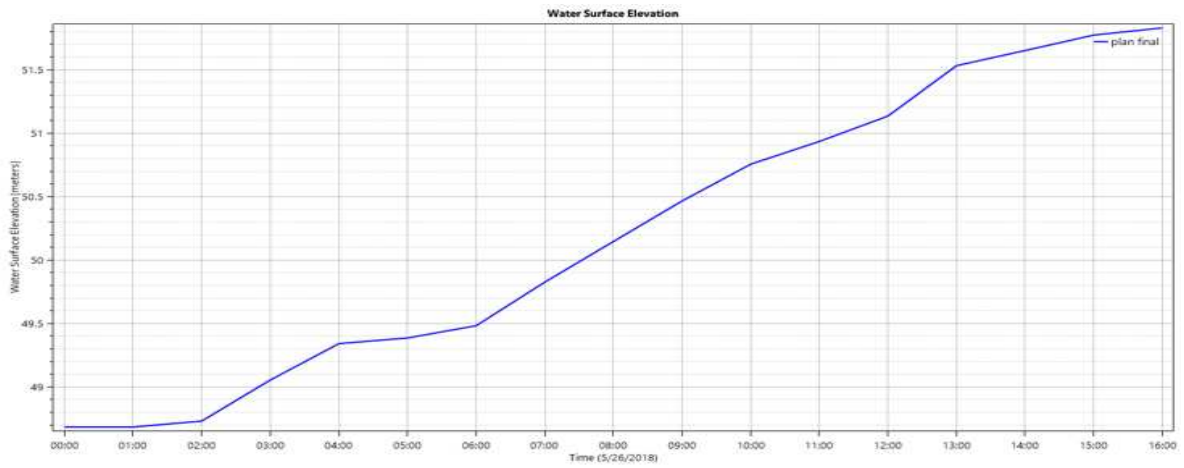
Annexe 03

Les profils d'oued Soummam par HEC RAS :

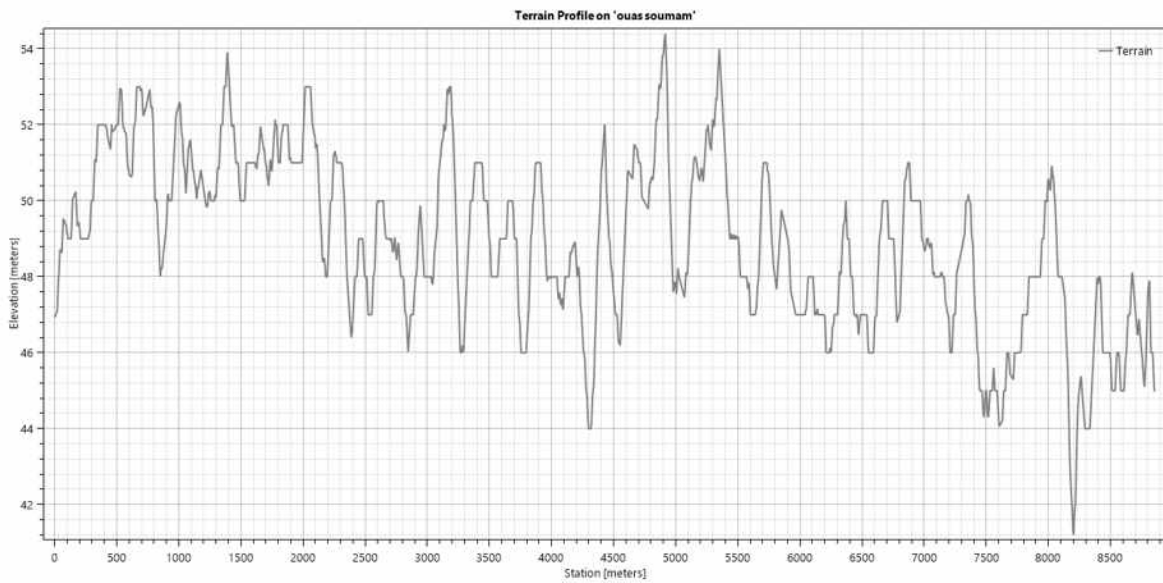




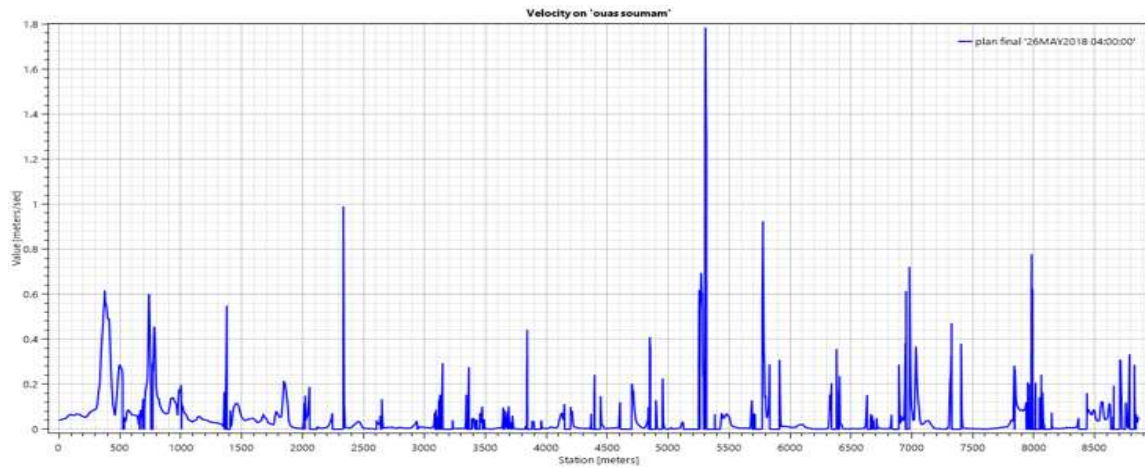
**output du HEC RAS :**



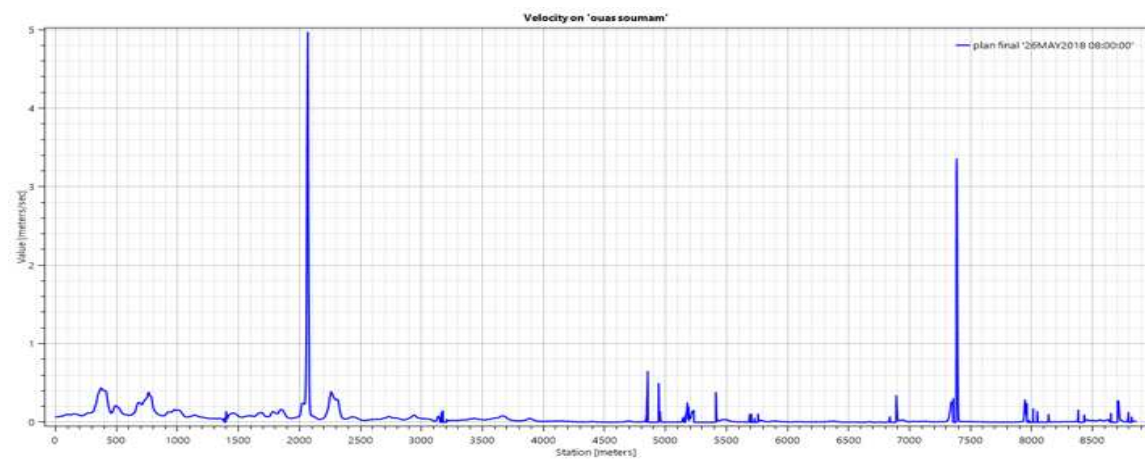
**Figure 1 :** Elévation du niveau de l'eau



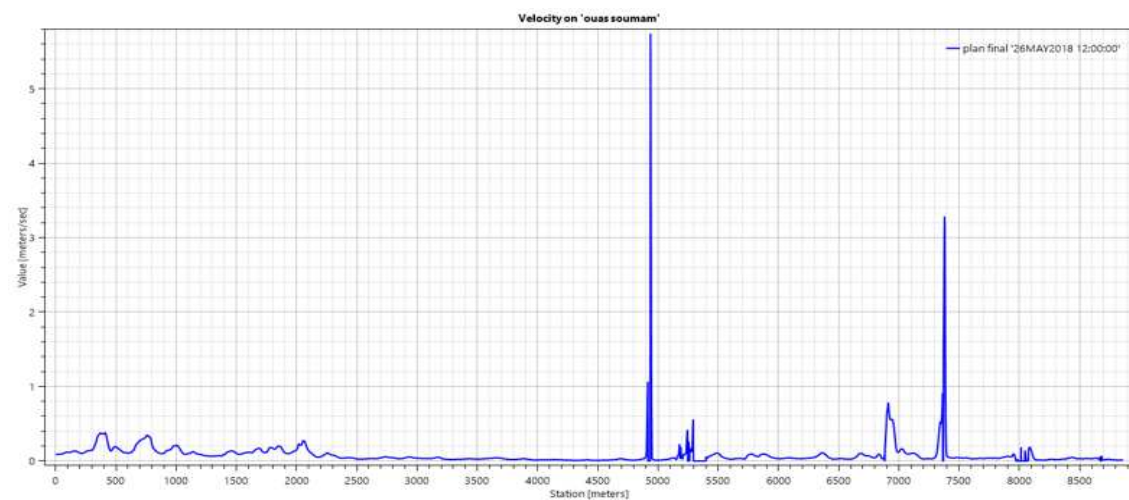
**Figure 2 :** Le profil bathymétrique de l'oued Soummam



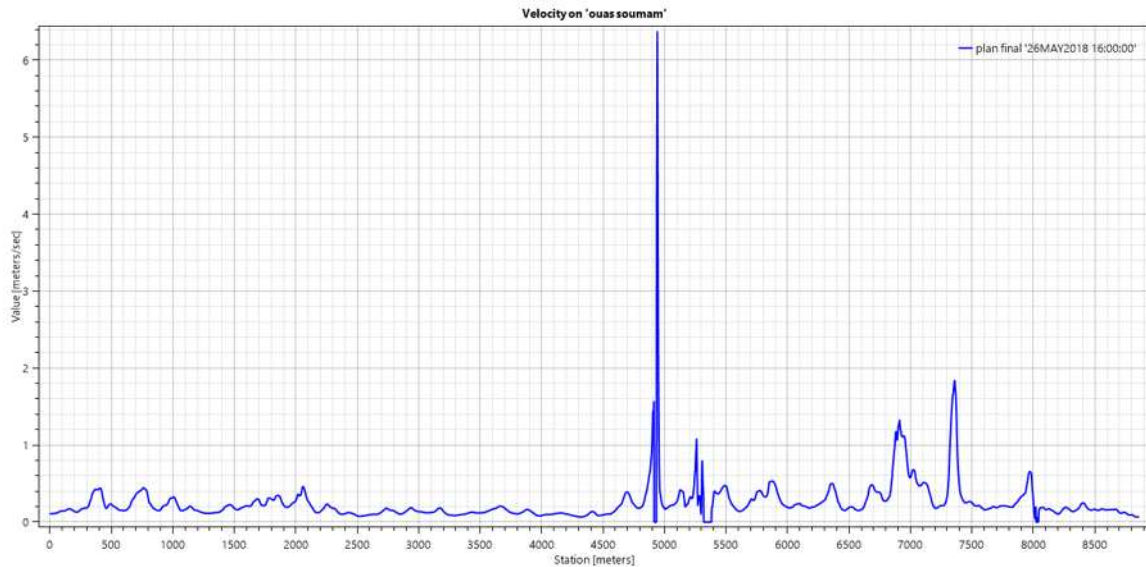
**Figure 3 :** La vitesse de la crue de l'oued Soumam à 4 :00



**Figure 4 :** La vitesse de la crue de l'oued Soumam à 8 :00



**Figure 5 :** La vitesse de la crue de l'oued Soumam à 12 :00



**Figure 6 :** La vitesse de la crue de l'oued Soummam à 16 :00

| temps            | flux     |
|------------------|----------|
| 05/26/2018 0:00  | 0        |
| 05/26/2018 1:00  | -30.2854 |
| 05/26/2018 2:00  | -5.0856  |
| 05/26/2018 3:00  | 2.4697   |
| 05/26/2018 4:00  | -2.722   |
| 05/26/2018 5:00  | -8.0211  |
| 05/26/2018 6:00  | -23.449  |
| 05/26/2018 7:00  | -12.8842 |
| 05/26/2018 8:00  | -40.1819 |
| 05/26/2018 9:00  | -7.2872  |
| 05/26/2018 10:00 | -8.8967  |
| 05/26/2018 11:00 | -6.5872  |
| 05/26/2018 12:00 | -17.8104 |
| 05/26/2018 13:00 | -23.2456 |
| 05/26/2018 14:00 | 18.4798  |
| 05/26/2018 15:00 | 24.9644  |
| 05/26/2018 16:00 | 41.1455  |

| temps            | WSE     |
|------------------|---------|
| 05/26/2018 0:00  | 48.685  |
| 05/26/2018 1:00  | 48.685  |
| 05/26/2018 2:00  | 48.7318 |
| 05/26/2018 3:00  | 49.0555 |
| 05/26/2018 4:00  | 49.3424 |
| 05/26/2018 5:00  | 49.3866 |
| 05/26/2018 6:00  | 49.4834 |
| 05/26/2018 7:00  | 49.8268 |
| 05/26/2018 8:00  | 50.1471 |
| 05/26/2018 9:00  | 50.466  |
| 05/26/2018 10:00 | 50.756  |
| 05/26/2018 11:00 | 50.935  |
| 05/26/2018 12:00 | 51.1352 |
| 05/26/2018 13:00 | 51.5323 |
| 05/26/2018 14:00 | 51.6517 |
| 05/26/2018 15:00 | 51.7736 |
| 05/26/2018 16:00 | 51.8299 |

| temps            | v      |
|------------------|--------|
| 05/26/2018 0:00  | 0      |
| 05/26/2018 1:00  | 0      |
| 05/26/2018 2:00  | 0      |
| 05/26/2018 3:00  | 0      |
| 05/26/2018 4:00  | 0      |
| 05/26/2018 5:00  | 0      |
| 05/26/2018 6:00  | 0      |
| 05/26/2018 7:00  | 0      |
| 05/26/2018 8:00  | 0      |
| 05/26/2018 9:00  | 0      |
| 05/26/2018 10:00 | 0.0181 |
| 05/26/2018 11:00 | 0.0116 |
| 05/26/2018 12:00 | 0.0233 |
| 05/26/2018 13:00 | 0.1123 |
| 05/26/2018 14:00 | 0.1882 |
| 05/26/2018 15:00 | 0.2299 |
| 05/26/2018 16:00 | 0.2437 |

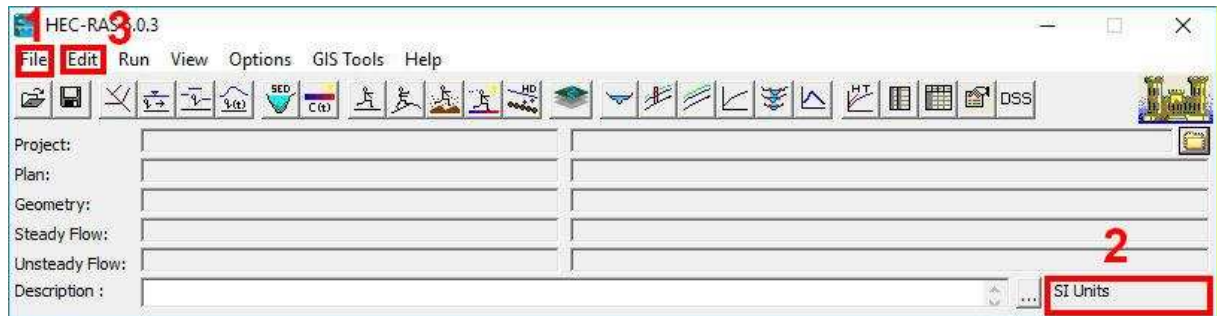
**Tableau 1 :** le flux, la vitesse de la crue et le niveau d'eau

**Les étapes a suivre pour faire une simulation d'une crue :**

**1 Installation du logiciel**

**2 Prise en main**

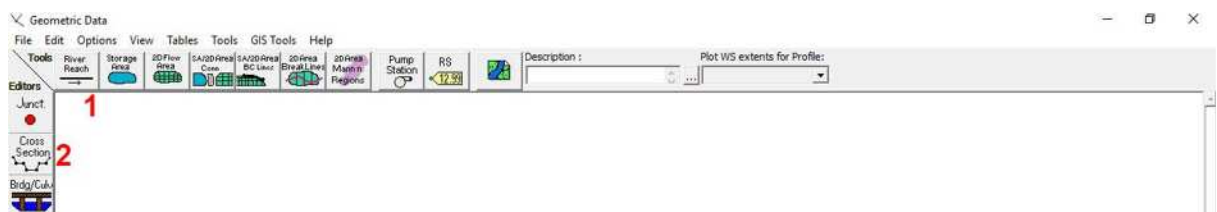
**2.1 Création d'un nouveau projet**



**Figure 8 :** Menu principal : Création d'un nouveau projet

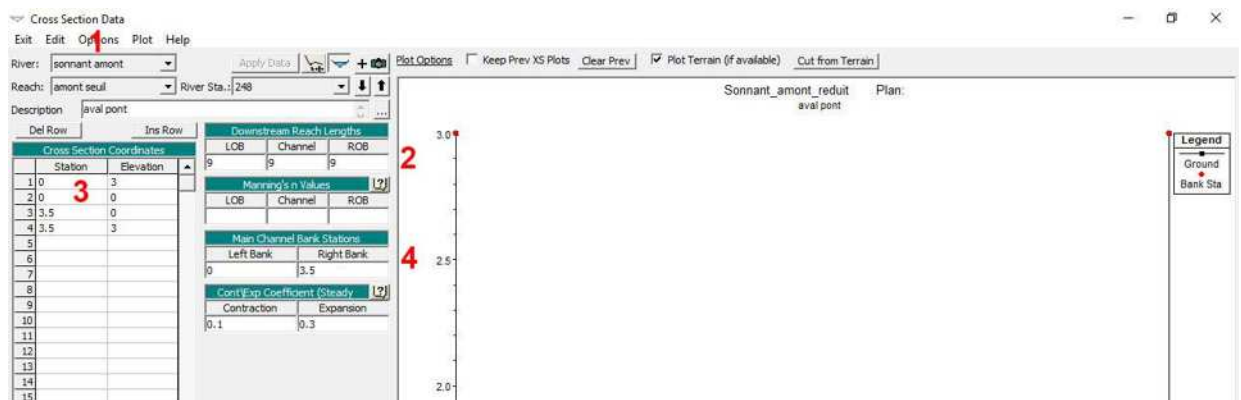
- i. File > New Project Choisir un nom explicite
- ii. Vérifier les unités (SI Units)
- iii. Si mauvaise unités Options > Unit system > System International (Metric System);  
Cocher Set as default for new project

## 2.2 Fixer la géométrie du modèle



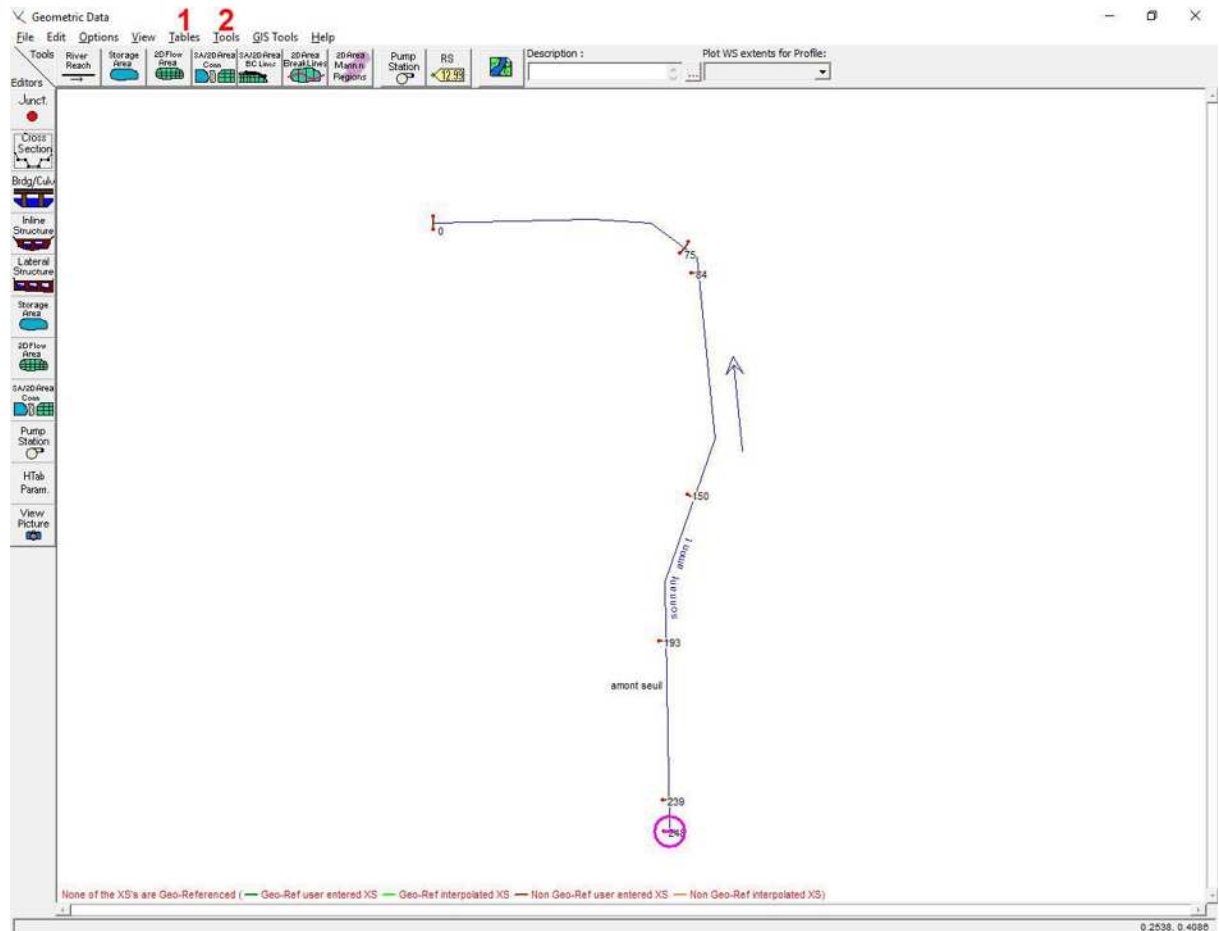
**Figure 9 :** Géométrie : Geometric Data

- i. Edit > Geometric Data : Ouverture de la fenêtre Geometric Data
- ii. Tools > River Reach : l'outil crée une nouvelle section de rivière (Reach) ; le premier point correspond à l'amont ; le dessin se fait de l'amont vers l'aval
- iii. Double-cliquer pour arrêter le dessin
- iv. Entrer le nom de la rivière et de la section (Reach)
- v. Editors > Cross Section : Ouverture de la fenêtre Cross Section Data



**Figure 10 :** Géométrie des sections en travers : Cross Section Data

- vi. Ajouter une nouvelle Cross Section : Options > Add a new Cross Section
- vii. Renseigner la distance à la station aval dans Downstream Reach Lengths
- viii. Renseigner la section en travers dans Cross Section Coordinates les stations correspond à la coordonnée horizontale prise depuis la rive gauche, l'écoulement se fait dans la direction de l'écran.
- ix. Renseigner les berges dans Main Channel Bank Stations : les placer comme étant égal à la rive gauche et la rive droite
- x. Fermer la fenêtre et vérifier le placement des cross-sections

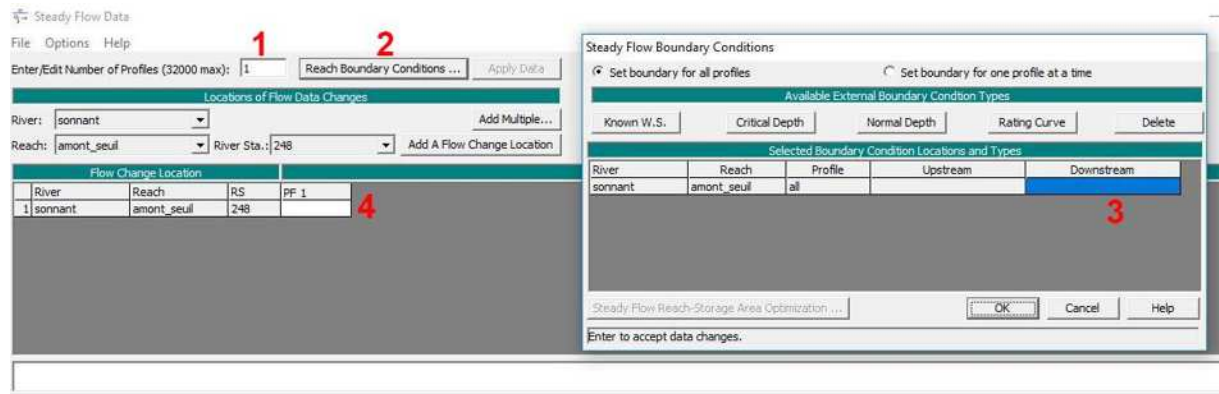


**Figure 11 : Géométrie : Geometric Data**

- xi. Fixer les coefficients de Manning : Tables > Mannings values > Sélectionner les pages à changer dans la table (tout) > Set Values
- xii. Ajuster les altitudes, dans la fenêtre Cross Section Data > Options > Adjust Elevation ajouter la côte NGF du fond du lit
- xiii. Interpoler entre les Cross Sections: Tools > XS Interpolation > Within a Reach (Fig. 4 :2); notez que vous pouvez supprimer toutes les cross-sections interpolées ici pour travailler simplement sur les cross-sections réelles

### 2.3 Fixer les conditions initiales et aux limites en régime permanent

- i. Régler le nombre de profile (PF), qui correspond au nombre de simulation différente à lancer
- ii. Déterminer la condition au limite : ici section critique à l'aval
- iii. Fixer un débit par profile



**Figure 12 :** Conditions initiales et aux limites en régime permanent : Steady Flow Data

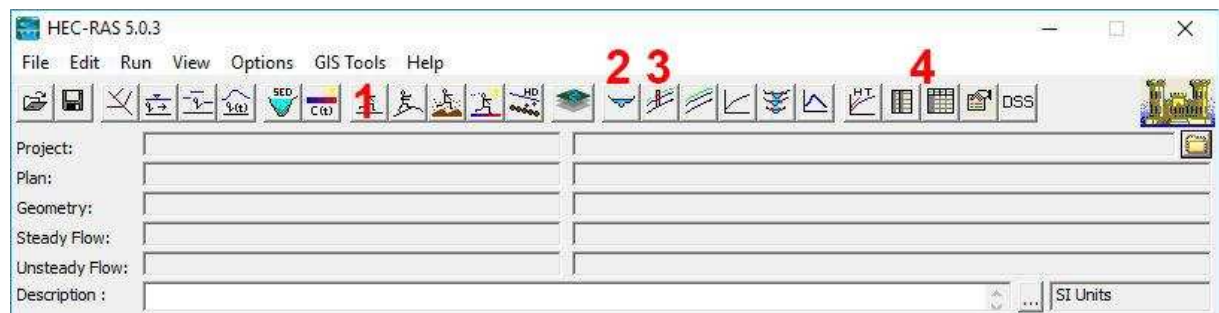
### 2.4 Lancer le calcul et vérifier la cohérence des résultats

- i. Lancer le calcul
- ii. Vérifier que la cohérence du calcul : cross-sections profil en long
- iii. Afficher les tables de résultat

Figure 5 – Conditions initiales et aux limites en régime permanent : Steady Flow Data

### 2.4 Lancer le calcul et vérifier la cohérence des résultats

- i. Lancer le calcul
- ii. Vérifier que la cohérence du calcul : cross-sections profil en long
- iii. Afficher les tables de résultat



**Figure 13 :** Menu principal : Affichage des résultats

iv. Dans Table > Locations > Define Location List: sélectionner la station à l'amont du modèle.

| Reach       | River Sta | Profile | Q Total<br>(m3/s) | Min Ch El<br>(m) | W.S. Elev<br>(m) | Crit W.S.<br>(m) | E.G. Elev<br>(m) | E.G. Slope<br>(m/m) | Vel Chnl<br>(m/s) | Flow Area<br>(m2) | Top Width<br>(m) | Froude # Chl |
|-------------|-----------|---------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|---------------------|-------------------|-------------------|------------------|--------------|
| amont_seuil | 248       | PF 1    | 2.00              | 231.90           | 232.26           |                  | 232.39           | 0.020011            | 1.58              | 1.26              | 3.50             | 0.84         |
| amont_seuil | 246.20*   | PF 1    | 2.00              | 231.86           | 232.23           |                  | 232.35           | 0.020049            | 1.58              | 1.26              | 3.50             | 0.84         |
| amont_seuil | 244.40*   | PF 1    | 2.00              | 231.83           | 232.19           |                  | 232.32           | 0.020139            | 1.59              | 1.26              | 3.50             | 0.84         |
| amont_seuil | 242.60*   | PF 1    | 2.00              | 231.79           | 232.15           |                  | 232.28           | 0.020204            | 1.59              | 1.26              | 3.50             | 0.84         |
| amont_seuil | 240.80*   | PF 1    | 2.00              | 231.76           | 232.11           |                  | 232.24           | 0.020602            | 1.60              | 1.25              | 3.50             | 0.85         |
| amont_seuil | 239       | PF 1    | 2.00              | 231.72           | 232.07           | 232.04           | 232.21           | 0.021345            | 1.62              | 1.24              | 3.50             | 0.87         |
| amont_seuil | 237.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.68           | 232.03           | 232.00           | 232.16           | 0.021335            | 1.61              | 1.24              | 3.52             | 0.87         |
| amont_seuil | 235.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.64           | 231.99           | 231.96           | 232.12           | 0.021215            | 1.61              | 1.24              | 3.54             | 0.87         |
| amont_seuil | 233.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.60           | 231.95           |                  | 232.08           | 0.021145            | 1.60              | 1.25              | 3.56             | 0.86         |
| amont_seuil | 231.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.56           | 231.90           | 231.87           | 232.04           | 0.021332            | 1.60              | 1.25              | 3.59             | 0.87         |
| amont_seuil | 229.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.52           | 231.86           | 231.83           | 231.99           | 0.021354            | 1.60              | 1.25              | 3.61             | 0.87         |
| amont_seuil | 227.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.47           | 231.82           | 231.79           | 231.95           | 0.021324            | 1.60              | 1.25              | 3.63             | 0.87         |
| amont_seuil | 225.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.43           | 231.78           | 231.75           | 231.91           | 0.021345            | 1.60              | 1.25              | 3.65             | 0.87         |
| amont_seuil | 223.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.39           | 231.74           | 231.70           | 231.86           | 0.021265            | 1.59              | 1.26              | 3.67             | 0.87         |
| amont_seuil | 221.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.35           | 231.69           | 231.66           | 231.82           | 0.021246            | 1.59              | 1.26              | 3.70             | 0.87         |
| amont_seuil | 219.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.31           | 231.65           | 231.62           | 231.78           | 0.021097            | 1.58              | 1.26              | 3.72             | 0.87         |
| amont_seuil | 217.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.27           | 231.61           |                  | 231.74           | 0.020993            | 1.58              | 1.27              | 3.74             | 0.86         |
| amont_seuil | 215.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.23           | 231.57           | 231.54           | 231.69           | 0.021311            | 1.58              | 1.26              | 3.76             | 0.87         |
| amont_seuil | 213.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.19           | 231.52           | 231.49           | 231.65           | 0.021249            | 1.58              | 1.27              | 3.78             | 0.87         |
| amont_seuil | 211.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.15           | 231.48           | 231.45           | 231.61           | 0.021305            | 1.58              | 1.27              | 3.80             | 0.87         |
| amont_seuil | 209.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.11           | 231.44           | 231.41           | 231.57           | 0.021248            | 1.57              | 1.27              | 3.83             | 0.87         |
| amont_seuil | 207.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.07           | 231.40           | 231.37           | 231.52           | 0.021284            | 1.57              | 1.27              | 3.85             | 0.87         |
| amont_seuil | 205.00*   | PF 1    | 2.00              | 231.03           | 231.36           | 231.33           | 231.48           | 0.021188            | 1.57              | 1.28              | 3.87             | 0.87         |
| amont_seuil | 203.00*   | PF 1    | 2.00              | 230.98           | 231.31           | 231.28           | 231.44           | 0.021030            | 1.56              | 1.28              | 3.89             | 0.87         |
| amont_seuil | 201.00*   | PF 1    | 2.00              | 230.94           | 231.27           |                  | 231.40           | 0.020894            | 1.55              | 1.29              | 3.91             | 0.86         |
| amont_seuil | 199.00*   | PF 1    | 2.00              | 230.90           | 231.23           | 231.20           | 231.35           | 0.021131            | 1.56              | 1.29              | 3.93             | 0.87         |
| amont_seuil | 197.00*   | PF 1    | 2.00              | 230.86           | 231.19           | 231.16           | 231.31           | 0.020999            | 1.55              | 1.29              | 3.96             | 0.87         |
| amont_seuil | 195.00*   | PF 1    | 2.00              | 230.82           | 231.14           |                  | 231.27           | 0.021603            | 1.56              | 1.28              | 3.98             | 0.88         |
| amont_seuil | 193       | PF 1    | 2.00              | 230.78           | 231.09           | 231.07           | 231.22           | 0.024082            | 1.61              | 1.24              | 4.00             | 0.93         |
| amont_seuil | 191.05*   | PF 1    | 2.00              | 230.73           | 231.04           | 231.03           | 231.18           | 0.024270            | 1.62              | 1.24              | 4.00             | 0.93         |
| amont_seuil | 189.09*   | PF 1    | 2.00              | 230.69           | 231.00           | 230.98           | 231.13           | 0.024082            | 1.61              | 1.24              | 4.00             | 0.93         |
| amont_seuil | 187.14*   | PF 1    | 2.00              | 230.64           | 230.95           | 230.93           | 231.08           | 0.024004            | 1.61              | 1.24              | 4.00             | 0.92         |
| amont_seuil | 185.18*   | PF 1    | 2.00              | 230.59           | 230.90           | 230.88           | 231.03           | 0.024114            | 1.61              | 1.24              | 4.00             | 0.93         |
| amont_seuil | 183.23*   | PF 1    | 2.00              | 230.54           | 230.85           | 230.84           | 230.99           | 0.024274            | 1.62              | 1.24              | 4.00             | 0.93         |

Total flow in cross section.

Figure 14: Tableaux de résultats : Output Table

Annexe 04

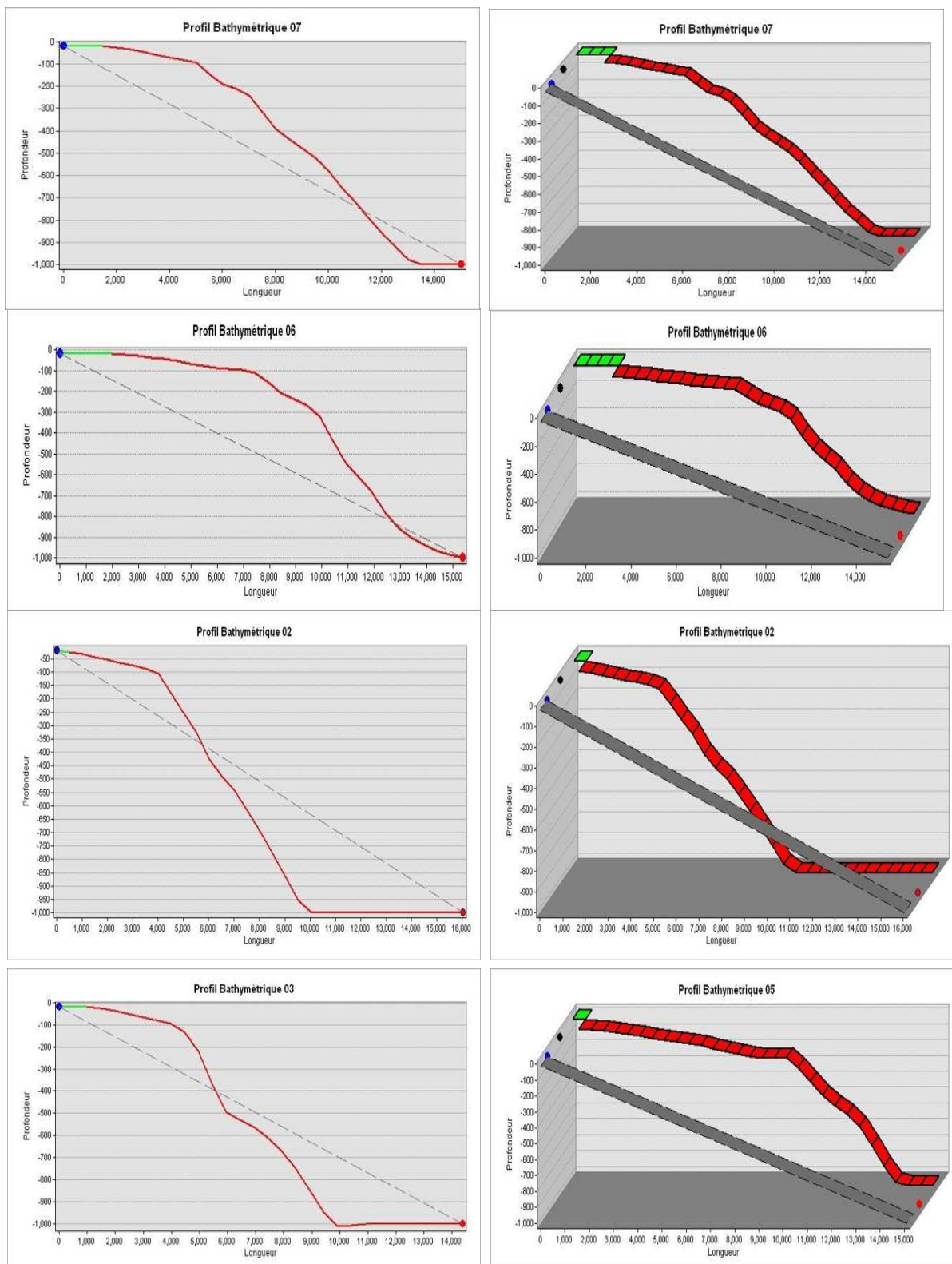
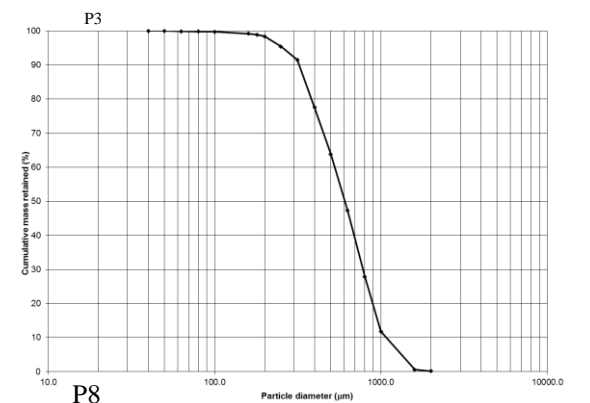
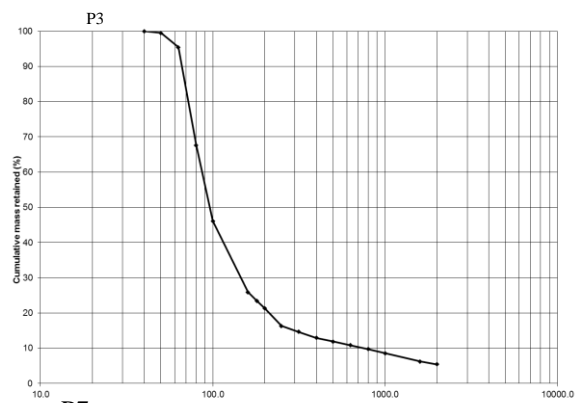
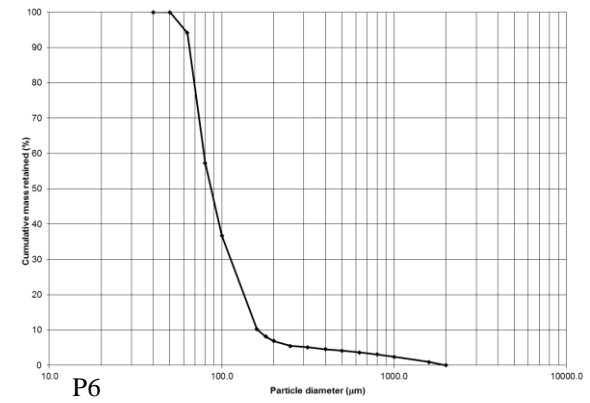
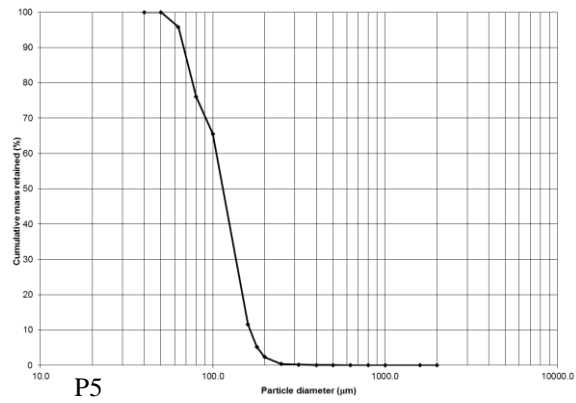
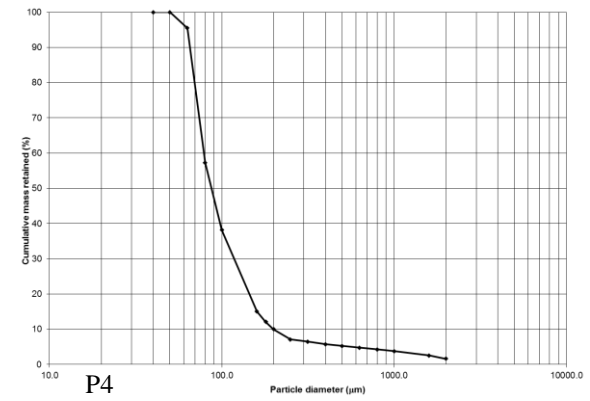
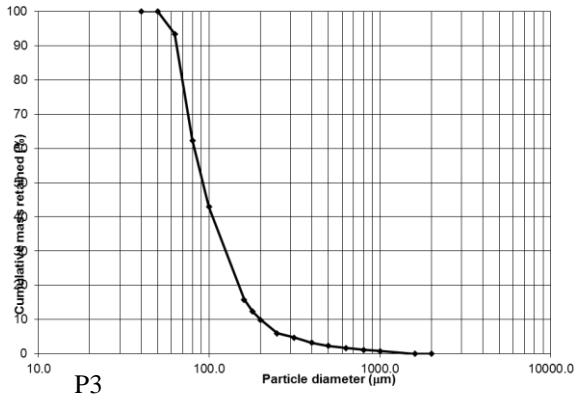
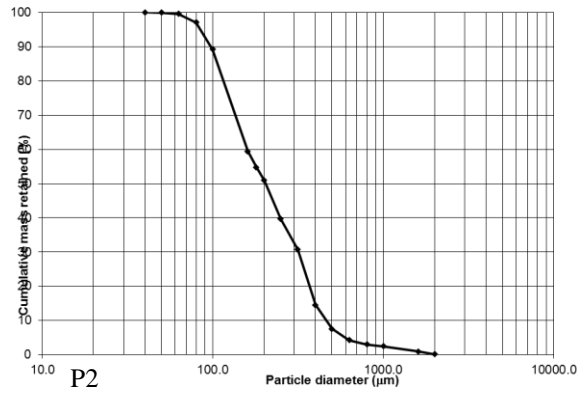
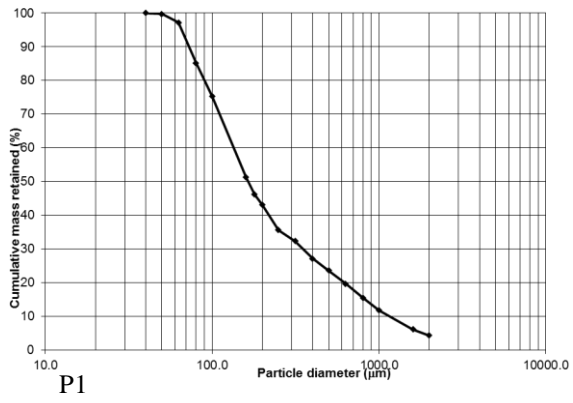
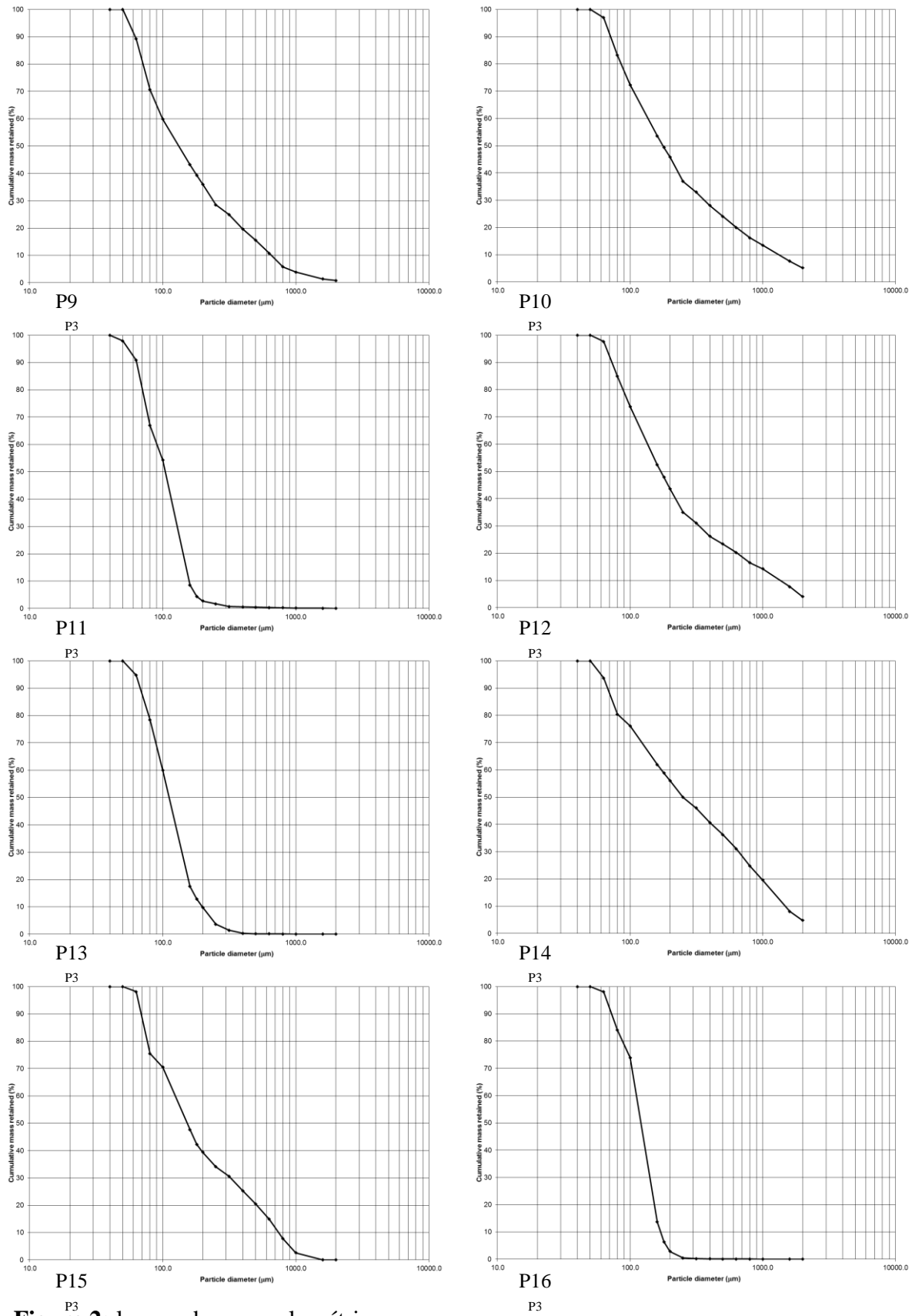


Figure 1 : Les profils bathymétriques en 2D et 3D par ArcGis.



P3

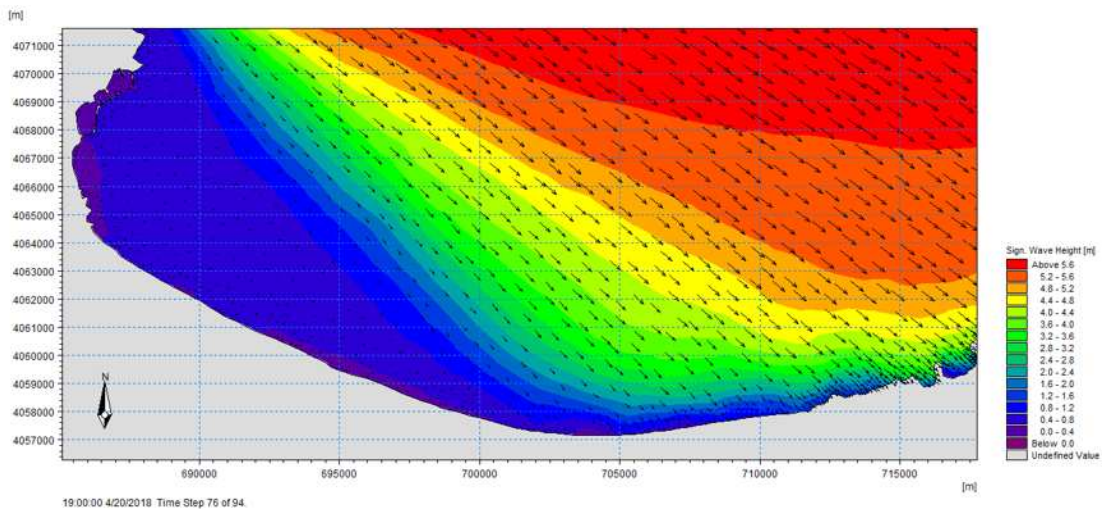
P3



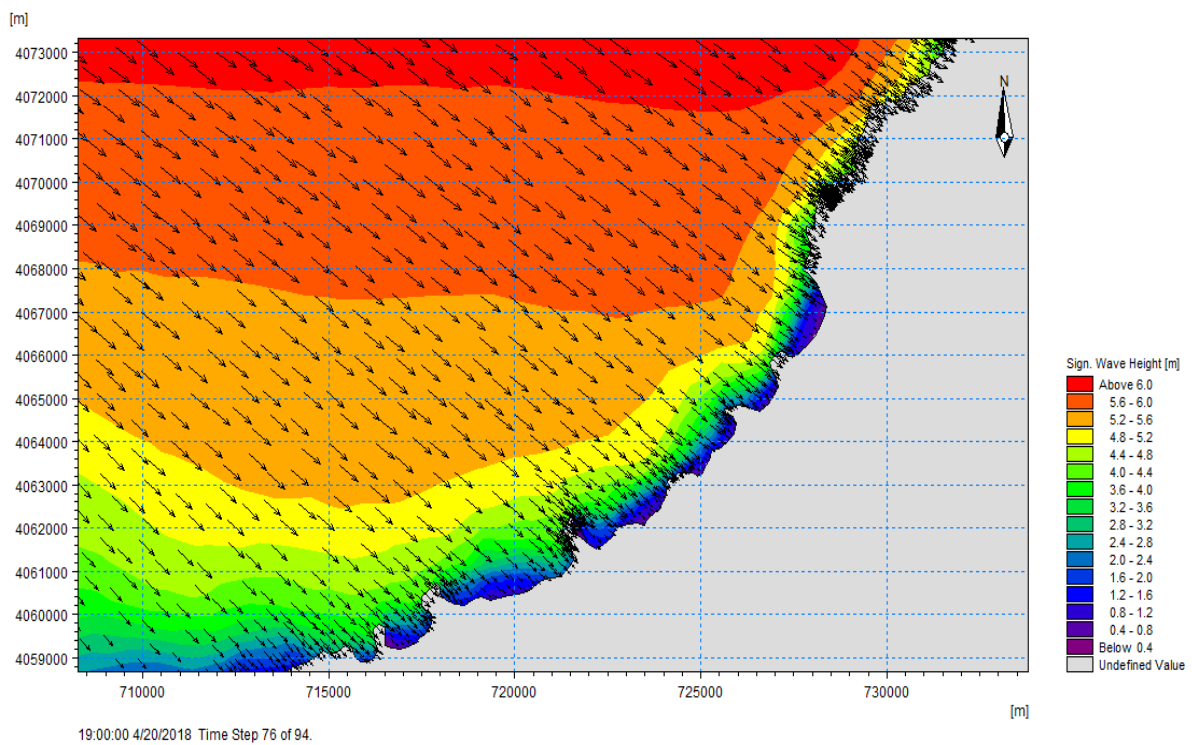
<sup>P3</sup>  
**Figure 2:** les courbes granulométriques

| échantillon | Mz    | So    | Sk     | D50   | D.Moyen             | Tri              | Asymétrie                |
|-------------|-------|-------|--------|-------|---------------------|------------------|--------------------------|
| P1          | 3.296 | 0.566 | -0.756 | 104.5 | Sable très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P2          | 2.186 | 1.421 | -0.56  | 170.4 | Sable fin           | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P3          | 3.136 | 0.583 | -0.586 | 111.6 | Sable très fin      | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P4          | 2.612 | 1.053 | -0.808 | 147.5 | Sable fin           | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P5          | 1.839 | 1.572 | -0.09  | 249.5 | Sable fin           | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P6          | 2.399 | 1.277 | -0.53  | 252.6 | Sable moyen         | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P7          | 3.094 | 0.439 | -0.015 | 120.5 | Sable très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P8          | 2.812 | 1.437 | -1.352 | 91.45 | Sable très fin      | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P9          | 3.641 | 0.579 | -4.004 | 74.04 | Sable Très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P10         | 2.913 | 1.118 | -1.612 | 97.23 | Sable Très fin      | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P11         | 3.013 | 0.988 | -1.931 | 104.7 | Sable Très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P12         | 2.685 | 1.554 | -1.014 | 91.81 | Sable Très fin      | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P13         | 1.588 | 1.114 | -0.106 | 325.9 | Sable moyen         | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P14         | 2.208 | 1.378 | -0.595 | 164.5 | Sable fin           | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P14         | 2.239 | 0.931 | -0.586 | 203.9 | Sable fin           | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P15         | 3.24  | 0.764 | -1.812 | 92.14 | Sable Très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P16         | 3.213 | 0.95  | -2.373 | 87.06 | Sable Très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P17         | 3.183 | 0.476 | 0.059  | 114.5 | Sable Très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P18         | 3.285 | 0.87  | -2.727 | 86.58 | Sable Très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P19         | 2.896 | 1.231 | -1.5   | 96.02 | Sable Très fin      | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P20         | 1.752 | 1.651 | -0.07  | 261   | Sable moyen         | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P21         | 0.768 | 0.705 | 0.463  | 606.5 | Sable grossier      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P22         | -0.05 | 0.507 | 0.821  | 1145  | Sable Très grossier | Très bien classé | symétrie                 |
| P23         | 2.932 | 0.544 | -0.914 | 160.4 | Sable fin           | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |
| P24         | 2.617 | 1.285 | -0.7   | 132.1 | Sable fin           | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P25         | 1.272 | 1.676 | 0.409  | 767.1 | Sable grossier      | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P26         | 2.183 | 1.416 | -0.548 | 176.9 | Sable fin           | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P27         | 2.913 | 1.118 | -1.612 | 97.23 | Sable Très fin      | bien classé      | Asymétrie vers les fines |
| P28         | 3.213 | 0.95  | -2.373 | 87.06 | Sable Très fin      | Très bien classé | Asymétrie vers les fines |

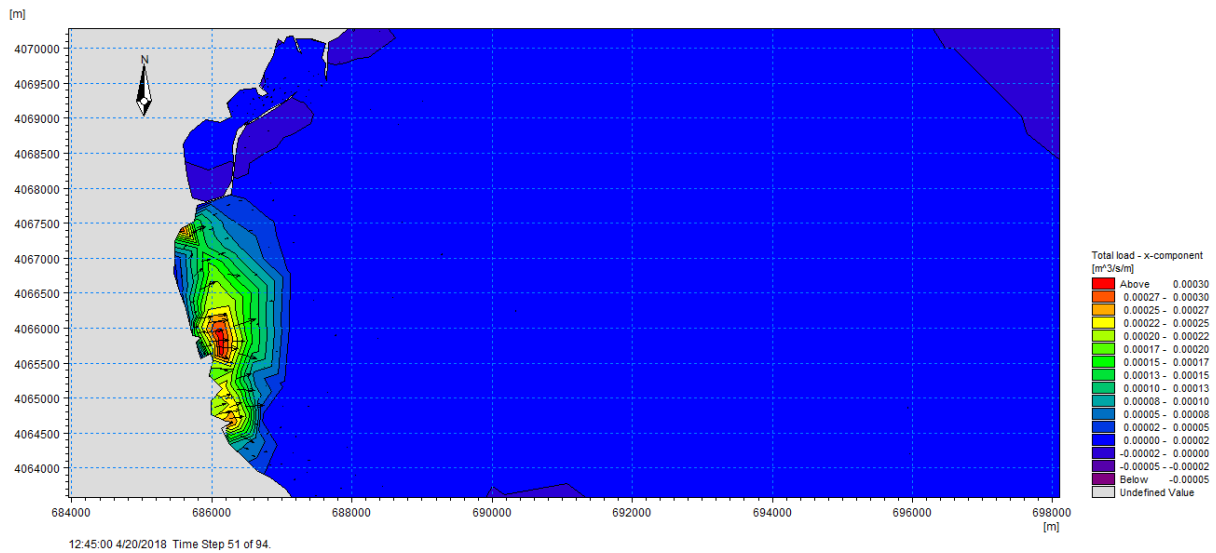
**Tableau 1 :** Calcul des indices granulométrique et interprétation des résultats (Partie marine) :



**Figure 3 :** Champ des houles dans la baie de Béjaia(2) ( $H= 6\text{ m}$  ;  $T_p = 9\text{ s}$  ;  $\text{Dir} = 315^\circ\text{N}$ )



**Figure 4 :** Champ des houles dans la baie de Béjaia(3) ( $H= 6\text{ m}$  ;  $T_p = 9\text{ s}$  ;  $\text{Dir} = 315^\circ\text{N}$ )



**Figure 5** : répartition du flux sédimentaire dans la baie de Béjaia ( $H= 6\text{ m}$  ;  $T_p = 9\text{ s}$  ;  $\text{Dir} = 315^\circ\text{N}$ )

20180603  
114948

=====  
Target: SEDIMENT\_TRANSPORT\_TABLE\_GENERATOR

Section: General\_Parameters -----  
 Tolerance\_in\_Concentration : 0.0001  
 Maximum\_no\_Wave\_Periods : 100  
 No\_of\_Steps\_per\_Period : 140  
 Relative\_Sediment\_Density : 2.65  
 Critical\_Shields\_Parameter : 0.05  
 Include\_Effect\_of\_Ripples : 1  
 Include\_Bed\_Slope\_Effects : 0  
 Include\_Helical\_Effects : 0  
 Include\_Streaming\_Terms : 1  
 Include\_Density\_Currents : 0  
 Include\_Undertow : 1 (default)  
 Use\_Empirical\_Cb : 0  
 ST\_FM\_Sand\_Transport\_Model : 2 (default)

Section: Hydrodynamic\_Data -----  
 Hrms0\_deltaHrms\_NoHrms : 3.19 0.2 8  
 V0\_deltaV\_NoV : 0.05 0.1 5  
 Tp0\_deltaTp\_NoTp : 3 1 3  
 HoD0\_deltaHoD\_NoHoD : 0.01 0.1 8  
 Gamma0\_deltaGamma\_NoGamma : 0 30 12  
 Radi0\_deltaRadi\_NoRadi : 10 0.001 1

Section: Sediment\_Data -----  
 Water\_Temperature : 10  
 d50\_delta\_d50\_No\_d50 : 0.16 2 3  
 Sg0\_deltaSg0\_NoSg0 : 1.1 0.15 3

**Figure 6** : table des sédiment.

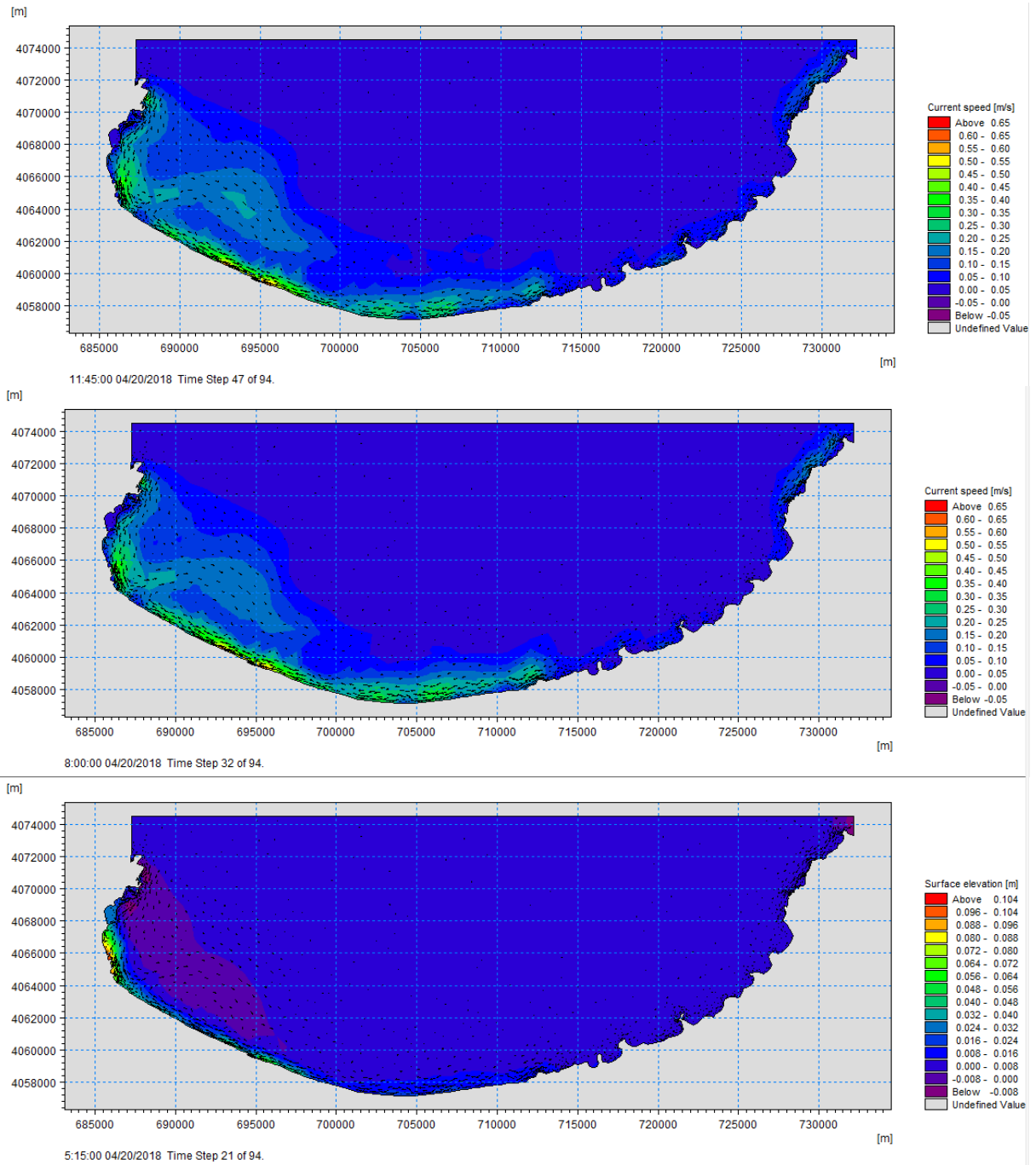
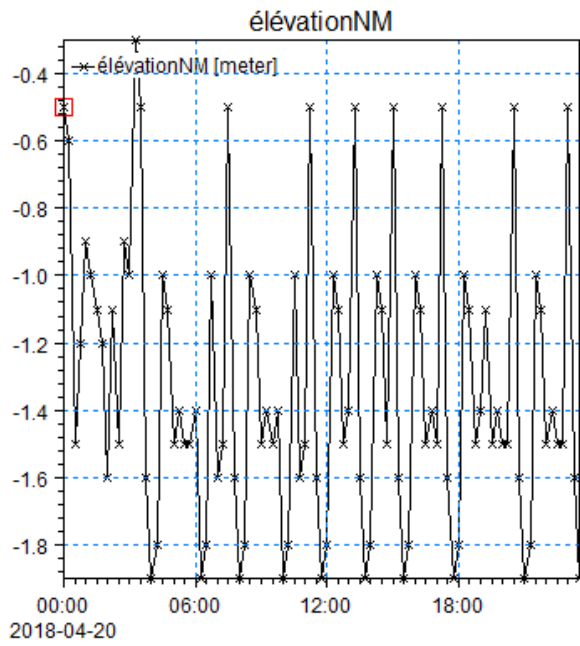
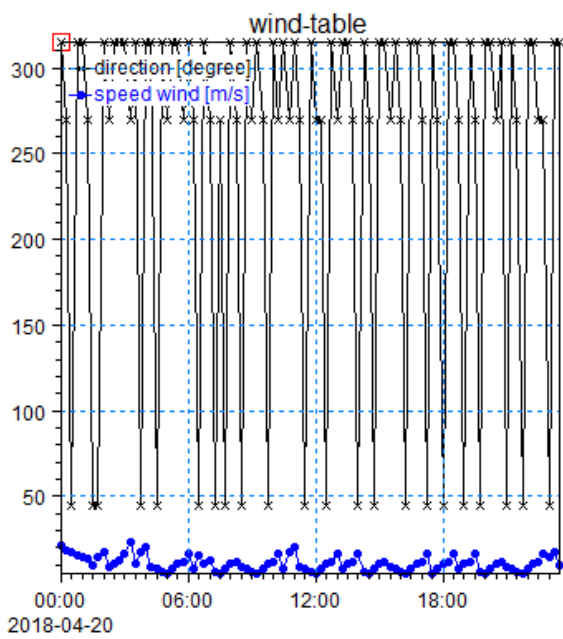


Figure 7 : les étapes de simulation.



|    | Time                   | 1:élévationNM [meter] |
|----|------------------------|-----------------------|
| 0  | 04/20/2018 00:00:00    | -0.5                  |
| 1  | 04/20/2018 12:15:00 AM | -0.6                  |
| 2  | 04/20/2018 12:30:00 AM | -1.5                  |
| 3  | 04/20/2018 12:45:00 AM | -1.2                  |
| 4  | 04/20/2018 1:00:00 AM  | -0.9                  |
| 5  | 04/20/2018 1:15:00 AM  | -1                    |
| 6  | 04/20/2018 1:30:00 AM  | -1.1                  |
| 7  | 04/20/2018 1:45:00 AM  | -1.2                  |
| 8  | 04/20/2018 2:00:00 AM  | -1.6                  |
| 9  | 04/20/2018 2:15:00 AM  | -1.1                  |
| 10 | 04/20/2018 2:30:00 AM  | -1.5                  |
| 11 | 04/20/2018 2:45:00 AM  | -0.9                  |
| 12 | 04/20/2018 3:00:00 AM  | -1                    |
| 13 | 04/20/2018 3:15:00 AM  | -0.3                  |
| 14 | 04/20/2018 3:30:00 AM  | -0.5                  |
| 15 | 04/20/2018 3:45:00 AM  | -1.6                  |
| 16 | 04/20/2018 4:00:00 AM  | -1.9                  |
| 17 | 04/20/2018 4:15:00 AM  | -1.8                  |
| 18 | 04/20/2018 4:30:00 AM  | -1                    |
| 19 | 04/20/2018 4:45:00 AM  | -1.1                  |

Figure 8: table d'élévation Du NM



|    | Time                   | 1:direction [degree] | 2:speed wind [m/s] |
|----|------------------------|----------------------|--------------------|
| 0  | 04/20/2018 00:00:00    | 315                  | 21                 |
| 1  | 04/20/2018 12:15:00 AM | 270                  | 19                 |
| 2  | 04/20/2018 12:30:00 AM | 45                   | 18                 |
| 3  | 04/20/2018 12:45:00 AM | 315                  | 16                 |
| 4  | 04/20/2018 1:00:00 AM  | 315                  | 15                 |
| 5  | 04/20/2018 1:15:00 AM  | 270                  | 14                 |
| 6  | 04/20/2018 1:30:00 AM  | 45                   | 10                 |
| 7  | 04/20/2018 1:45:00 AM  | 45                   | 15                 |
| 8  | 04/20/2018 2:00:00 AM  | 315                  | 18                 |
| 9  | 04/20/2018 2:15:00 AM  | 270                  | 9                  |
| 10 | 04/20/2018 2:30:00 AM  | 315                  | 11                 |
| 11 | 04/20/2018 2:45:00 AM  | 315                  | 13                 |
| 12 | 04/20/2018 3:00:00 AM  | 315                  | 17                 |
| 13 | 04/20/2018 3:15:00 AM  | 270                  | 23                 |
| 14 | 04/20/2018 3:30:00 AM  | 315                  | 11                 |
| 15 | 04/20/2018 3:45:00 AM  | 45                   | 18                 |
| 16 | 04/20/2018 4:00:00 AM  | 315                  | 20                 |
| 17 | 04/20/2018 4:15:00 AM  | 315                  | 9                  |
| 18 | 04/20/2018 4:30:00 AM  | 45                   | 8                  |

Figure 9 : table des vents.

## Annexe 05

| Etude de protection de la piste d'atterrissage et la plage de SidAli Lebhar.            |  |    |       |             |                 |
|---|--|----|-------|-------------|-----------------|
| Devis quantitatifs et estimatifs Variante N°1 Brise-lames plus rechargement de la plage |  |    |       |             |                 |
| N° des prix   | DESIGNATION  | U  | Q     | PU (DA-HT)  | MONTANT (DA-HT) |
| 1   | Fourniture, transport et mise place du tout venant de carrière de catégorie (0-500kg) pour l'accès et le noyau de la jetée.                              | T  | 21340 | 2386        | 50917240        |
| 2   | Fourniture, transport et mise en place des remblais en sable de carrière nécessaires à la création de la plage artificielle, y compris toutes sujétions. | M3 | 7000  | 1224        | 8568000         |
| 3   | Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel.  | F  | 1     | 72000000    | 72000000        |
| 4   | Fourniture, transport et mise place des enrochements naturels (0.5 à 1t) pour la partie intérieure.  | T  | 3475  | 2316        | 8048100         |
| 5   | Fourniture, transport et mise place des enrochements naturels (2 à 4t) pour la partie intérieure.  | T  | 1750  | 3672        | 6426000         |
| 6   | Nettoyage de la plage  | M2 | 9765  | 600         | 5859000         |
| Montant total HT  |  |    |       | 151818340   |                 |
| Montant TVA (19%)   |  |    |       | 28845484.6  |                 |
| Montant total TTC en DA   |  |    |       | 180663824.6 |                 |

Tableau 1 : le cout de la variante 01

| Etude de protection de la piste d'atterrissage et la plage de SidAli Lebhar. |   |     |      |             |          |
|--|---|-----|------|-------------|----------|
| Devis quantitatifs et estimatifs Variante N°2 : Géotube                      |   |     |      |             |          |
| N DES PRIX   | DESIGNATION   | U   | Q    | PU          | MONTANT  |
| 1  | Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel.                   | F   | 1    | 72000000    | 72000000 |
| 2  | Géotube   | M/L | 1903 | 32700       | 62228100 |
| 3  | Pompage des sables.   | M3  | 942  | 4800        | 4521600  |
| 4  | Sable de la carrière (D50>2mm).   | M3  | 942  | 1680        | 1582560  |
| 5  | Tapis anti afflouement muni de deux lests de géotubes de 0.5 m de diamètres | M2  | 1250 | 1122        | 1402500  |
| Montant total HT   |   |     |      | 141734760   |          |
| Montant TVA (19%)  |   |     |      | 26929604.4  |          |
| Montant total TTC en DA  |   |     |      | 168664364.4 |          |

Tableau 2 : le cout de la variante 02 (geotube).

| Etude de protection de la piste d'atterrissage et la plage de SidAli Lebhar. |   |    |             |            |                 |
|--|---|----|-------------|------------|-----------------|
| Devis quantitatifs et estimatifs Variante N°2 : STABIPLAGE                   |   |    |             |            |                 |
| N° DES PRIX  | DESIGNATION   | U  | Q           | PU (DA-HT) | MONTANT (DA-HT) |
| 1  | Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel. | F  | 1           | 72000000   | 72000000        |
| 2  | Géotube.  | ML | 502.4       | 32760      | 16458624        |
| 3  | Pompage des sables.                                       | M3 | 385.84      | 4800       | 1852032         |
| 4  | Sable de la carrière (D50 >1.8 mm).                       | M3 | 385.84      | 1680       | 648211.2        |
| 5  | Nettoyage de la plage.                                    | M2 | 9765        | 600        | 5859000         |
| Montant total HT   |   |    | 96817867.2  |            |                 |
| Montant TVA (19%)  |   |    | 18395394.77 |            |                 |
| Montant total TTC en DA  |   |    | 115213262   |            |                 |

**Tableau 3 : le cout de la variante 02 (stabiplage)**

| Etude de protection de la piste d'atterrissage et la plage de SidAli Lebhar.   |   |    |            |            |                 |
|--|---|----|------------|------------|-----------------|
| Devis quantitatifs et estimatifs Variante N°3 : Récifs artificiel + brise vent |   |    |            |            |                 |
| N° DES PRIX  | DESIGNATION   | U  | Q          | PU (DA-HT) | MONTANT (DA-HT) |
| 1  | Installation des chantiers, amenée et rempli du matériel.                 | F  | 1          | 72000000   | 72000000        |
| 2  | Fourniture, transport et mise place des enrochements naturels (0.5 à 1t). | M3 | 4135       | 2316       | 9576660         |
| 3  | Fourniture, transport et mise place de pour l'accès (embarcation).        | T  | 701        | 2200       | 1542200         |
| 4  | Brise vents   | m  | 465        | 3000       | 1395000         |
| Montant total HT   |   |    | 84513860   |            |                 |
| Montant TVA (19%)  |   |    | 16057633.4 |            |                 |

**Tableau 4 : le cout de la variante 03**

| Diamètre | Circonférence | Hauteur | Volume | Largeur Max | Largeur base |
|----------|---------------|---------|--------|-------------|--------------|
| D        | C             | H       | F      | W           | Wb           |
| M        | m             | m       | M3/ml  | m           | m            |
| 1.6      | 5             | 1       | 1.7    | 2           | 1.7          |
| 2.5      | 7.9           | 1.1     | 4.1    | 3.2         | 2.7          |
| 3.25     | 10.2          | 2       | 6.9    | 4.2         | 3.5          |
| 4        | 12.6          | 2.4     | 10.4   | 5.1         | 4.3          |
| 5        | 15.7          | 3       | 16.3   | 6.4         | 5.4          |

**Tableau 5 : détermination des caractéristiques des géotubes (LEM, 2012)**

## Resumé

Suite à la construction du barrage Tichy Haff au niveau de la wilaya de Béjaia, un déficit inquiétant a été engendré en termes d'alimentation en eau et en sédiments au niveau du cours d'eau de l'Oued Soummam qui déverse jusqu'au large de la baie de Béjaia, d'une part. D'autres parts, l'usine du groupement Cevital implanté au niveau de la partie occidentale de cette dernière et les différentes infrastructures qui s'étalent tout au long de la frange côtière de notre baie, ont eu un impact négatif sur la stabilité du linéaire côtier. Notre travail, consisterait à réaliser la Simulation d'une crue de l'oued Soummam et la Simulation d'une élévation du niveau de la mer ; Aussi, la mise en évidence de l'hydrodynamisme et du transport sédimentaire au niveau de la frange côtière de la baie de Béjaia.

**Mots-clés :** Mike 21 – SIG - Bassin Versant - Oued Soummam - Baie de Béjaia – Modélisation- Hydrologie - Crue.

## Abstract

Following the construction of the Tichy Haff dam in the Bejaia wilaya, a worrying deficit has been created in terms of water supply and sediments in the Oued Soummam watercourse, which is pouring of Bejaia Bay, on the one hand. On the other hand, the plant of the Cevital group located in the western part of the latter and the various infrastructures spread out along the coastal fringes of our bay have had a negative impact on the stability of the line. Coastal. Our work consists of performing the Simulation of a flood of wadi Soummam and Simulation of a rise in sea level; Also, the demonstration of the hydrodynamism and the sedimentary transport at the level of the coastal fringe of the bay of Bejaia in order to propose management solutions.

**Keywords:** Mike 21 – GIS - Basin Versant - Oued Soummam - Bay of Bejaia - Modeling- Hydrology - Raw.

## ملخص

بعد بناء سد تيشيخاف في ولاية بجاية ، تم إنشاء عجز مقلق من حيث إمدادات المياه والرواسب في مجرى وادي سويام ، الذي يتدفق خليج بجاية ، من جهة. من ناحية أخرى ، كان لمصنع مجموعة سيفيتال الموجودة في الجزء الغربي من الأخير والبنى التحتية المختلفة المنتشرة على طول الأطراف الساحلية لخليجنا تأثير سلبي على استقرار الخط الساحلية. يتألف عملنا من إجراء محاكاة لفيضان وادي سومام ومحاكاة ارتفاع مستوى سطح البحر ؛ أيضا ، مظاهره الهيدروديناميزم والنقل الرسوبي على مستوى الهامش الساحلي لخليج بجاية من أجل اقتراح حلول للتنمية الساحلية.

الكلمات المفتاحية: نظام المعلومات الجيوغرافي- Mike 21- خليج بجاية – واد الصومام – نمذجة - الهيدرولوجيا – فيضان – حوض ماني.