

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR EN SCIENCES DE LA MER

OPTION : GESTION ET PROTECTION DU LITTORAL

Thème:

**ETUDE D'IMPACT DU RECHAUFFEMENT CLIMATIQUE
SUR LE LITTORAL ET ADAPTATION DES OUVRAGES
MARITIMES**

Présenté par :

Hellal Bahia

Mezzar Cylia

Soutenus novembre 2020 devant le jury suivant :

Mr. OTMANI.H	Maître conférence B	Président
Mr. BELKESSA.R	Professeur	Promoteur
Mme. BOUDOUMA.Z	Chef ingénieur (LEM)	Co-promotrice
Mr. BACHOUCHE.S	Maître de recherche	Examineur
Mr. DAHMANIAEA	Maître assistant A	Examineur

Promotion : 2019/2020

« C'est dans l'effort que l'on trouve la satisfaction et non dans la réussite. Un plein effort est une pleine victoire »

Mohandas Karamchand Gandhi

REMERCIEMENTS

On tient tout d'abord à rendre grâce à Dieu, pour nous avoir accordé santé et courage jusqu'à l'aboutissement de nos études, et l'accomplissement de ce modeste travail.

On remercie particulièrement notre promoteur Mr. BELKESSA.R qui nous a encadrées pendant toute cette période. Son aide et ces orientations nous ont permis de mener à merveille ce travail.

Nous tenons à remercier Mme BOUDOUMA.Z qui nous a aidées dans toutes les parties de ce travail, et sans oublier l'ensemble du personnel du LEM, ANCC, CNL et DTP pour leur merveilleux accueil, et d'avoir facilité la consultation des documents nécessaires pour notre travail.

On tient à remercier Mr. OTMANI.H d'avoir accepté de présider le jury de cette soutenance
Mr. BACHOUCHE.S et Mr. DAHMANI.AEH d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Enfin nos vifs remerciements, à toutes les personnes qui nous ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de fin d'étude.

HELLAL et MEZZAR

Je dédie ce Modeste travail ...

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À mes chers et adorable frères Idir et Khalef

Pour leur appui et leur encouragement, leur soutien moral et pour leurs présence depuis toujours à mes coté...

À mon cher oncle Kaci

Qui m'avez toujours encouragée dans toutes les étapes de ma vie et qui n'a jamais cessé de me soutenir durant toutes mes années d'étude...

À mes grandes mères chéries

Qui m'ont accompagnée par leurs prières, leurs douceurs, puisse Dieu les prêter longue vie et beaucoup de santé et de bonheur dans leurs vies.

À mon grand-père

Pour sa présence et ces encouragements, puisse Dieu lui prête longue vie et beaucoup de santé.

A toute ma famille mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines pour leurs aide et leurs soutiens.

À mes amis de toujours

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Bahia

Je dédie ce Modeste travail ...

À mes chers parents

Aucune dédicace ne saurait exprimer mon respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que vous avez consenti pour mon instruction et mon bien être.

Je vous remercie pour tout le soutien et l'amour que vous me portez depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction m'accompagne toujours.

Que ce modeste travail soit l'exaucement de vos vœux tant formulés, le fruit de vos innombrables sacrifices, bien que je ne vous en acquitterai jamais assez.

Puisse Dieu, le Très Haut, vous accorder santé, bonheur et longue vie et faire en sorte que jamais je ne vous déçoive.

À mes chers et adorable frères Ahmed et Idir

Pour leur appui et leur encouragement et leur soutien moral, je vous remercie infiniment pour votre présence depuis toujours à mes côtés...

À ma chère sœur Thanina

Ma conseillère, et amie fidèle, qui m'a assistée dans les moments difficiles et m'a pris doucement par la main pour traverser ensemble des épreuves pénibles....

Je te suis très reconnaissante, et je ne te remercie jamais assez pour ton amabilité, ta générosité, ton aide précieuse.

À ma grand-mère chérie

Qui m'a accompagnée par ses prières, sa douceur, puisse Dieu lui prêter paix.

À mon cher oncle Hakim :

Qui m'a toujours encouragée dans toutes les étapes de ma vie et qui n'a jamais cessé de me soutenir durant toutes mes années d'étude...

À mon grand-père

Pour sa présence et ces encouragements Dieu lui prêter longue vie et beaucoup de santé.

A toute ma famille mes oncles, mes tantes, mes cousins et mes cousines pour leurs aide et leurs soutiens.

À mes amis de toujours :

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Cylia

Table des matières

Table des matières.....	5
Liste des figures.....	9
Liste des tableaux.....	10
Liste des acronymes.....	10
Introduction générale.....	11
 Chapitre I : Synthèse bibliographique (Le littoral dans le contexte du changement climatique).	
Introduction.....	14
1. Concept général de changement climatique.....	14
1.1. Changement climatique.....	15
1.1.1. Les causes du changement climatique.....	15
1.2. Le réchauffement climatique.....	15
1.2.1. Les causes naturelles et anthropiques du réchauffement climatique.....	16
1.2.2. Connaissances sur le réchauffement climatiques.....	17
1.2.3. Conséquences générales du réchauffement climatique.....	18
2. Le changement climatique le milieu marin et le littoral.....	19
2.1. Impact de changement climatique sur le climat maritime et les littoraux.....	19
2.1. a. Hausse des températures.....	19
2.1. b. Perturbation des précipitations.....	19
2.1. c. Impact du changement climatique sur les tempêtes et les cyclones.....	19
2.1.d. Modification des vagues à la côte.....	20
2.1.e. Surcôte et décôte.....	20
2.1. f. Le phénomène des submersions marines.....	20
2.1. g. Érosion – Accrétion.....	21
2.1. h. Courants marins (Circulation océanique générale, régionale, locale).....	21
2.1. i. Accentuation de la salinisation des eaux souterraines littorales.....	22
2.1. j. Stratification marine	22
2.1. k. Acidification de l’océan.....	22
2.1. l. Impacts socio-économiques.....	22
2.2. Impact du changement climatique sur la biodiversité des régions littorales.....	22
2.3. Sur le milieu marin.....	23
3.3.1. Élévation du niveau de la mer : Causes et conséquences.....	23

2.3.1.a. Les fluctuations du niveau de la mer au cours des temps géologiques.....	23
2.3.1.b. Les variations du niveau de la mer au cours du 20ème siècle.....	23
2.3.2. Moyens de mesure et d’observation du niveau marin.....	24
2.3.2.a. Les marégraphes.....	24
2.3.2.b. Les radars embarqués sur les satellites altimètres.....	24
2.3.3. Les principaux facteurs de variation du niveau de la mer.....	25
2.3.4. Une élévation inéluctable du niveau de la mer à l’échelle globale.....	26
2.3.5. Le changement climatique à l’échelle régionale.....	26
2.3.5.a . Projet CIRCE : des projections climatiques de haute résolution pour le bassin Méditerranéen.....	26
2.3.5.b. L’élévation de niveau des eaux et les villes méditerranéennes.....	26
2.3.6. Le changement climatique à l’échelle locale «Algérie » (élévation du niveau de la mer).....	27
3. Le littoral algérien et la problématique de l’élévation du niveau de la mer.....	27
4. La vigilance « Vagues-submersion ».....	28
4.1. Quelques situations remarquables.....	28
4.1.a. Submersions.....	28
4.1.b. Tsunamis.....	28
5. Coût des évènements naturels en Algérie.....	29
6. Stratégie nationale pour anticiper l’impact du changement climatique.....	29
Conclusion du chapitre.....	30

Chapitre II : Cadre général de la zone d’étude

1. Cadre géographique.....	33
2. Cadre géologique et géomorphologique.....	34
2.a. Caractéristiques géologiques.....	34
2.b. Caractéristiques géomorphologiques.....	35
3. Cadre climatique et hydrographique.....	36
3.1. Climat.....	36
3.1.A. Les précipitations.....	36
3.1.B. Les températures.....	37
3.1.C. Le Vent.....	37
3.1.D. Hydrographie.....	38
4. Cadre océanographique.....	39

4.1. Régime de la houle.....	39
4. 2. Les courants.....	40
4.2.1. Les courants de la circulation générale.....	40
4.2.2. Les courants dus à la marée ou induits par les vents.....	40
4.2.3. Les courants de houle.....	41
4.2.4. La marée et les variations du niveau marin.....	42
5. Cadre sédimentologique.....	43
5.1. Répartition des sédiments.....	43
5.2. Dynamique sédimentaire.....	43
6. Description des aménagements maritimes de la baie d'Alger.....	44

Chapitre III : Submersion marine

1. Cartographie de la submersion sur les côtes basses de la baie d'Alger.....	50
1.1. Méthode d'estimation des pertes de terres dues à la submersion marine.....	51
1.2. Résultats de la cartographie des niveaux d'inondation.....	53
1.3. Discussion.....	55
1.3.1. Niveau minimum d'inondation de (3.5m).....	55
Conclusion.....	56
2. Etude de la submersion des ouvrages maritimes de la baie d'Alger.....	57
2.1. Méthode d'estimation de la submersion des ouvrages.....	57
2.1.a. CRESS (Coastal and River Engineering Support System).....	57
i. Présentation du logiciel.....	57
ii. Choix de la routine de calcul.....	58
iii. Présentation de la routine « Vague dépassant une digue, selon les directives néerlandaises ».....	59
2.1. b. Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures (EurOtop).....	62
i. Présentation.....	62
i. 1. Manuel sur le franchissement des vagues des défenses maritimes et des structures connexes.....	62
i. 2. Réseau de neurones artificiels EurOtop ANN.....	63
i. 3. Site web d'EurOtop.....	63
ii. Choix de l'outil de calcul du dépassement.....	64
iii. Présentation de PC-Overtopping.....	64
2.2. Résultats du dépassement sur les deux logiciels.....	68

2.3. Discussion.....	73
2.3.1. Analyse et interprétation des résultats obtenus sur CRESS.....	73
2.3.2. L’analyse des résultats obtenus sur le logiciel EurOtop.....	73
Conclusion.....	74
Conclusion chapitre.....	75

Chapitre IV : Adaptation des ouvrages maritimes vis-à-vis l’élévation du niveau de la mer dû aux changements climatiques

Introduction.....	77
1. Méthode pour choisir l’adaptation des ouvrages maritimes vis-à-vis l’élévation du niveau de la mer dû aux changements climatiques.....	78
1.1. Choix et conditionnement de l’ouvrage de référence.....	78
1.2. Estimation de l’effet d’une surélévation du niveau moyen de 1 m sur l’ouvrage de référence (Les résultats d’EurOtop à des conditions initiales).....	79
1.2.1. Rehausse du mur de couronnement avec ou sans béquet de déflexion (Variante 01).....	81
1.2.2. Digue détachée avec immersion de 4.5 m (Variante 02).....	83
1.2.3. Digue détachée avec immersion de 2 m (Variante 03).....	83
1.2.4. Troisième couche de blocs artificiels sur la carapace (Variante 04).....	84
1.2.5. Troisième couche de blocs artificiels sur la carapace et rehausse du mur de couronnement (Variante 05).....	85
2. Résultats du renforcement de la digue virtuelle.....	85
3. Discussion.....	87
Conclusion.....	87

Chapitre V : Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC)

1. L’objectif d’une GIZC.....	89
2. Approche du programme GIZC dans la baie d’Alger.....	90
3. Interprétation.....	100
Conclusion générale.....	101
Références bibliographiques.....	103
Annexes.....	114

Liste des figures :

Fig I .01 : Evaluation des gazes à effet de serre.....	16
Fig I .02 : Changements observés entre changements observés entre 1950 et 2010.....	16
Fig I.03 : L'Effet de serre et son impact sur la température globale moyenne.....	17
Fig I.04 : Schéma d'un phénomène de vagues-submersion au passage d'une tempête tirée.....	21
Fig I.05 : Courbe de niveau de la mer du 20 ^{ème} siècle (en noir et l'incertitude associée en gris clair) en fonction de la reconstruction passée du niveau de la mer.....	24
Fig I.06 : Principe de mesure de l'altimétrie satellitaire.....	25
Fig I .07 : Croquis montrant les principaux facteurs provoquant des changements du niveau de la mer.....	25
Fig I .8 : Impact biophysiques et socio-économique potentiels du changement climatique dans les zones côtières.....	31
Fig II .01: Zone d'étude (communes de la baie d'Alger).....	33
Fig II .02 : Carte géologique de la baie d'Alger et sa région.....	34
Fig II .03 : Répartition annuelle des précipitations (mm) dans la baie d'Alger(RP5, 2019)	36
Fig II .04 : Répartition annuelle des température (°C) dans la baie d'Alger(RP5, 2019)	37
Fig II .05 : Rose des vents faites à la base des données IOWAGA dans un point d'extraction 37°N 3°E au large à l'aide du mike 21, entre 1990 et 2019.....	38
Fig II .06 : Rose des houles faites à la base des données IOWAGA dans un point d'extraction 37°N 3°E au large à l'aide du mike 21, entre 1990 et 2019.....	40
Fig II.07 : Courants côtiers de houle dans la baie d'Alger.....	41
Fig II.08 : Correspondance entre les systèmes altimétriques à Alger.....	42
Fig II.09 : Carte bathysédimentologique de la baie d'Alger.....	43
Fig II.10 : Les aménagements de la baie d'Alger.....	44
Fig III.01 : Schéma montrant les principaux processus hydrodynamiques pour le calcul des niveaux d'eau extrêmes à la côte.....	51
Fig III.02 : Pertes des terres dues à la submersion marine à l'horizon 2100, baie d'Alger.....	53
Fig III.03 : Pertes des terres dues à la submersion marine à l'horizon 2100, partie orientale de la baie d'Alger.....	54
Fig III. 04 : Pertes des terres dues à la submersion marine à l'horizon 2100, partie occidentale de la baie d'Alger.....	55
Fig III. 05 : Fenêtre de l'outil de calcul CRESS.....	58
Fig III.06 : Fenêtre des routines pour l'estimation du dépassement sur l'outil de calcul CRESS	58
Fig III .07 : Fenêtre de la routine « Vague dépassant une digue » selon les directives néerlandaises pour l'estimation du dépassement sur l'outil de calcul CRESS.....	59
Fig III.08 : Tableau, les coordonnées des changements de pente, ainsi que la rugosité de chaque section.....	60
Fig III.09 : Données d'entrée sur PC-Overtopping.....	65
Fig III.10 : Tableaux en sortie de PC-Overtopping.....	67
Fig III.11 : Vérification au niveau de montée de 2%.....	67
Fig III.12 : vérification du débit moyen de dépassement.....	67
Fig IV.01 : Schéma représentatif de la section de référence de la digue virtuelle.....	79
Fig IV.02 : Graphiques représentatifs des variations de franchissement en fonction de la hauteur de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (Hs, Tm).....	80
Fig. IV 03 : Graphiques représentatifs des variations de franchissement fonction des hauteurs de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (Hs, Tm) avec rehausse du mur de couronnement.....	82
Fig. IV 04 : Graphiques représentatifs des variations de franchissement en fonction de la hauteur de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (Hs, Tm) avec une troisième couche des BCR sur la carapace.....	84
Fig. IV 05 : Graphiques représentatifs des variations de franchissement par rapport à la hauteur de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (Hs, Tm) pour une carapace à 3 couches de BCR et une rehausse du mur de couronnement de 2 m.....	86
Fig V.01 : Les pressions et impacts sur la baie d'Alger.....	99

Liste des tableaux :

Tableau II. 1 : Caractéristiques générales d’Oued El-Harrach et El Hamiz (ANRH, 2014).....	39
Tableau II.02 : Paramètres du profil quai Guelma, Port d’Alger.....	45
Tableau II.03 : Paramètres du profil (41) jetée Mustapha, port d’Alger (LEM, 2003).....	45
Tableau II .04 : Paramètres du profil (DD) partie coude de la jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017).....	45
Tableau II .05 : Paramètres du profil (H1-H1) épi ouest, Sablettes (LEM, 2017).....	46
Tableau II .06 : Paramètres du profil (CC) jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017).....	46
Tableau II .07 : Paramètres du profil quai, jetée n°02, Sablettes (LEM, 2015).....	46
Tableau II .08 : Paramètres du profil partie musoir, jetée n°02, Sablettes (LEM, 2015).....	46
Tableau II .09 : Paramètres du profil (A) épi, El Harrach (LEM, 1993).....	47
Tableau II .10 : Paramètres du profil (2-2) jetée, Mohammadia (LEM, 2019).....	47
Tableau II .11 : Paramètres du profil (B/B) épi A, Verte Rive (LEM, 2017).....	47
Tableau II .12 : Paramètres du profil (B-B) épi 2, embouchure d’oued El Hamiz (LEM, 2014).....	48
Tableau II .13 : Paramètres du profil (A) protection frontale, Stamboul (LEM, juillet1998).....	48
Tableau II .14 : Paramètres du profil (b) jetée principale, Port de Tamenfoust (LEM, 2007).....	48
Tableau II .15 : Paramètres du profil quai jetée principale, Port de Tamenfoust (LEM, 2007).....	48
Tableau III.01 : Niveau d’inondation minimum et maximum, sur la baie d’Alger	52
Tableau III. 02 : Superficies inondées dues à la submersion marine en 2100, côte de la baie de d’Alger.....	55
Tableau III. 03 : Liste des paramètres d’entrée sur CRESS.....	60
Tableau III. 04 : Liste des paramètres de sortie sur CRESS.....	61
Tableau III. 05 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour Hs=2.5m.....	69
Tableau III. 06 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour Hs=3.5m.....	70
Tableau III. 07 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour Hs=7.5m.....	71
Tableau III. 08 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour Hs=8.5m.....	72
Tableau IV.09 : Paramètres descriptifs de la digue virtuelle.....	78

Liste des acronymes :

- A.N.C.C :** Agence Nationale des Changements Climatiques
- CLASH:** Crest Level Assessment of Coastal Structures by Full-scale Monitoring, NeuralNetwork Prediction and Hazard Analysis on Permissible Wave Overtopping.
- CRESS:** Coastal and River Engineering Support System
- IPCC:** Intergovernmental Panel on Climate Change
- GIEC :** Groupe Inter des Experts sur l’Evolution du Climat
- GIZC :** Gestion Intégrée des Zones Côtière
- JICA:** Japan International Cooperation Agency
- L.E.M :** Laboratoire d’Etude Maritime
- O.N.M :** Office National de Météorologie
- S.S.M.O:** Summary of Synotip Météorologie Observations
- TAW:** Technical Report Wave Run-up And Wave Overtopping at Dikeset
- UNESCO IHE:** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Institute of Higher Education
- IOWAGA :** Interdisciplinary Ocean Wave for Geophysical and other applications

Introduction générale :

Le changement climatique est annoncé comme l'un des plus grands défis, auxquels les sociétés humaines contemporaines se trouvent désormais confrontées. Les processus climatiques en cours, à l'échelle mondiale indiquent, à la mesure d'indices et d'indicateurs régulièrement évalués et actualisés, que les effets induits par l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre ces dernières décennies entraînent des modifications de grands cycles et équilibres dynamiques aux plans physiques et bioclimatiques (Nicolas Rocle, 2017).

Les littoraux l'instar des autres espaces sont caractérisés comme des espaces extrêmement riches au plan écologique, mais parallèlement très vulnérables aux perturbations anthropiques et climatiques, car situés à l'interface de nombreux compartiments environnementaux, usages et activités humaines, dont l'expression « interface terre-mer » rend compte de manière synthétique. Les littoraux constituent en outre des territoires de vie très dynamiques et attractifs.

Aujourd'hui, il est largement admis que les catastrophes côtières sont assignables au changement climatique planétaire. Ces catastrophes naturelles auront un impact négatif sur la zone côtière dans la mesure où elle abrite des établissements humains et des infrastructures. Longue d'un peu plus de 1600 km, la côte algérienne constitue un atout indéniable pour le développement économique et social de tout le territoire national algérien, en particulier le développement du tourisme. Cette côte présente également certains risques pour son exploitation et son développement, y compris les problèmes liés à l'érosion et les inondations côtières. Ces impacts peuvent augmenter avec l'élévation attendue du niveau marin (Jiménez et Sánchez-Arcilla 1997). L'élévation effective et attendue du niveau de la mer Méditerranée représente l'un des enjeux majeurs pour l'Algérie durant les années à venir.

La baie d'Alger se caractérise par une l'occupation humaine excessive et parfois anarchique. Vu sa faible topographie, elle est devenu vulnérable face à des nouvelles épisodes de hausse du niveau moyen de la mer Méditerranée et l'amplification des phénomènes de submersions marines. D'après ce contexte, l'étude présentée dans ce mémoire s'intéresse sur l'impact de cette élévation sur toute la baie d'Alger et en particulier sur les ouvrages maritimes et les majeures stratégies d'adaptation de ces dernières face aux inondations extrêmes. Alors Comment peut-on prévoir et estimer l'impact d'un événement extrême dû à une surélévation des niveaux des eaux, sur la zone côtière et particulièrement sur les ouvrages maritimes, de la baie d'Alger ? quelles seront les meilleures adaptations pour ces ouvrages ?

Le présent mémoire s'articule en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre, on a fait une synthèse bibliographique où on a exploité des notions de base pour traiter la problématique des changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer qui en découle.

Le second chapitre est consacré pour présenter un état des connaissances sur notre zone d'étude et énumérer les principales caractéristiques des ouvrages maritimes présents le long de la baie.

Le troisième chapitre se porte sur les impacts probables des futures élévations des niveaux moyens des eaux méditerranéennes sur la baie d'Alger. S'est organisée en :

- Estimation de deux scénarios d'élévation : Le premier scénario avec un niveau d'inondation minimum dû à des houles de tempêtes et le deuxième avec un niveau maximum dû à des houles extrêmes.
- L'adoption des deux scénarios nous a permis de cartographier des zones de la baie susceptible d'être inondé, à l'horizon de 2100, suite à des événements extrêmes.
- L'adoption des scénarios pour réaliser une étude de la submersion sur les ouvrages maritime et estimations des débits dernier chaque ouvrage.

Le quatrième chapitre, porte sur les solutions de réaménagement des ouvrages de protection pour qu'ils puissent faire face à des événements extrêmes avenir. On a consacré l'étude pour une digue dite de référence, présentant l'ensemble des ouvrages de la baie.

Le cinquième chapitre s'intitule une étude GIZC avec des stratégies d'adaptation à long terme.

Enfin, une conclusion générale qui tente de synthétiser, d'une manière illustrative les principaux résultats acquis et de faire ressortir les renseignements essentiels.

Chapitre I : Synthèse bibliographique (Le littoral dans le contexte de changement climatique).

Chapitre I : Synthèse bibliographique (Le littoral dans le contexte du changement climatique).

Introduction :

Les scientifique, les experts du climat sont formels : La terre se réchauffe et à un rythme soutenu. En cause, l'augmentation des gaz à effet de serre d'origine humaine, avec des crises sanitaires, écologiques et humanitaire dont nous voyons les prémices. Malgré cela, la lutte contre le changement climatique est une véritable opportunité de transition vers un bas carbone, le changement climatique est une véritable problématique à l'échelle locale, nationale et internationale.

Dans ce qui suit, on va répondre aux questions suivantes, afin de synthétiser tout ce qui en rapport avec le littoral dans le contexte du changement climatique :

C'est quoi le changement climatique, ses causes ces conséquences ?

Quel est le rapport entre les changements climatiques et le milieu marin et littoral ?

Que peut-on dire de l'impact de la montée des eaux marines (submersion marine) dû aux changements climatiques sur le littoral, à l'échelle globale et régionale ?

1. Concept général du changement climatique :

Il désigne l'ensemble des variations dans les composantes et les caractéristiques du climat terrestre en un endroit donné, au cours du temps : réchauffement ou refroidissement. (*Changement climatique - Définition, s. d.*)

Le thème de « changement climatique » est défini par les communautés scientifique avec des manières différentes mais toutes les définitions se tablent et se rejoignent sur la modification des composantes climatique planétaire telle que les précipitations la température le vent. Sans pour autant s'accorder sur le rôle qu'a joué et que joue encore l'homme, à travers ces activités quotidiennes dans la modification de système du climat. (**Djouder 2018**)

1.1. Changement climatique :

1.1.1. Les causes du changement climatique :

Les changements ont toujours caractérisé le climat terrestre et ont marqué l'humanité. Durant des siècles voire des millénaires. À chaque époque de notre histoire correspondaient des conditions climatiques particulières qui ont favorisé le progrès ou la déchéance de nombreuses civilisations. Il en convient alors d'étudier les origines et les impacts passés du phénomène pour en tirer le maximum d'enseignements et s'adapter dans le futur (**Djouder 2018**).

Les causes principales du changement climatique sont (**Djouder 2018**) :

- L'activité solaire et les paramètres astronomiques ;
- L'activité volcanique ;
- La circulation thermohaline ;
- L'oscillation Nord-Atlantique(ONA) ;
- L'effet de serre.

1.2. Le réchauffement climatique :

Le réchauffement climatique est le constat d'une augmentation de la température terrestre moyenne sur de longues périodes. On parle aussi de changement climatique ou de dérèglements climatiques car on note des changements importants dans les phénomènes climatiques : plus de canicules, ou inversement plus de précipitations, fréquence des tempêtes ou des ouragans plus élevée, etc (**IPCC, 2013**).

Il s'agit d'étudier et d'anticiper les variations de température pour l'ensemble du globe et sur des temps longs (étude du climat à grande échelle) et non la variabilité des températures à l'échelle de quelques jours ou sur une saison (prévisions météorologiques) (**IPCC, 2013**).

Le réchauffement du système climatique est sans équivoque et depuis les années 1950, beaucoup de changements observés sont sans précédent depuis des décennies voire des millénaires. L'atmosphère et l'océan se sont réchauffés, la couverture de neige et de glace a diminué, le niveau des mers s'est élevé et les concentrations des gaz à effet de serre ont augmenté (**IPCC, 2013**).

1.2.1. Les causes naturelles et anthropiques du réchauffement climatique :

Les processus naturels et anthropiques ne sont pas constants dans le temps. Idem pour les gaz à effet de serre et les nombreuses substances, sillonnant l’atmosphère, dont la concentration fluctue considérablement. Ces processus, ces gaz et ces substances (aérosols), par les variations qui accompagnent leur évolution dans le temps, influencent fortement le bilan énergétique du système climatique terrestre et contribuent aux changements climatiques.

L’influence humaine sur le système climatique est claire, et les récentes émissions anthropiques de gaz à effet de serre sont les plus élevées dans l’histoire (**GIEC 2014**).

Parmi les causes du réchauffement, les activités anthropiques telles que la pollution incombent, en premier lieu, à la forte dépendance de l’économie mondiale aux énergies fossiles, pour les besoins des moyens de locomotion, le chauffage de l’habitat et de l’industrie. Ceux-ci ont largement pris l’ascendant sur les processus naturels et les concentrations atteintes par les gaz à effet de serre depuis 1750 en sont la preuve irréfutable. En conséquence, les émissions de CO₂ provenant de la combustion de combustibles fossiles et les procédés industriels ont contribué pour environ 78 % de l’augmentation totale des émissions.

La combustion du charbon est responsable de près de 60% de la hausse des émissions mondiales et il ne faut pas oublier la déforestation et les autres changements d’utilisation des sols contribuent aussi au changement du climat.

Les deux figures présentant ci-dessous présentent l’évaluation des gazes à effet de serre et du réchauffement observé entre (1950-2010) (**GIEC 2014**).

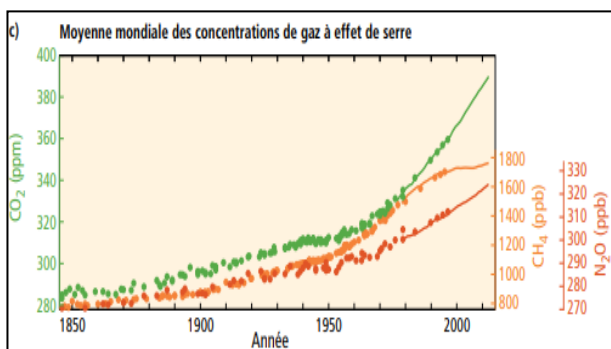


Fig I.01: Evaluation des gaz à effet de serre (**GIEC, 2014**)

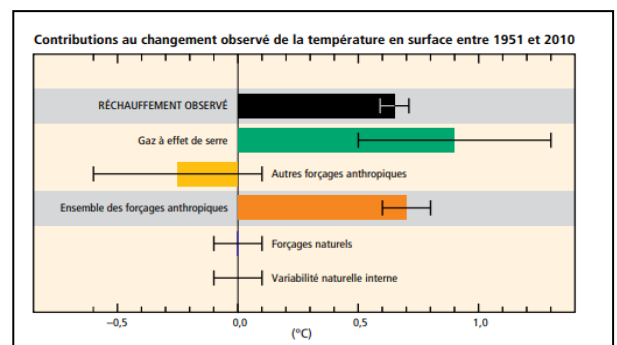


Fig I.02 : Changements observés entre changements observés entre 1950 et 2010 (**GIEC 2014**)

1.2.2. Connaissances sur le réchauffement climatique :

On sait que l'atmosphère de la Terre laisse passer la lumière du soleil qui réchauffe la surface du globe. La chaleur qui s'élève de la surface est en partie absorbée par les gaz et la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère – on appelle ce processus naturel «effet de serre». En l'absence de gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4) et oxyde nitreux (N_2O)), la plus grande partie de la chaleur pénétrant dans l'atmosphère terrestre serait directement réémise dans l'espace, et la température moyenne de la Terre serait de $-18\text{ }^\circ\text{C}$ au lieu de $15\text{ }^\circ\text{C}$ (**Fig I.03**). Au cours des 10 000 dernières années, la quantité de ces gaz à effet de serre présente dans notre atmosphère est demeurée relativement constante et a permis à la Terre de conserver un climat relativement stable. La concentration de ces gaz a commencé à grimper avec l'avènement de l'industrialisation, la hausse de la demande en énergie, la croissance démographique et les changements dans l'utilisation du territoire(**Alain Bourque, septembre 2000**)

L'expérience, qui a donc débuté avec l'industrialisation, consiste donc à maintenir l'augmentation dans la concentration atmosphérique de gaz à effet de serre en brûlant d'énorme quantité de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz naturel qui génère d'importante quantité de CO_2) et en poursuivant la déforestation (la forêt débarrasse l'atmosphère de CO_2). L'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre accentue l'effet de serre naturel et fait monter la température moyenne de la surface du globe. Ce réchauffement de la planète cause des changements climatiques pour l'ensemble des paramètres du climat car il déclenche une modification des circulations atmosphériques et des autres sous-systèmes du système climatique(**Alain Bourque, septembre 2000**)

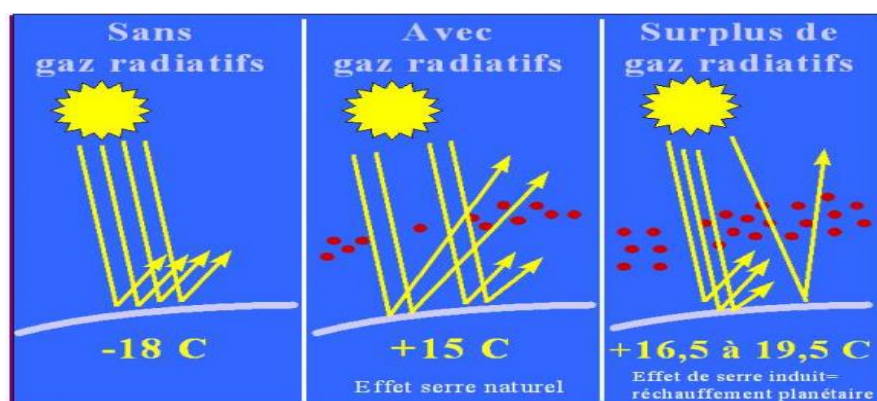


Fig I.03 : Effet de serre et son impact sur la température globale moyenne (**Alain Bourque, septembre 2000**)

1.2.3. Conséquences générales du réchauffement climatique :

Le réchauffement de l'atmosphère et des océans induit par la hausse de la température moyenne mondiale a des conséquences qui s'expriment à des échelles différentes.

À grande échelle, cette hausse de température engendre la fonte des calottes polaires et des glaciers et donc la réduction des surfaces couvertes par la glace et la neige permanente (Oppenheimer 1998 ; Arendt et al. 2002 ; Arrigo et Thomas 2004 ; Vaughan 2005 ; Joughin 2006 ; GIEC 2014) et une augmentation des températures des eaux de surface de la mer (Gille 2002 ; Hegerl et Bindoff 2005 ; GIEC 2007-2014).

Ces deux facteurs contribuent ensemble à :

- L'élévation du niveau de la mer (Douglas 1995 ; Church 2001 ; Church & White 2006 ; Mather 2007 ; Rahmstorf 2007 ; Rahmstorf et al. 2007 ; GIEC 2014) ;
- La diminution de la salinité des océans (Munk 2003 ; GIEC 2007) ;
- La baisse du pH des océans (Caldeira et Wickett 2003) ;
- Les changements dans les régimes des tempêtes et des précipitations (Benavente et al. 2006 ; Huntington 2006 ; Naidu et al. 2006 ; GIEC 2007) ;
- Les augmentations possibles de l'activité des cyclones tropicaux (Knutson et al. 1998 ; Webster et al. 2005 ; Hoyos et al. 2006 ; Landsea et al. 2006 ; GIEC 2007) ;
- L'arrêt potentiel de la circulation Thermo haline (Broecker 1997 ; Broecker et al. 1999 ; Clark et al. 2002 ; Wunsch 2002 ; IPCC 2007).

Au cours de notre travail d'étude, on s'intéressera au changement climatique dans le milieu marin et plus précisément le changement climatique dans les zones côtières.

- **Les systèmes côtiers et les zones de faible altitude :**

Sous l'impulsion des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer, les systèmes côtiers et les zones côtières particulièrement celles basses subiront de plus en plus d'effets négatifs tels que les inondations et l'érosion (McLean et al. 2001 ; Nicholls 2002 ; Klein et al. 2003 ; Nicholls et al. 2006 ; Nicholls et al. 2007 ; GIEC/IPCC 2014).

2. Le changement climatique le milieu marin et le littoral :

2.1. Impact de changement climatique sur le climat maritime et les littoraux :

2.1. a. Hausse des températures :

La hausse des températures induite par l'augmentation de la concentration des GES se manifeste à la fois sur les continents et sur les océans. Dans son dernier rapport publié en 2014, (GIEC) estime que la température mondiale de l'air près de la surface a connu une tendance à la hausse d'environ 0,85 °C entre 1880 et 2012. Cette hausse est plus forte, environ le double, au-dessus des terres qu'au-dessus des océans (GIEC, 2014). et les régions côtières connaissent au cours d'une année des amplitudes de température sensiblement plus faibles que les régions plus continentales.

Même en l'absence d'études spécifiques aux littoraux sur l'ensemble du globe, il est raisonnable de considérer qu'en général le littoral se réchauffe à un taux intermédiaire entre ceux respectifs de l'océan et des terres qu'il sépare.

2.1. b. Perturbation des précipitations :

les précipitations à l'horizon de la fin du XXI^e siècle devraient diminuer sensiblement particulièrement sur les régions méditerranéennes (Ouzau et al., 2014). Il faut noter que même dans les zones où les précipitations devraient diminuer en moyenne annuelle, les pluies seront en général plus intenses, mais sur des périodes plus courtes, favorisant, dans les zones littorales qui s'y prêtent, des éboulements de falaise ou des glissements de terrain.

2.1. c. Impact du changement climatique sur les tempêtes et les cyclones :

Les tempêtes, qui ont lieu plutôt en hiver sur la côte atlantique et en automne sur la côte méditerranéenne, jouent un rôle extrêmement important sur de nombreux aspects du littoral. Pendant des siècles, et continuent à causer d'importants dégâts dans les zones littorales, avec parfois des conséquences humaines dramatiques en cas de submersion, comme lors des tempêtes qui a connu la Méditerranée régulièrement, parfois exceptionnelles, comme en novembre 1982 et décembre 1972, qui entraînent des dégâts.

2.1.d. Modification des vagues à la côte :

Cette élévation aura peu d'impact sur les houles qui se propagent en grande profondeur mais un impact fort sur celles se propageant en profondeurs plus faibles au niveau des côtes (Wang et Swail, 2004), (Teisson, 1992).

2.1.e. Surcôte et décôte :

Les modifications des régimes de tempêtes viendront modifier les processus d'apparition des surcôtes (Ou décôtes), liées directement aux conditions de vent et de pression. D'autre part, l'élévation du niveau moyen de la mer viendra modifier leur propagation (CGDD, 2011).

Dans le cas de la Méditerranée, il y aurait un impact faiblement modérateur des changements de conditions atmosphériques sur la fréquence des surcôtes extrêmes. Ce serait d'un ordre de grandeur inférieur à l'impact de la hausse du niveau marin (Ullman, 2008).

2.1. f. Le phénomène des submersions marines

La submersion marine est liée à une forte élévation du niveau de la mer résultant de la conjugaison de plusieurs phénomènes :

- La marée, due aux phénomènes astronomiques et modulée par la géographie du rivage plus le coefficient de marée est fort, plus le niveau de la mer à marée haute est élevé ;
- Une surélévation du niveau de la mer (surcote météorologique) par rapport au niveau imputable à la seule marée, due aux conditions atmosphériques.
- Le passage d'une dépression tempétueuse produit une surélévation du niveau marin selon trois processus principaux :
 - La baisse de la pression atmosphérique (le poids de l'air sur la surface de la mer décroît ce qui fait monter le niveau de l'eau). Une diminution de la pression atmosphérique d'un hectopascal (hPa) équivaut approximativement à une élévation d'un 33 centimètre du niveau de la mer ;
 - La forte houle ou les vagues déferlant à la côte contribuent à augmenter la hauteur d'eau ;
 - Le vent dirigé vers la côte accumule des quantités d'eau sur le littoral. Cet effet est considérablement amplifié dans les zones de faibles profondeurs (plateaux

continentaux, aires maritimes peu profondes) ou de côtes en forme d'entonnoir (estuaires, baies).

Les fonds marins et leur nature (sable, vase, galets, etc.) qui accélère ou freine la propagation de la vague sur la côte, les caractéristiques du rivage telles que l'orientation de la côte par rapport à la direction dans laquelle se propagent les vagues interviennent sur les houles. Ainsi, le déferlement de fortes vagues sur le rivage peut franchir, fragiliser ou endommager les jetées, digues et autres infrastructures. Un autre phénomène de surcote peut s'ajouter dans les estuaires lorsque l'écoulement des eaux fluviales est contrarié par des vents contraires. Les conséquences peuvent devenir dramatiques lorsque le débit du fleuve est accru par de fortes précipitations (Paul Vergès, 2015).



Fig I.04 : Schéma d'un phénomène de vagues-submersion au passage d'une tempête tirée (M.Hontarrède, Météo-France, La Rochelle 2014).

2.1. g. Érosion – Accrétion

L'érosion est définie comme un gain d'espace de la mer sur la terre et l'accrétion comme un gain de la terre sur la mer, s'observant sur des périodes suffisamment longues (EuroSION, 2004).

2.1. h. Courants marins (Circulation océanique générale, régionale, locale)

De façon générale la modification du courant marin conduit à un changement de la productivité des écosystèmes marins ce faisant une diminution des pêches. Et à propos du tourisme parmi les effets expectants à long terme des modifications des conditions de baignade (Accentuation des courants, refroidissement des eaux ... etc.) (CGDD, 2011).

2.1. i. Accentuation de la salinisation des eaux souterraines littorales

L'exploitation des aquifères littoraux influence considérablement la position et la forme de la zone de contact que constitue l'interface eau douce/eau salée. Réciproquement l'évolution de cette interface peut nuire à l'exploitation des eaux souterraines côtières, du fait de la dégradation possible (Augmentation de la salinité) de la qualité de l'eau prélevée. (CGDD, 2011).

2.1. j. Stratification marine :

Un océan très stratifié aura une circulation générale différente de l'actuel. Donc l'augmentation de la stratification marine modifie les courants marins et même la propagation des sons (CGDD, 2011).

2.1. k. Acidification de l'océan :

L'acidité de l'océan augmente au fur et à mesure de l'absorption du dioxyde de carbone (CO₂) de l'atmosphère. Les mesures montrent que le pH en surface a diminué de 0,1 unité depuis 1750 (IPCC, 2007).

2.1. l. Impacts socio-économiques

Même s'il est impossible aujourd'hui d'évaluer précisément quels seront les impacts socio-économiques du changement climatique sur les littoraux méditerranéens. Mais le changement climatique présente une véritable menace sur le plan économique et social.

2.2. Impact du changement climatique sur la biodiversité des régions littorales :

Les écosystèmes qui occupent les zones littorales sont le fruit de processus multiples et très complexes pour lesquels l'environnement climatique joue un rôle particulièrement important. Certaines espèces de zooplanctons requièrent, par exemple, des conditions de température très précises, si bien que les paléo climatologues se servent de leurs traces dans les sédiments pour reconstituer les températures du passé sur plusieurs millions d'années.

2.3. Sur le milieu marin :

2.3.1. Élévation du niveau de la mer : Causes et conséquences

a. Les fluctuations du niveau de la mer au cours des temps géologiques :

Tout au long de son histoire, la planète Terre a enregistré des fluctuations dans le niveau de ses étendues d'eau marines et océaniques (**Kominz 2001 ; Lambeck et Chappell 2001 ; Niazi 2007**).

La tectonique des plaques a été la principale force motrice de ces variations (**Kominz 2001**) avec des impacts importants sur géométrie des bassins océaniques et aussi sur l'étendue et l'étirement des continents(**Djouder 2018**).

Ces changements, qui se sont opérés sur des échelles de temps plus ou moins longues, sont dus soit aux mouvements verticaux de la terre, soit aux variations du volume de l'océan ou dans la plupart des cas à leurs effets combinés (**Sahagian et Jones 1993 ; Lambeck et Chappell 2001**)

b. Les variations du niveau de la mer au cours du 20^{ème} siècle :

La plupart des efforts de recherche visant à estimer les taux d'élévation du niveau de la mer au cours du 20^{ème} siècle se sont basés sur les données obtenues d'un réseau de marégraphes côtiers et insulaires à faible répartition qui a toutefois permis des enregistrements relativement longs et de haute qualité (**Douglas 2001 ; Peltier 2001 ; Woodworth et Player 2003**).

Les estimations les plus récentes de l'élévation du niveau moyen global de la mer au cours du 20^{ème} siècle, basées sur ces enregistrements marégraphiques longs et de bonne qualité (corrigés notamment pour le GIA et, si possible, pour d'autres mouvements verticaux du sol par GPS) ont abouti à un taux moyen d'élévation de 1,6-1,8 mm/an (**Jevrejeva et al., 2006 2008a ;**

Wöppelmann et al. 2007 2009 ; Church et White 2011 ; Meyssignac et Cazenave 2012). Church et White (2011) qui ont retracé les variations du niveau des eaux marines depuis 1870 (**Fig.I.05**) ont démontré que cette élévation n'était pas linéaire, relevant notamment de nombreuses phases de variabilité d'ordre interannuelles et décennales.

Des phases qui rendaient difficile la détection d'une accélération de la montée des eaux (**Woodworth 1990 ; Douglas 1992**).

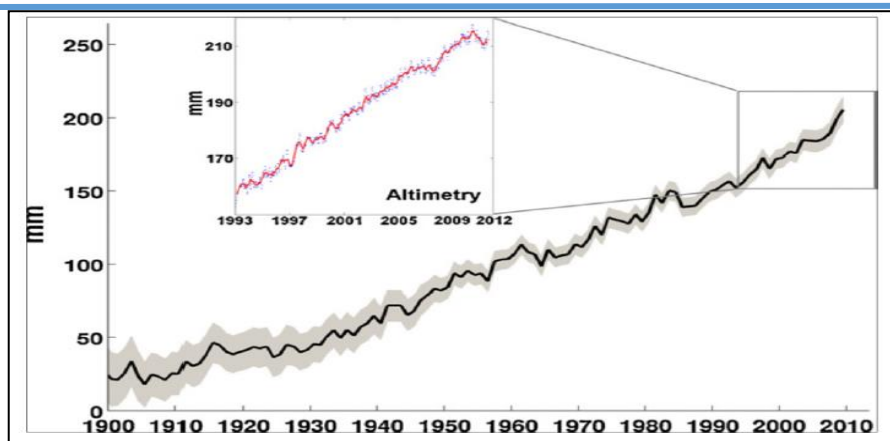


Fig I.05: Courbe de niveau de la mer du 20^{ème} siècle (en noir et l'incertitude associée en gris clair) en fonction de la reconstruction passée du niveau de la mer à l'aide de données marégraphiques et d'informations supplémentaires (de **Church et White 2011**). Dans la boîte: courbe de niveau marin basée sur l'altimétrie entre 1993 et 2011 (Points bleus : données à l'intervalle de 10 jours; la courbe rouge est basée sur un lissage de 3 mois des données bleues).

2.3.2. Moyens de mesure et d'observation du niveau marin :

Au cours de ces dernières années des études ont été menées à fin de quantifier la tendance évolutive de niveau de la mer, avec utilisation de marégraphes pour des mesures direct mais aussi récemment ayant recours aux satellites.

a. Les marégraphes

Les marégraphes ont été utilisés pour fournir une mesure du niveau de la mer et ont permis de retracer et de suivre son évolution au fil du temps. (**Douglas2001 ; Niazi 2007 ; Meyssignac et Cazenave 2012**).

Depuis le début du 20^{ème} siècle, les différents enregistrements marégraphiques ont permis de calculer un taux moyen de montée du niveau moyen global de la mer de $1,7 \pm 0,3$ mm/an (**ex: Jevrejeva et al. 2008a ; Wöppe Imann et al., 2009 ; Church et al. 2011b 2013**). D'autres estimations encore plus récentes ont été également proposées comme celles donnant un taux compris entre 1,2 et 1,9 mm/an (**Jevrejeva et al. 2014; Hay et al.2015**). Toutefois, ces valeurs pourraient ne pas être représentatives en termes de moyenne globale à cause de l'hétérogénéité spatiale et temporelle des données utilisées (**HolgateetWoodworth 2004**).

b. Les radars embarqués sur les satellites altimètres :

Le mécanisme de mesure du niveau de la mer par altimétrie satellitaire est simple (**Chelton et al. 2001 ; Ablain et al. 2017**). L'altimètre radar à bord du satellite transmet une impulsion courte de rayonnement micro-ondes vers la surface de la mer qui se reflète en partie vers le satellite (Fig I.06).

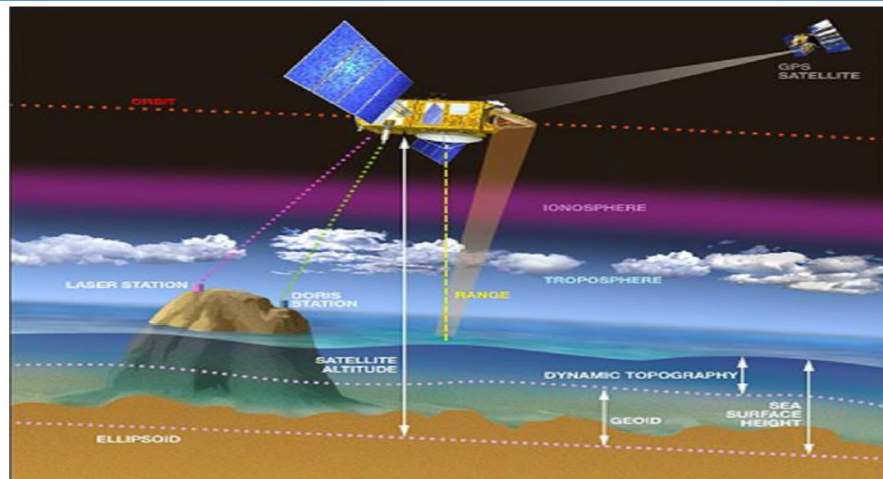


Fig I.06 : Principe de mesure de l'altimétrie satellitaire (Meysignae et Cazenave 2012)

2.3.3. Les principaux facteurs de variation du niveau de la mer :

Les changements du niveau moyen global de la mer ont été attribués aux phénomènes tectoniques au cours des dernières 30 millions d'années (Hall & Holloway 1998) et aux différentes phases de glaciation/déglaciation au cours des 250000 dernières années (Matthews 1990 ; Dawson 1992).

Les études menées sur le budget du niveau de la mer, au cours du 20^{ème} siècle, confirment que le changement climatique induit par les activités humaines est le principal précurseur de cette élévation contemporaine du niveau moyen global des eaux (Djouder, 2018)

La contribution du climat s'est faite notamment par le biais de trois processus :

- L'expansion thermique des eaux marines
- La fonte des glaces terrestres
- Les échanges d'eau entre les réservoirs d'eau terrestre et les océans Fig I .09 (IPCC/GIEC 2007 et 2013 ; Meysignac et Cazenave 2012 ; Cazenave et Le Cozannet 2013).

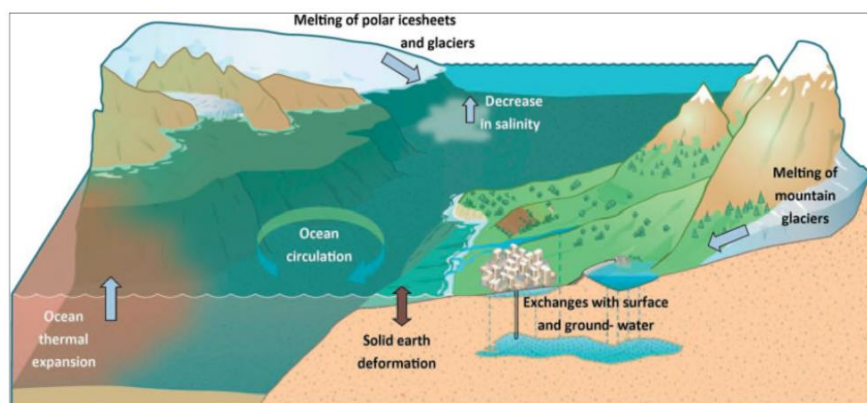


Fig I .07 : Croquis montrant les principaux facteurs provoquant des changements du niveau de la mer (Cazenave Le Cozannet 2013).

2.3.4. Une élévation inéluctable du niveau de la mer à l'échelle globale :

Celle-ci est déjà observée : entre 1900 et 2000, on a relevé une élévation moyenne globale de 1,7 mm/an. La tendance s'accélère actuellement : entre 1993 et 2003, le rythme global a été de 3,1 mm/an, ce qui correspond à une élévation de 31 cm sur un siècle. Les contributions à l'élévation du niveau de la mer sont multiples : dilatation thermique de l'eau due au réchauffement, fonte des glaciers, du Groenland et de l'antarctique, apport des eaux continentales. (GIEC, 2007).

2.3.5. Le changement climatique à l'échelle régionale :

a. Projet CIRCE (climate change and impact research- the Mediterranean Environment): des projections climatiques de haute résolution pour le bassin méditerranéen.

Définition de projet CIRCE : Ceux sont des projections climatiques de haute résolution pour le bassin méditerranéen

Les objectifs de CIRCE se traduisent par : (CNRM, 2014)

- ▶ Simuler le changement climatique régional en Méditerranée
- ▶ Etudier les impacts régionaux du changement climatique en Méditerranée
- ▶ Etudier l'adaptation et la mitigation du changement climatique en Méditerranée

Selon le quatrième rapport d'évaluation du GIEC, les écosystèmes méditerranéens pourraient être parmi les plus touchés par les moteurs du changement mondial.

b. L'élévation de niveau des eaux et les villes méditerranéennes :

Une montée des océans d'eau moins 1mètre due au réchauffement climatique est inévitable dans les 100 à 200 ans qui viennent. Selon les dernières prévisions dévouées par la NASA une augmentation du niveau des mers d'au moins un mètre, est probable (Steve N, 2015). Selon Steve en cas de remontée du niveau de la mer d'un mètre, plusieurs zones habitées de la rive de Sud de la Méditerranée seraient touchées, particulièrement la Tunisie et la chaine de l'Atlas qui s'étend principalement du Maroc à l'Algérie ...en Algérie, le Golfe d'Arzew la remontée s'étendrait à l'intérieur des terres, le port actuel d'Alger serait aussi submergé par la mer, sans que celle-ci atteigne les quartiers du centre villes.

2.3.6. Le changement climatique à l'échelle locale «Algérie» (élévation du niveau de la mer)

Sur la base d'une analyse critique des projections du GIEC et des dernières références bibliographiques sur ce sujet, nous considérons une élévation globale du niveau marin de 20 cm à l'horizon 2030. Signalons qu'il s'agit d'une hypothèse, impossible à affiner sur Alger en l'absence de données marégraphiques disponibles. L'élévation du niveau marin va réactiver ou amplifier le processus d'érosion côtière, et donc de recul du trait de côte. Les plages sableuses risquent de reculer en moyenne de 10 à 20 m selon leurs pentes et leurs granulométries.

3. Le littoral algérien et la problématique de l'élévation du niveau de la mer :

Au cours du 21^{ème} siècle, le changement climatique exercera une pression Supplémentaire sur les systèmes littoraux par rapport à celle qui existe déjà. Il contribuera ainsi à aggraver les aléas côtiers érosion et submersion marine (**Nicholls et al. 2007**).

L'élévation du niveau marin demeure cependant le facteur le plus préoccupant (**Douglas 2001; Church et al. 2004 ; Holgate 2007 ; Cazenave et Llovel 2010 ; Cazenave et Remy 2011 ;Church et al. 2011a ; Meyssignac et al. 2012**). **Nicholls et al. (2007)** prédisent que la hausse du niveau moyen de la mer engendre des rades submersions permanentes des zones basses et que les niveaux marins extrêmes actuels seront atteints plus facilement et plus fréquemment qu'aujourd'hui. Néanmoins, les effets locaux demeurent incertains et dépendent grandement des propriétés géomorphologiques littorales, de l'usage des sols et de la stratégie de défense côtière.

Le littoral algérien de 1600 Km de linéaire côtier joue un rôle prépondérant dans le développement de l'économie nationale. En effet, cela concentre non seulement les densités démographiques les plus élevées mais aussi les réseaux d'infrastructure et de communication les plus denses, les plaines agricoles les plus importantes et les plus fertiles, les principales activités économiques ainsi que de nombreux écosystèmes côtiers (**Djouder., 2018**).

Au fil des années, une telle sur-occupation n'a pas été sans conséquences sur l'équilibre et la santé environnementale de cet espace qui enregistre actuellement une dégradation avancée touchant à ses diverses composantes, notamment naturelles.

Au cours de ce siècle et même au-delà, une élévation du niveau des eaux méditerranéennes aggraverait beaucoup plus la menace existante sur sa stabilité et sa pérennité, compromettant, de fait, ses énormes potentialités économiques et ses équilibres écologiques précaires (**Djouder, 2018**).

4. La vigilance « Vagues-submersion » :

Les territoires littoraux algériens sont exposés à l'action de la mer et peuvent être vulnérables aux inondations par submersions marines. Les marées, l'exposition aux tempêtes, les fortes vagues soumettent le littoral aux aléas spécifiques. La submersion marine, inondation rapide et parfois sévère du littoral, focalise l'attention des pouvoirs publics et des médias depuis les événements liés à les aléas (Bab el Oued 2001, Boumerdès 2003 et Surcotes marines (Mardi 09/12/2014, port d'Alger) (**DPRH Alger**).

Des milliers de personnes habitent dans des zones littorales potentiellement exposées au risque de submersion marine. Des tempêtes telles que submersion de port d'Alger peuvent naturellement se reproduire et l'historique sur le temps long des phénomènes marins extrêmes montre que de telles tempêtes se sont déjà produites et donc se reproduiront dans le futur, avec des effets plus forts liés à l'élévation du niveau de la mer en raison du changement climatique. Il faut donc tout faire pour éviter que les impacts d'un tel événement soient aussi catastrophiques, ce qui constitue en soi une adaptation sans regret, c'est-à-dire utile quelle que soit l'ampleur du changement climatique, aux évolutions futures liées au changement climatique (**DPRH Alger**).

5.1 Quelques situations remarquables :

5.1.a. Submersions :

- Submersion marine observée lors de la tempête de 2010 (11/09/10) Port d'El Djamila (**DPRH, Alger**) ;
- Surcote marines (Mardi 09/12/2014, port d'Alger) DPRH Alger.

5.1.b Tsunamis :

- Tsunami de l'année 1365 à Alger
- Tsunami de l'année 1856 à Jijel
- Le dernier en date est celui qui a été généré suite au séisme de 2003 de Zemmouri.

Le phénomène de vagues-submersion est un aléa complexe relevant de plusieurs facteurs géographiques, météorologiques et conjoncturels. La prévision de cet aléa est donc fortement dépendante des scénarios de prévision météorologique et intègre une part d'incertitude.

Les prévisionnistes du service de prévision marine et océanographique s'appuient sur une production opérationnelle de prévisions de l'état de mer et du niveau marin et sur leur expertise en météorologie marine (choix entre différents résultats de prévision numérique en fonction des dernières observations disponibles, modulation de leurs résultats, etc.), pour évaluer la dangerosité de la situation et le niveau de vigilance pertinent.

Le déclenchement de la vigilance se fait à l'échelle du département et dépend de critères qui ont été définis selon des aléas de référence renvoyant à des submersions remarquables. Ces critères portent sur la hauteur totale du niveau marin (due à la marée et à la surcote) et sur l'état de la mer (hauteur des vagues, direction, période).

5. Coût des évènements naturels en Algérie :

L'Afrique du nord et spécifiquement l'Algérie ne constitue pas une exception au contexte général établi et l'augmentation des températures s'inscrit clairement en conformité avec l'évolution mondiale (Amraoui et al. 2011; Sebbar et al. 2012). En effet, dans près de 80% du territoire national règne un climat désertique. Une augmentation des températures et un dérèglement négatif du processus pluviométrique accentuera encore plus les problèmes de sécheresse et de désertification déjà aux portes des villes du nord. Au cours des dernières décennies, les inondations n'ont pas ménagé leurs forces dévastatrices pour causer des pertes matérielles et humaines et ce dans l'ensemble du pays avec :

- Les inondations survenues à Bab El Oued en 2001 avec 800 personnes mortes (ONM 2002 ; Djellouli et Saci 2003).
- Les inondations de 2008 de Ghardaïa (43 morts), celles qui ont touché les wilayas du nord du Sahara (El Bayad, M'sila, Djelfa, Biskra, Laghouat et ElOued) engendrant des dégâts matériels importants et des pertes humaines.
- L'épisode pluvio-orageux de mai 2013 ayant affecté tout le littoral et occasionnant de nombreux morts (20 personnes) et blessés (56 personnes) (Nouaceur et al. 2013)

6. Stratégie nationale pour anticiper l'impact du changement climatique :

En ratifiant la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques, en avril 1993, l'Algérie souscrit pleinement aux engagements que celle-ci stipule pour les pays en développement et en particulier la stabilisation des émissions des gaz à effet de serre pour empêcher une interférence anthropique avec le système climatique.

La problématique des changements climatiques est une préoccupation nouvelle pour le pays, le projet ALG/98/G31, relatif à « l'élaboration de la stratégie et du plan d'action national pour faire face aux changements climatiques », financé dans le cadre des dispositions du Fond Mondial de l'Environnement (FME), a facilité la mise en œuvre de la Communication Nationale Initiale (CNI).

Ainsi, au titre de la Convention Cadre sur les Changements Climatiques, l'Algérie remplit ses engagements tels que stipulés dans les articles 4 et 12 de la convention et de la décision 10/CP2 de la conférence des parties de Genève en 1996, à savoir :

- La réalisation de l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre conformément au guide méthodologique (version 1996) du Groupe Intergouvernemental pour l'Evolution du Climat(GIEC);
- L'élaboration du plan d'action national pour l'atténuation des émissions des gaz à effet de serre et l'adaptation pour limiter les effets des changements climatiques sur les ressources naturelles et le développement socio-économique (**Djouder., 2018**).

•

Conclusion du chapitre :

Dans tous les scénarios possibles, il est attendu que cette élévation du niveau des eaux amplifie et aggrave l'érosion des côtes, les inondations marines extrêmes et l'incursion des eaux marines salées dans les aquifères côtiers (**Clus-Auby et al. 2004 ; Nicholls et Tol 2006 ; Nicholls et al. 2007 ; Nicholls et Cazenave 2010**).

Au cours du 2^{ème} siècle, cette tendance inexorable va empreindre, et d'une manière non des moindres, les espaces littoraux qui vont être fragilisés et modifiés tant physiquement que socio- économiquement (**Fig I .10**).

Donc, la priorité aujourd'hui, est la prise en considération de ces variations de niveau de la mer due au changement climatique et l'adaptation des ouvrages maritimes pour assurer une meilleure protection à nos côtes.

.

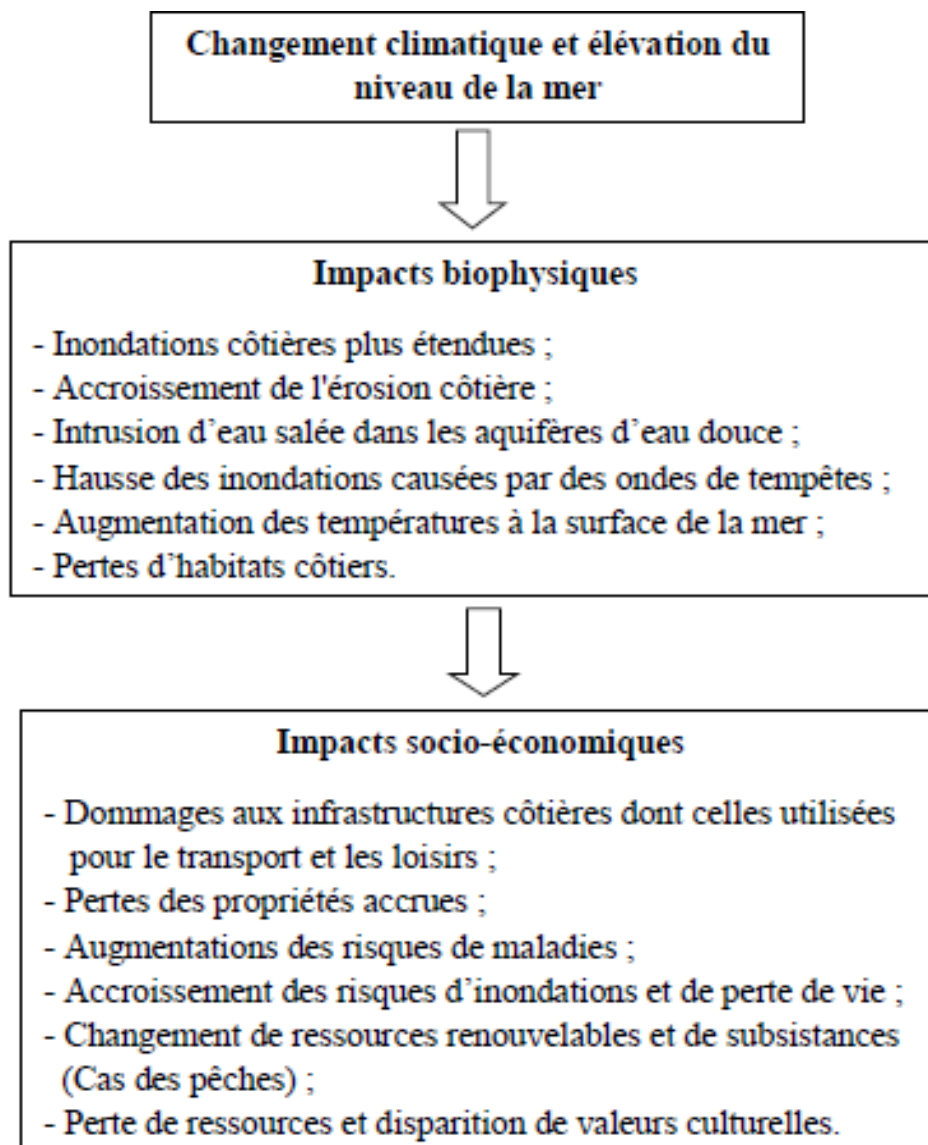


Fig I .08 : Impact biophysiques et socio-économique potentiels du changement climatique dans les zones côtières (McLean 2001).

Chapitre II : Cadre général de la zone d'étude

Chapitre II : Cadre général de la zone d'étude

1. Cadre géographique :

- **La situation géographique :**

La baie d'Alger s'inscrit en creux au centre du littoral algérien, plus exactement aux débouchés de la Mitidja et comprend 11 communes côtières (**Fig II .01**)

Elle se caractérise par une forme semi-circulaire avec une ouverture de l'ordre de 18km d'Est en Ouest et de 7km du nord au sud, elle est limitée à l'Est par cap Matifou, à l'ouest par Rais Hamidou du massif de Bouzeréah, au nord par la Méditerranée et au sud par la plaine de la Mitidja

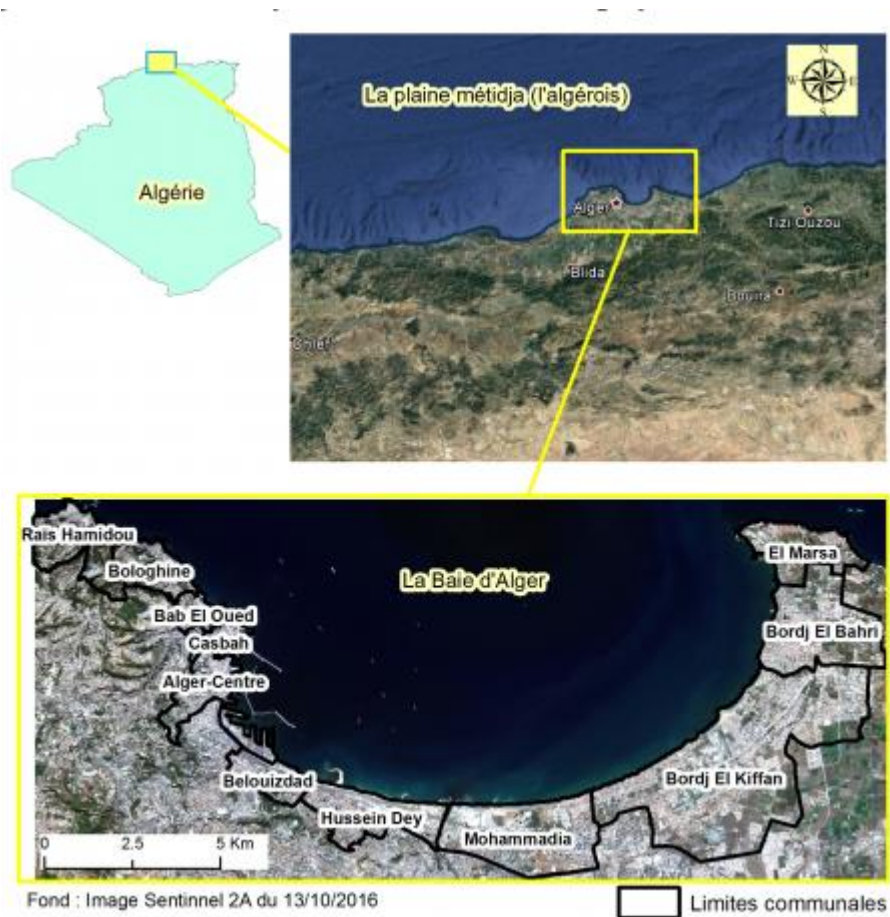


Fig II .01: Zone d'étude (communes de la baie d'Alger)

2. Cadre géologique et géomorphologique :

La connaissance de la géologie et de la géomorphologie locale d'un site permet de définir sa sensibilité face aux agressions marines. En effet, l'analyse de cet aspect est désormais nécessaire dans la mesure où elle apporte un complément indispensable dans le diagnostic de la zone d'étude, ce dernier est réalisé en vue d'apporter des éléments de réponse sur les différents phénomènes d'érosion et d'altération contrôlant d'une manière ou d'une autre les quantités sédimentaires rejetées en mer (Mechouet, 2016)

a- Caractéristiques géologiques :

Du point de vue géologique, la zone d'étude fait partie du Sahel Sud d'Alger. L'essentiel des déformations et des plissements d'âge Néogène a donné naissance aux anticlinaux du massif d'Alger, du Cap Matifou, du Sahel ainsi que la formation du synclinal de la Mitidja.

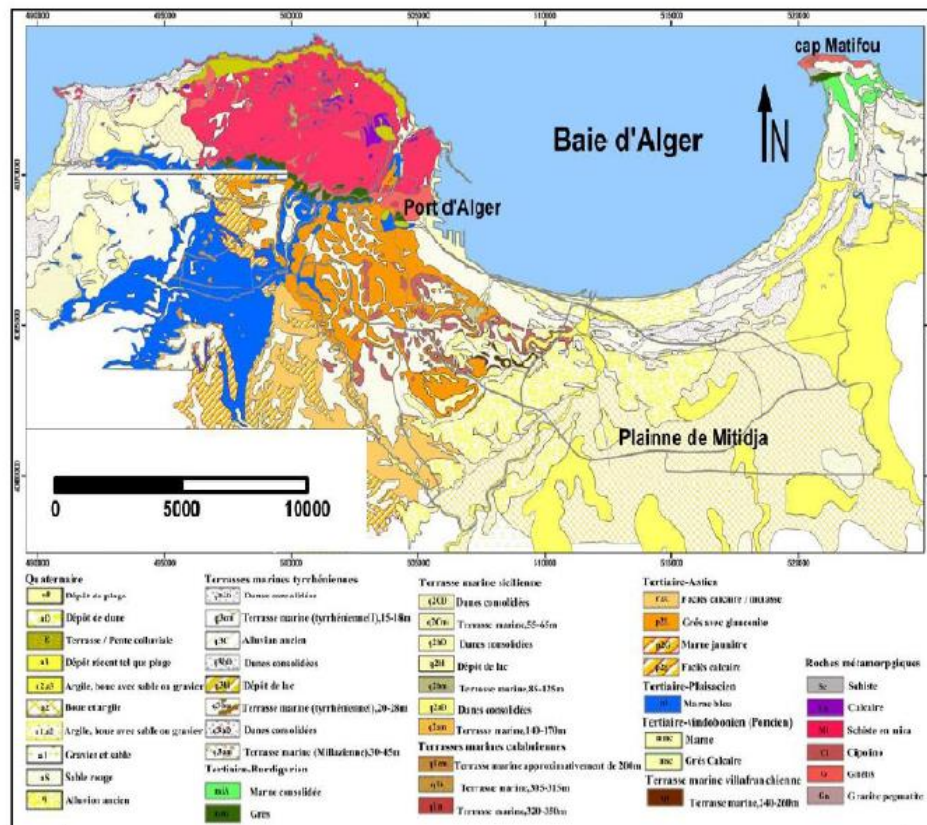


Fig II .02 : Carte géologique de la baie d'Alger et sa région (JICA, 2006)

- **Formations géologiques de la baie d'Alger (LEM, 2009) :**

Les dépôts continentaux Holocènes recouvrent une partie de la plaine et du littoral, il s'agit de dépôts de sables dunaires et d'alluvions dans les lits des Oueds actuels. Ces dépôts sont constitués :

- D'argiles jaunes avec des passages de graviers intercalés de vase. Ils couvrent les fonds rouges plus ou moins argileux,
- De sables argileux qui proviennent de la désagrégation mécanique des formations environnantes et ne subsistent plus qu'à l'état de lambeaux plus ou moins arrondis,
- D'alluvions caillouteux d'El Mohammadia qui occupent la superficie au 2/3 dans sa partie Nord et sa partie centrale ; ils sont composés de cailloutis, de sable et de limons.

Quant aux dépôts marins, trois types de faciès sableux sont observés dans la couche superficielle de la baie d'Alger (LEM, 2009) :

- Un faciès sableux qui se limite à la bordure littorale ;
- Un faciès carbonaté qui se réduit aux bordures rocheuses littorales et aux hauts fonds rocheux de la baie ;
- Un faciès pélitique occupant la partie centrale et la partie septentrionale de la baie.

b- Caractéristiques géomorphologiques :

On peut séparer la baie d'Alger en deux parties qui se distinguent par :

- **Partie orientale :** caractérisée par la présence d'un relief rocheux cap Matifou pourvu de falaise morte et vivantes à l'extrémité de la baie. (LEM, 2009)
- **Partie occidentale :** ses côtes sont souvent hautes et escarpées ou le plus haut point d'Alger est au niveau de Bouzeréah à 470m, il est en contact avec la mer par une falaise caractérisée par une nature métamorphique mais aussi la présence de calcaire, à la base de laquelle se situe un banc rocheux plat et érodé ou bien une couche épaisse de matériaux grossiers. Cette partie est surmontée par une partie du massif dunaire situé à l'ouest de l'embouchure d'oued El-Harrach. (LEM, 2009)

En outre, la partie sous-marine, se caractérise par un plateau continental très étroit au niveau des extrémités de la baie (Cap Matifou et Massif de Bouzeréah), mais s'élargit au centre d'environ 12.5km vu la présence des cours d'eau (Oued El-Harrach) et des plages. Il est caractérisé par une pente assez douce de l'isobathe 0m à celui des 100m dont la distance maximale qui les sépare ces deux isobathes est d'environ 6 milles (9656,06m) (Belkacem 2005). Les dépôts de l'oued EL Harrach à 9m forment une zone deltaïque suite aux dépôts terrigènes importants. Au niveau des

caps et peu important aux niveaux des zones rocheuses. En effet, l’isobathe 50m est à une distance de 4.1km par rapport à la cote, contre 121km pour celle de 1000m passant par 7.6km pour l’isobathe de 100m (PAC 2004).

3. Cadre climatique et hydrographique :

La bande côtière est en perpétuelle mouvement, ses modifications sont liées à différentes origines, ou le taux d’érosion et d’accrétion seront plus significatifs, ces conséquences sont engendrés par le frottement liés aux évènements tempétueux du climat et le forçage hydrodynamique. Ce cadre sera basé sur la partie hydro-climatologique tout en incluant les vents en provenance continentale et du large, ainsi que les températures et les taux de précipitations qui seront liés au réseau hydrologique de la baie d'Alger (Mechouet, 2016).

3. 1. Climat :

A. Les précipitations

Les données obtenues par la station du port d’ Alger, montre que les précipitations se concentrent de Septembre à Mai, avec un maximum hivernal de 95 mm en Novembre ; celles-ci diminuent progressivement dès le mois de Mai pour devenir faibles de juin à août avec un minimum de 2 mm en juillet(RP5, 2019).

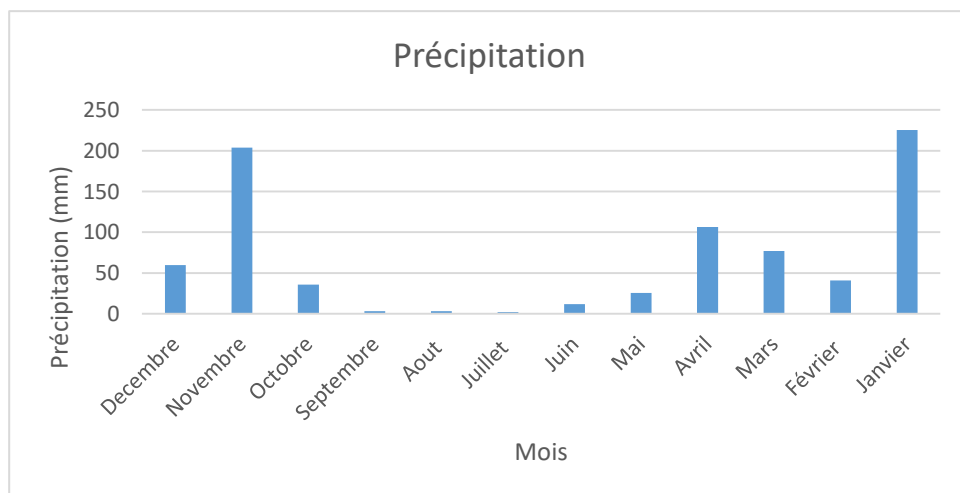


Fig II .03 : Répartition annuelle des précipitations (mm) dans la baie d’Alger (RP5, 2019)

B. Les températures

La température diminue durant la période qui s'étale de Novembre à Mai, pendant laquelle la température enregistre des moyennes allant de 11 à 15°C, tandis qu'elles augmentent pendant les mois allant de Mai à Septembre avec des températures moyennes variant de 18 à 27°C (**Station du port d'Alger**). Ce littoral connaît alors un degré hygrométrique élevé durant toute l'année (**RP5, 2019**)

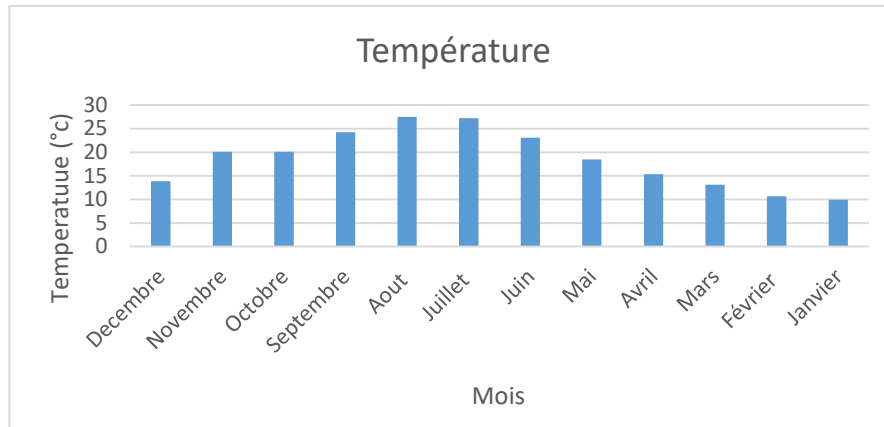


Fig II .04 : Répartition annuelle des température (°C) dans la baie d'Alger(**RP5, 2019**)

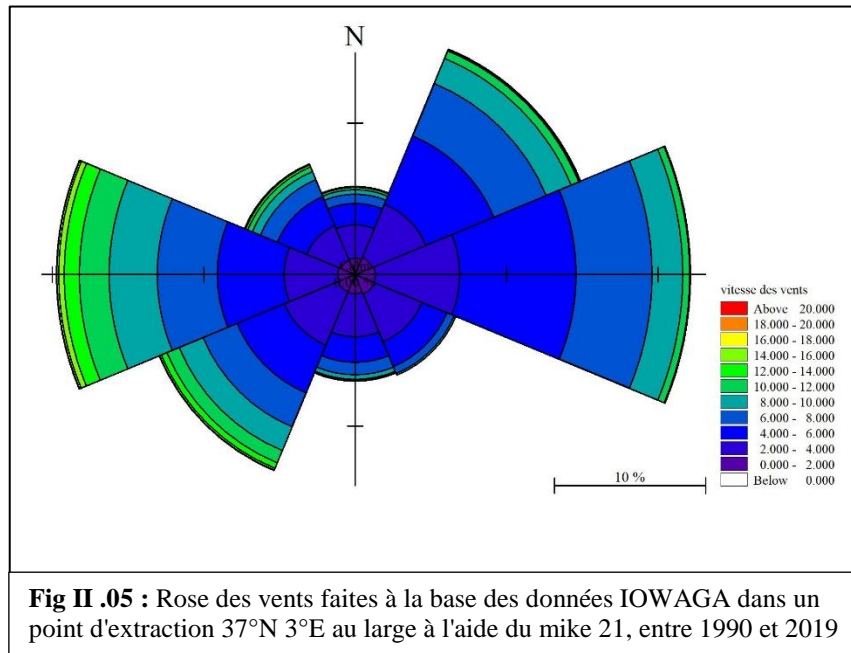
C. Le Vent

Pour une région côtière la connaissance des régimes des vents est une extrême importance. En effet, ils sont des générateurs de vagues et de courants superficiels, leur impact croît avec leur vitesse. Ils jouent donc un rôle important dans l'évolution géomorphologique des milieux littoraux d'une part, surtout les côtes basses d'accumulations (**Boutiba, 2006**) et d'autre part dans l'évolution des forçages hydrométéorologiques responsables de la mobilité des sédiments le long des côtes (**Boutiba, 2009**)

- Les vents les plus faibles (<8m/s) proviennent essentiellement du secteur Nord-Est et également, à moindre mesure, du secteur Ouest. A l'inverse, les houles les plus fortes sont majoritairement orientées Ouest (**Fig II .05**)

Pendant l'hiver, les vents des secteurs Ouest et Sud-Ouest sont dominants et une grande partie de ces vents présente une vitesse supérieure à 16 nœuds (8m/s). Ces vents sont appréciables par leur force mais non par leur fréquence.

Les vents d'Est et Nord-Est dominant au cours de l'été et la majorité de ceux-ci ont des vitesses inférieures à 16 nœuds. Ces vents se distinguent beaucoup plus par leur fréquence que par leur vitesse.



D. Hydrographie (LEM, 2009) :

1/ Les oueds

Le réseau hydrologique dans la baie d'Alger se caractérise par la présence d'Oueds à régime temporaire et irrégulier tels que l'Oued El-Harrach et l'Oued Hamiz. En été, les lits des Oueds sont quasiment à sec ou se réduisent à de simples filets d'eau, par contre ils connaissent des crues très violentes pendant la saison hivernale.

La baie d'Alger est donc alimentée par l'Oued El-Harrach et l'Oued El Hamiz, cours d'eau qui prennent leur source dans l'Atlas Blidéen drainant la plaine de la Mitidja.

Le bassin versant de l'Oued El-Harrach couvre une superficie de 1.270 km² et s'étale du Nord au Sud sur 51 km et de l'Est en Ouest sur 31 km. Il englobe trois grands domaines physiques différents : l'Atlas Blidéen, la plaine de la Mitidja et le Sahel.

Le régime hydrographique de l'Oued El-Harrach se caractérise par un long étiage de 6 mois et des crues d'hiver et de printemps soudaines et rapides.

L'Oued El-Harrach est formé par la confluence de deux Oueds principaux, l'Oued Akka et l'Oued Mekka sur une longueur de 67Km, il est alimenté également par six affluents (Oued Djemaâ, Oued Baba Ali, Oued Terrou, Oued Kerma, Oued Smar et Oued Ouchaïh).

Tableau II. 1 : Caractéristiques générales d’Oued El-Harrach et El Hamiz (ANRH, 2014)

Oueds	El Harrach	El Hamiz
Communes traversées	Mohammadia-Moradia- Husiendey-El Harrach-SidiMoussa –Birtouta –Saoula –OuledChbel – OuledFayt- BirMouradRais – Kouba –Guide Constantine - Echefa -Blida	Rouiba- Dar El beida- OuedEssemar- Bordh el Bahri – El hamiz – Eucalyptus- Bab Ezouar- Bordj el Kifan –Ain Taya
Orientations	Nord-Est	Nord-Ouest
Superficie	378	86

4. Cadre océanographique :

Le cadre océanographique englobe toutes les données maritimes rentrant dans la connaissance des phénomènes influents sur la zone à savoir (Mechouet, 2016) :

- Houle, courant
- Marée astronomique
- Variation saisonnière du niveau de la mer
- La différence de pression barométrique
- L’élévation du niveau global

4. 1. Régime de la houle :

Etant 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 et de la profondeur, tant que la profondeur est plus grande que la longueur d’onde de la houle. Ainsi la houle de la baie d’Alger suit le régime des vents, qui est un régime saisonnier comme pour le reste de la marge algérienne (Leclaire, 1972)

On retiendra que :

- Le secteur de houle au large d'Alger est N270° à N60°. Les houles les plus faibles ($H_s < 1,0$ m) proviennent essentiellement du secteur Nord-Est (N20°-N60°) et également, à moindre mesure, du secteur Ouest (N270°-N290°). A l'inverse, les houles les plus fortes sont majoritairement orientées Ouest (N270°-N290°) (**Fig II .06**)
- Une gamme des périodes de la houle étalée de 2/3 s jusqu'à 15 s. Les mers de vent sont majoritaires avec 70% des périodes comprises entre 3 et 7 s.
- Des hauteurs relativement faibles : 60 % des houles sont inférieures à $H_s = 1,0$ m et moins de 5 % sont supérieures à $H_s = 2,5$ m. (**LEM, 2009**)
- En hiver, les houles sont de direction W-NW (300°) et en été elles sont de direction N-NE (20°-40°) (**Mechouet, 2016**)

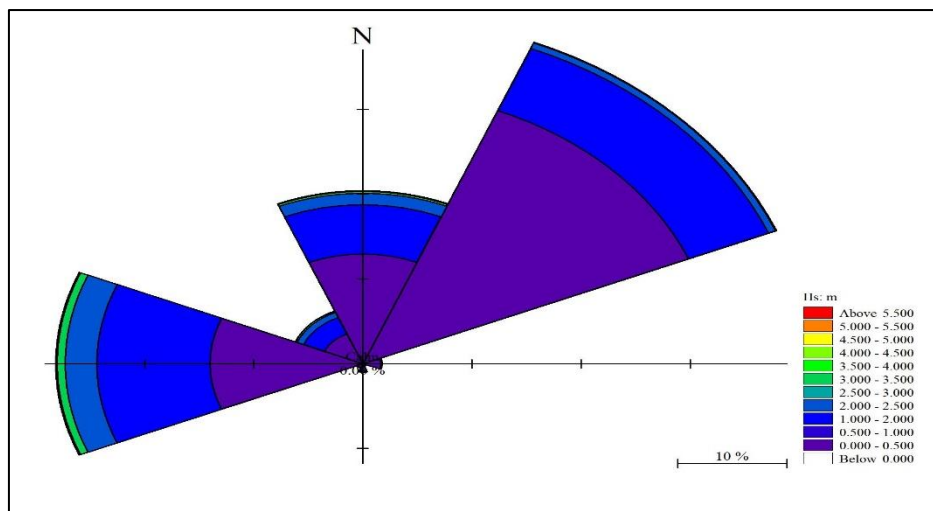


Fig II .06 : Rose des houles faites à la base des données IOWAGA dans un point d'extraction 37°N 3°E au large à l'aide du mike 21, entre 1990 et 2019

4. 2. Les courants (LEM, 2009) :

4.2.1. Les courants de la circulation générale

Le courant Atlantique (pénétration des eaux par le détroit de Gibraltar) longe, d'Ouest en Est, les côtes d'Afrique du Nord ; sa vitesse est de l'ordre de 1,5 à 2 nœuds. Ce courant s'étale sur plusieurs milles nautiques et son action se fait sentir jusqu'à une profondeur de 200 m. Il est encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud, soit 0,3 à 0,4 m/s).

Ce courant de surface est compensé en profondeur par un contre-courant qui longe les côtes espagnoles. La vitesse de ces courants peut augmenter par régime de vent d'Ouest pour atteindre 2,5 à 3 nœuds. Dans notre zone d'étude (baie d'Alger), ces courants forment des tourbillons cycloniques ayant tendance à s'orienter vers la côte.

4.2.2. Les courants dus à la marée ou induits par les vents

Les courants de marée, du fait du faible marnage des marées, sont négligeables voire même inexistant. Leur calcul doit être rajouté (même très réduit) aux données d'entrée pour voir le comportement des ouvrages vis-à-vis du surélévèrent du niveau de la mer.

Du fait de l'intensité plutôt faible des courants généraux et des courants de marée, l'influence des vents est sensible. On admet généralement que le vent crée un courant de dérive dont l'intensité en surface est voisine de 3% de la vitesse du vent. Au regard des vents sévissant sur le site, pendant la saison froide, les vents dominants, venant du secteur Ouest, vont donc renforcer la dérive vers l'Est, alors que pendant la saison chaude, les vents dominants venant du secteur Est à ENE vont donc avoir tendance à réduire ou annuler la dérive vers l'Est.

4.2.3. Les courants de houle

Les transferts côtiers sont surtout conditionnés par les différentes dérives littorales engendrées par la houle ; pendant l'hiver ils ont une direction Ouest-Est du fait de la houle dominante du NW, le reste de l'année les courants ont plutôt une direction Est-Ouest.

Les courants de houle sont localisés dans la zone comprise entre le déferlement et la côte, lorsque la houle se présente avec une certaine obliquité par rapport au rivage. Lorsque la houle est frontale, des échanges importants peuvent se faire entre la côte et le large par des courants, orientés vers le large (ripcurrents) ; ces courants traversent la zone de déferlement et peuvent être importants et dépasser 1 m/s (2 nœuds).

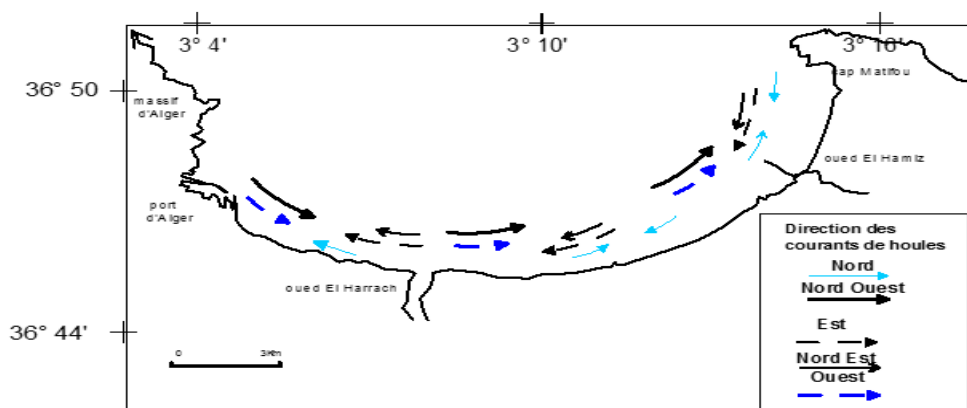


Fig II.07 : Courants côtiers de houle dans la baie d'Alger (Belkessa, 2005)

4.2.4. La marée et les variations du niveau marin (LEM, 2009)

Les variations du niveau de la mer résultent de la combinaison de l'effet de plusieurs phénomènes :

1. La marée astronomique due aux effets de l'attraction de la lune et du soleil sur les particules liquides,
2. Les perturbations d'origine météorologique liées aux variations de la pression atmosphérique ou à l'action du vent.

La marée astronomique est de type semi-diurne avec inégalité diurne ; son amplitude est faible et reste inférieure à 40 cm sur la façade algérienne. Elle présente d'importants écarts suivant l'époque lunaire et est le plus souvent masquée par la surélévation ou l'abaissement du niveau de l'eau engendré par des variations de conditions climatologiques.

- En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30 cm (marée de vives-eaux) et celle de la nouvelle lune de 5 à 15 cm (marée de mortes eaux).
- D'autres phénomènes peuvent se superposer à cet effet astronomique tels que la pression atmosphérique, les seiches, ...
- Les effets ponctuels liés à un coup de vent persistant (gonflement du plan d'eau au niveau du rivage) ou à un passage dépressionnaire peuvent engendrer des fluctuations bien supérieures à la marée astronomique ; pour l'Algérie, ils peuvent provoquer des dénivellations qui peuvent atteindre 1 m et masquer l'effet des marées.

A cela, il convient de considérer également la montée du niveau moyen des mers. Par exemple, les enregistrements de niveaux à Oran sur une soixantaine d'années montrent une tendance à la surélévation de l'ordre de 1,5 mm par an. Le nivellement Général Algérien (niveau NGA) se trouve à +0,34 m par rapport au Zéro Hydrographique (Zero Carte Marine), comme présenté sur la figure ci-après.

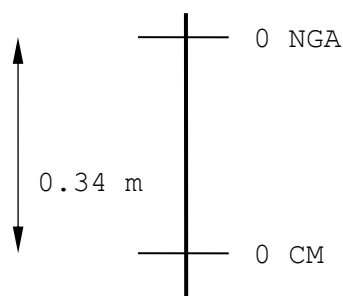


Fig II .08 : Correspondance entre les systèmes altimétriques à Alger.

Les données altimétriques ont été homogénéisées dans un système unique prenant comme référence le Zéro NGA.

5. Cadre sédimentologique :

5.1. Répartition des sédiments :

La répartition des sédiments (Leclaire 1972) révèle une distribution conforme au schéma classique de la répartition des sédiments en mer à savoir une diminution graduelle de la taille des particules de la côte vers le large (Fig II.07). Les sables fins et moyens longent le littoral entre 0m et 20m et s'estompent vers Cap Matifou. En face de l'Ouest d'El Harrach et l'Oued Hamiz à des profondeurs comprises entre 20m et 40m, c'est le domaine des sables vaseux. Les vases sableuses débutent à 40m de profondeur et occupent la majorité de la baie (Belkessa, 2005).

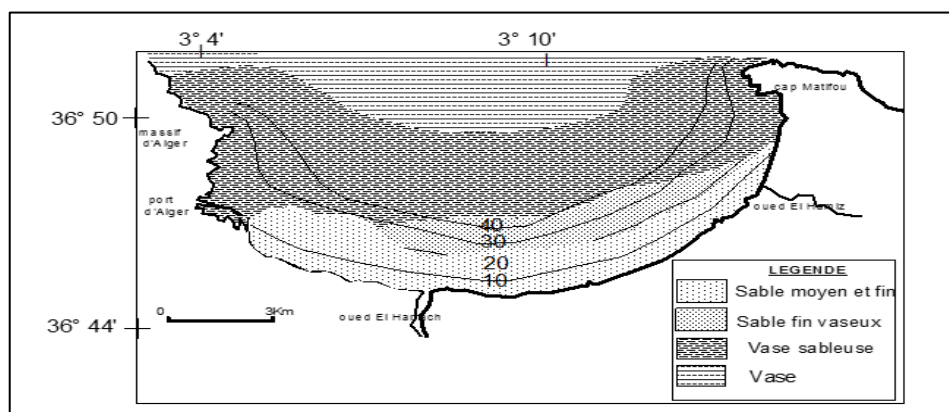


Fig II.09 : Carte bathysédimentologique de la baie d'Alger (Leclaire, 1972)

5.2. Dynamique sédimentaire (LEM, 2009) ;

En effet au niveau de la répartition transversale des courants, on retiendra que :

- Les maximums de vitesse du courant et du transit littoral sont observés à terre de la ligne de déferlement du large,
- En se déplaçant vers la terre, ils décroissent pour augmenter à nouveau au droit de la ligne de déferlement des vagues qui se sont reformées.

6. Description des aménagements maritimes de la baie d'Alger :

Afin d'illustrer notre étude, sur les ouvrages et infrastructures marines, de la baie d'Alger ; allant du port de Tamentfoust à l'Est jusqu'au port d'Alger à l'Ouest voir (**Fig II. 08**) ci-dessous. On a accompagné chaque aménagement maritime voir (**annexe 01**) par son descriptif, avec :

1. Dans la description des ouvrages, on s'est intéressé uniquement à quelques paramètres structurels et hydrauliques nécessaires à notre étude voir **Tableaux**
2. Le choix des profils représentatifs, pour chaque ouvrage de la baie d'Alger, s'est effectué en prenant en considération les zones les plus sensibles à l'effet des houles extrêmes



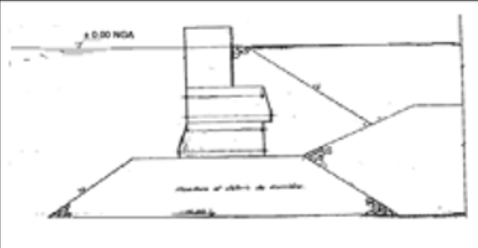
- 1- Port d'Alger
- 2-Jetée de Moustapha
- 3-Aménagements des Sablettes
- 4-Aménagements d'oued El Harrach
- 5-Aménagements de Mouhamadia
- 6- La protection du Lido à Bordj El Kiffan
- 7-Aménagements de Verte Rivage
- 8-La protection du Bateau cassé
- 9-Aménagements d'oued El Hamiz
- 10-Aménagements de Stamboul
- 11-La marina
- 12-Port de Tamentfoust

Fig II.10 : Les aménagements de la baie d'Alger

1. Port d'Alger :

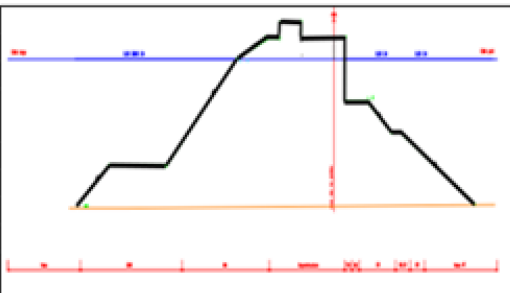
1.1. Profil quai de Guelma

Tableau II.02 : Paramètres du profil quai Guelma, Port d'Alger

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs	
Type de blocs pour le quai	Béton, TVC	
Facteur de rugosité	1 béton, 0.8 TVC	
Pente côté mer	3/2 carapace, 1/2 butée	
Côte d'Arase[m]	+3.00	
Niveau d'eau SWL[m]	0.00	
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-16	

1.2. Profil jetée Mustapha (coupe n°41)

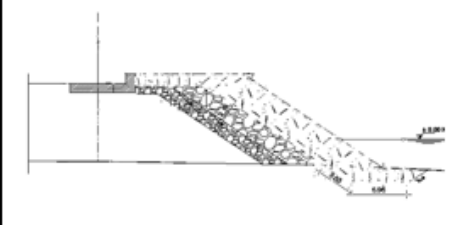
Tableau II.03 : Paramètres du profil (41) jetée Mustapha, port d'Alger (LEM, 2003)

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs	
Type de blocs pour la carapace	Blocs artificiels	
Type de blocs pour la butée	Enrochements	
Facteur de rugosité pour la carapace et butée	0.9 carapace, 0.55 butée	
Pente côté mer	3/1, 5/4 carapace et 3/2 butée	
Côte d'Arase[m]	+5.40	
Niveau d'eau SWL[m]	0.00	
Direction des vagues b	40°	
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-20	

2. Promenade des Sablottes

2.1. Profil partie coude de la jetée (coupe DD)

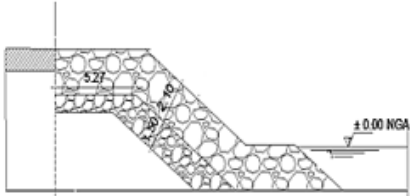
Tableau II.04 : Paramètres du profil (DD) partie coude de la jetée n°03, Sablottes (LEM, 2017)

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs	
Type de blocs pour le quai	BCR (5t)	
Facteur de rugosité	0.9	
Pente côté mer	3/2	
Côte d'Arase[m]	+7.00	
Niveau d'eau SWL[m]	0.00	
Direction des vagues b	30°	
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-5	

2.2. Profil d'un épi (coupe H1-H1)

Tableau II .05 : Paramètres du profil (H1-H1) épi ouest, Sablettes (LEM, 2017)

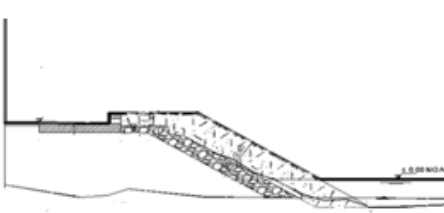
Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour le quai	Enrochements (1-3t)
Facteur de rugosité	0.55
Pente côté mer	3/2 carapace, 3/2 butée.
Côte d'Arase[m]	+4.50
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	30°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-2.00



2.3. Profil d'une jetée (coupe CC)

Tableau II .06 : Paramètres du profil (CC) jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017)

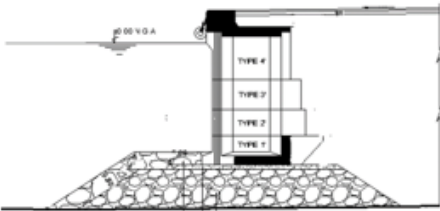
Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	BCR (5t)
Facteur de rugosité	0.9
Pente côté mer	3/2
Côte d'Arase[m]	+7.00
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	30°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-3.00



2.4. Profil d'un Quai :

Tableau II .07 : Paramètres du profil quai, jetée n°02, Sablettes (LEM, 2015)

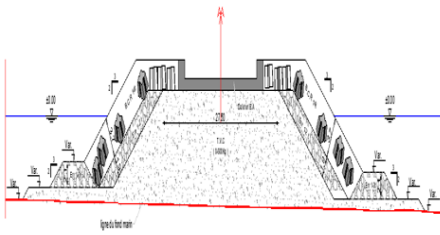
Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour le quai	Béton
Type de blocs pour la fondation	Enrochements
Facteur de rugosité	1 quai, 0.55 fondation
Pente côté mer	3/2
Côte d'Arase[m]	+1.50
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	30°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-2.8



2.5. Profil jetée (coupe musoir)

Tableau II .08 : Paramètres du profil partie musoir, jetée n°02, Sablettes (LEM, 2015)

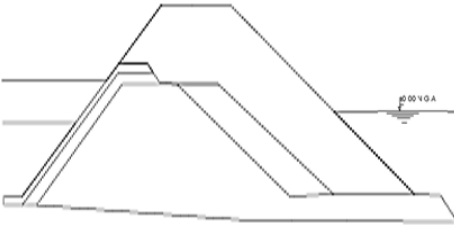
Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	BCR (30t)
Type de blocs pour la butée	Enrochements
Facteur de rugosité	0.9
Pente côté mer	3/2 carapace, 3/2 butée
Côte d'Arase[m]	+4.50
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	30°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-12



3. Profil épi de El Harrach (coupe A)

Tableau II .09 : Paramètres du profil (A) épi, El Harrach (LEM, 1993)

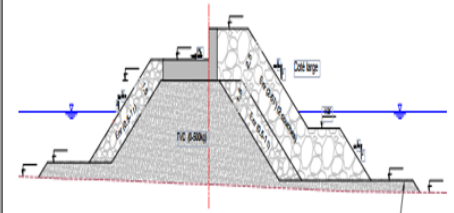
Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	Enrochements (2-5t)
Type de blocs pour la butée	TVC (0-500kg)
Facteur de rugosité pour la carapace	0.55
Pente côté mer	2/1 carapace, 3/2 butée
Côte d'Arase[m]	+5.1
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	15°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-3.5



4. Profil jetée Mohammadia (coupe 2-2)

Tableau II .10 : Paramètres du profil (2-2) jetée, Mohammadia (LEM, 2019)

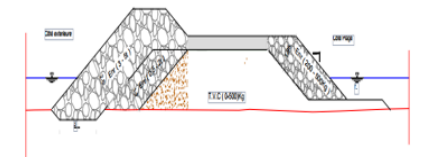
Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	Enrochements (2-5t)
Facteur de rugosité pour la carapace et butée	0.55
Pente côté mer	3/2 carapace, 3/2 butée
Côte d'Arase[m]	+4.00
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	15°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-4



5. Profil épi A de Verte Rive (coupe B/B)

Tableau II .11 : Paramètres du profil (B/B) épi A, Verte Rive (LEM, 2017)

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	Enrochements (3-5T)
Facteur de rugosité	0.55
Pente côté mer	3/2
Côte d'Arase[m]	+3.30
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	5°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-1



6. Profil épi 2 de l'embouchure d'oued El Hamiz (coupe B-B)

Tableau II .12 : Paramètres du profil (B-B) épi 2, embouchure d'oued El Hamiz (LEM, 2014)

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	Enrochements (3-6t)
Facteur de rugosité pour la carapace	0.55
Pente côté mer	3/2
Côte d'Arase[m]	+3.90
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	0°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-4.27

7. Profil protection frontal Stamboul (coupe A)

Tableau II .13 : Paramètres du profil (A) protection frontale, Stamboul (LEM, juillet1998)

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	Enrochements (1.50-3t)
Facteur de rugosité	0.55
Pente côté mer	3/2
Côte d'Arase[m]	+3.00
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	0°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-1.00

8. Port de plaisance de Tamentfoust

8.1. Profil la jetée principale (coupe b)

Tableau II .14 : Paramètres du profil (b) jetée principale, Port de Tamentfoust (LEM, 2007)

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour la carapace	BCR
Facteur de rugosité	0.9
Pente côté mer	3/2
Côte d'Arase[m]	+5.75
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	0°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-5.35

8.2. Profil d'un quai de plaisance :

Tableau II .15 : Paramètres du profil quai, Port de Tamenfoust (LEM, 2007)

Paramètres de l'ouvrage	Valeurs
Type de blocs pour le quai	Béton
Type de blocs pour la fondation	Enrochements
Facteur de rugosité	1' quai, 0.55 fondation
Pente fondation côté mer	3/2
Côte d'Arase[m]	+1.20
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	0°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-5.35

Chapitre III : Submersion marine

Chapitre III : Submersion marine

La baie d'Alger comme toutes les côtes algéroises est située entre Cap Djinet à l'Est et le méridien de la ville de Douaouda Marine à l'Ouest, comprend des zones basses

La faible topographie de cette zone accentuée par une occupation humaine excessive et parfois anarchique l'ont rendue vulnérable face à ce nouvel épisode de hausse du niveau moyen de la mer Méditerranée et l'amplification des phénomènes d'érosion et de submersions marines.

Ce chapitre, permet de montrer d'une part la cartographie de la submersion des côtes basses de la baie d'Alger suivant la méthodologie de l'ANCC et l'étude du phénomène de submersion appliquée des ouvrages maritimes.

1. Cartographie de la submersion sur les côtes basses de la baie d'Alger :

Dans la présente étude, la caractérisation et la cartographie des terres qui sont à risque de submersion dans la côte étudiée sont basées sur un scénario d'élévation extrême du niveau de la mer Méditerranée et sur les données hydrodynamiques locales, modélisées par l'utilisation des SIG.

Les principaux objectifs de cette partie sont les suivants :

1. La production de cartes de risque d'inondation côtière potentiel pour les scénarios d'événements extrêmes futurs.
2. Quels sont les zones où les inondations extrêmes futures auront un impact plus important ou plus faible

1.1.Méthode d'estimation des pertes de terres dues à la submersion marine:

La méthode retenue pour l'estimation de l'aléa submersion marine est celle utilisée par L'ANCC et plusieurs auteurs (Benavente *et al.*,2006 ; Fletcher *et al.* 1995 ; Bellomo *et al.*,1999 ; Suanez *et al.*,2007 ; Kumar, 2008). Ca consiste à :

- Calculer les niveaux d'eaux extrêmes à la côte d'occurrence centennale en tenant compte du waves et-up, winds et-up et l'élévation du niveau de la mer due à la baisse de la pression atmosphérique (Fig III.01).

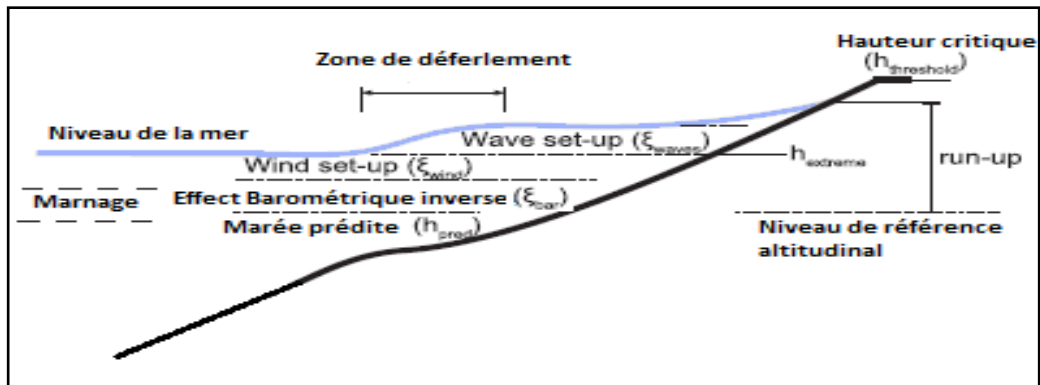


Fig III.01 : Schéma montrant les principaux processus hydrodynamiques pour le calcul des niveaux d'eau extrêmes à la côte.

Vu le manque de données qu'on a concernant les surcôtes et décôtes, enregistrements marégraphiques et de tempêtes au large de la côte de la zone d'étude, les niveaux d'inondation ont été calculés à partir l'équation (01) de (Hoozemans *et al.* 1993):

$$D_{ft} = MHW + S_t + W_f + P_f \dots (01)$$

Où :

MHW : Niveau moyen des hautes eaux ;

S_t : Elévation relative du niveau de la mer ;

W_f : Hauteur des houles de tempêtes responsables des inondations (centennale) ;

P_f : Elévation du niveau marin en fonction de la pression atmosphérique.

Remarque :

Cette équation mène à définir deux niveaux d'inondation (un niveau minimum et un niveau maximum) voir (**Tableau III.01**) qu'on calcul à partir des hauteurs de houles de tempête et extrême (centennales) voir annexes

Tableau III.01 : Niveau d'inondation minimum et maximum, sur la baie d'Alger

	MHW	S _t	W _f	P _f	D _{ft}
Niveau minimum d'inondation (m)	0.6	0.08	2.5	0.32	3.47≈3.5m
Niveau maximum d'inondation (m)	0.6	0.08	7.5	0.32	8.5m

Après avoir défini les deux niveaux d'inondation maximal (8.5m) et minimal (3.5m) qui sont des estimations pour des houles aux larges. Pour la suite de notre étude, on a opté un niveau d'inondation de 3,5m. Vue la forte probabilité de la réalisation de ce scénario (contrairement au scénario maximal).

- Cartographier la zone submersible : à l'aide du logiciel arcGIS, le niveau d'eau d'inondation est superposé à un modèle numérique de terrain (MNT), dont la plus petite maille est de 2 m de côté et une résolution altimétrique de 0.5 m, (données ANCC) voir Annexes. On a pu en ressortir avec la carte (**Fig III.02**).

NB : Les détails des étapes pour la réalisation des cartes de submersion sur arcGIS figurent en **Annexes**.

1.2.Résultats de la cartographie des niveaux d'inondation :

L'utilisation de l'outil de cartographie arcGIS nous a permis de faire :

- La production des cartes de risque d'inondation côtière potentiel pour les scénarios d'événements extrêmes (**Fig III.02, 03 et 04**).
- L'estimation des superficies inondées en fonction de l'occupation des sols voir (**Tableau III.02**).

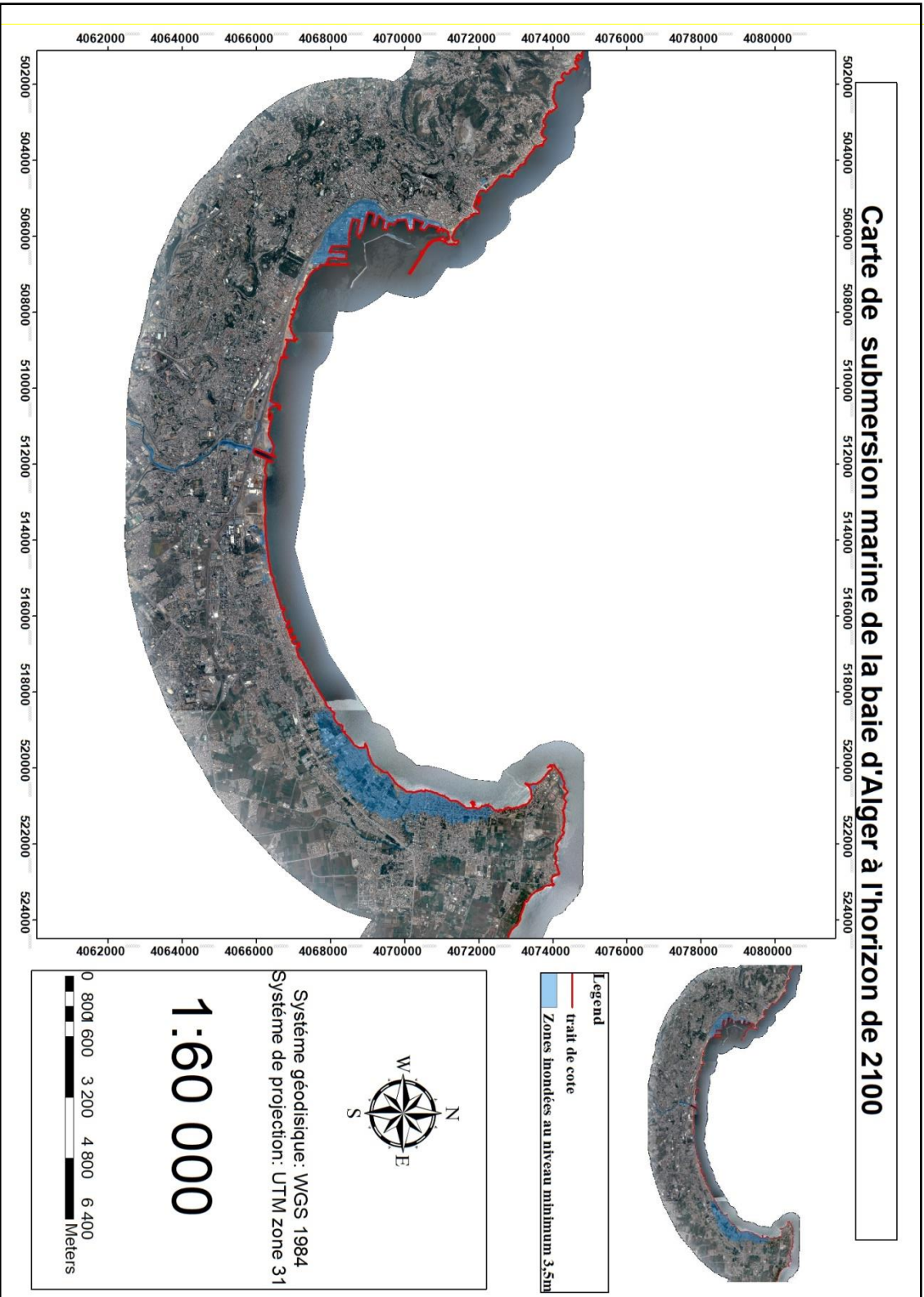


Fig III.02 : Pertes des terres dues à la submersion marine à l'horizon 2100, baie d'Alger

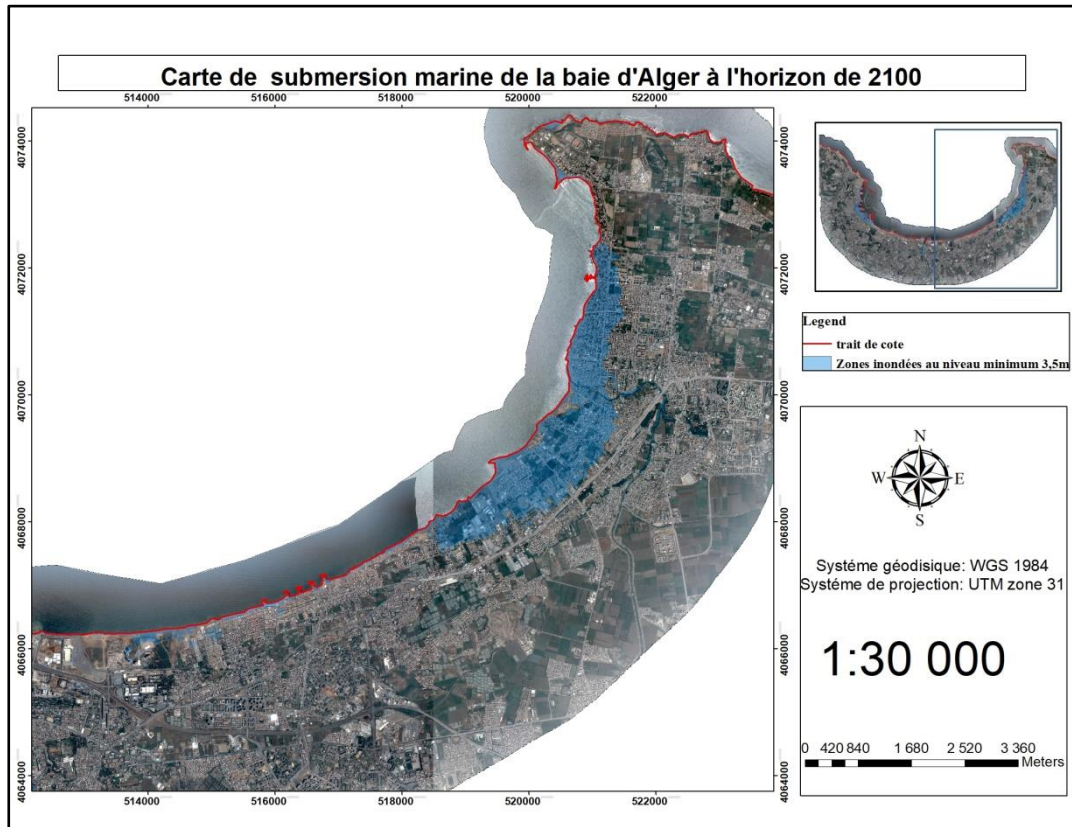


Fig III.03: Pertes des terres dues à la submersion marine à l'horizon 2100, partie orientale de la baie d'Alger

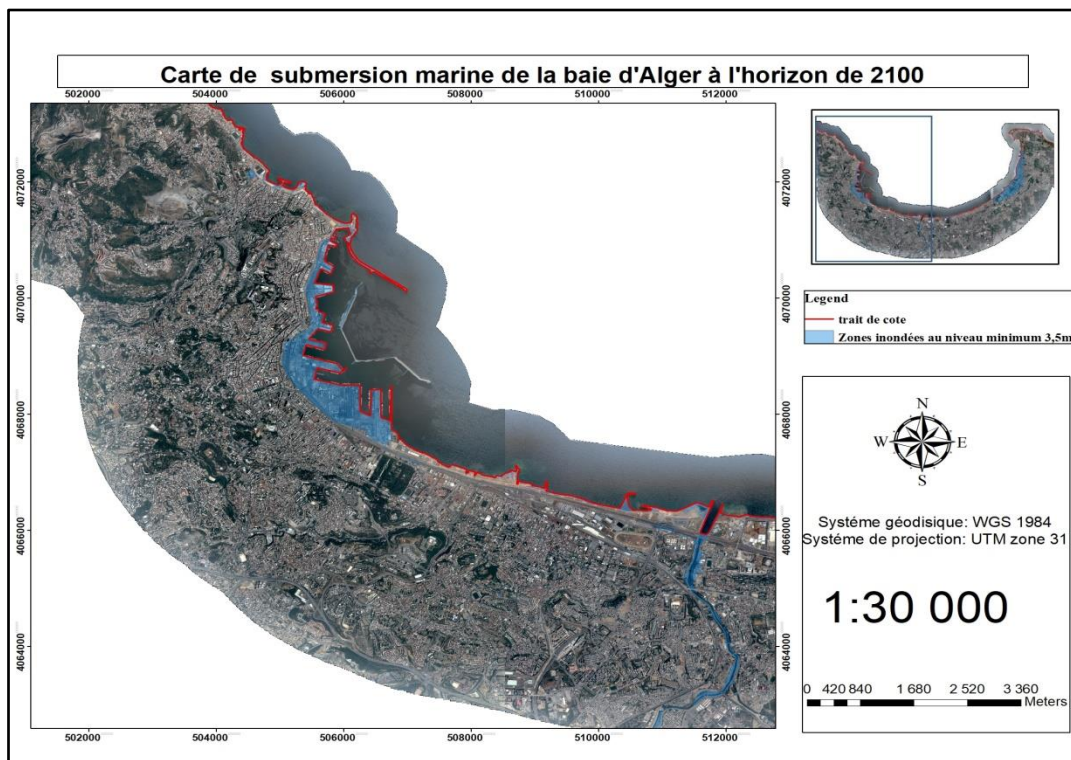


Fig III.04 : Pertes des terres dues à la submersion marine à l'horizon 2100, partie occidentales de la baie d'Alger

Tableau III.02: Superficies inondées dues à la submersion marine en 2100, côte de la baie de d'Alger.

Baie d'Alger	Niveau minimum d'inondation (3.5m)	
	Superficie (Km ²)	Superficie (%)
Zones urbanisées	2.71	50.74
Ports	1.15	21
Zones industrielles	0.19	3.5
Complexes touristiques	0.48	8.98
Plages et dunes	0.21	3.93
Terres agricoles	00	00
Côte artificialisée	0.52	9.73
Falaise et zones naturelles	0.08	1.49
Total	5.34	100

1.3.Discussion :

Après une cartographie de la submersion avec le logiciel Arcgis, on a obtenu les résultats montrés ci-dessus. L'application des deux niveaux de submersion minimum (3,5 m) sur la carte d'occupation des sols a mis en évidence l'existence d'une étendue potentiellement inondable et ce pour les deux parties orientale et occidentale de la baie (**Fig III.03 et 04**).

Le calcul des surfaces des terres à risque d'inondation marine (**niveau minimum d'inondation de 3.5m**) permet de déceler une extension importante de l'étendue des zones potentiellement submersibles, celles-ci sont regroupées dans le **Tableau III.02**. Les milieux les plus touchés par ce niveau d'inondation sont essentiellement les zones urbanisées avec une superficie de 2.71 Km² soit 50.74 % de la superficie totale inondée. Puis vient la zone portuaire d'Alger avec une superficie de 1.15 km² soit 21% de la superficie totale inondée. Les zones industrielles et les complexes touristiques seront aussi touchés par ce niveau d'inondation avec des superficies de 0.19 Km² et 0.48 Km² respectivement.

Les cartes de délimitation des zones inondables, d'ici 2100, permettent également de caractériser une certaine disparité, parfois flagrante, entre les différentes parties de la baie. En effet, les zones les plus vulnérables aux inondations marines se localisent dans la partie orientale (Bordj El Kiffan).

La submersion marine affecte en premier lieu les ouvrages portuaire et les ouvrages de protection de la présente zone d'étude, il ressort clairement que la digue de protection du port d'Alger, la batterie d'épis de Verte Rive et les aménagements de Stamboul (quais, digue verticale subissent le plus de dommages par la suite des dégâts incutable en arrière-pays (hinterland) sur le réseau routier, les urbanismes et les zones industrielles.

Conclusion :

La présente étude a révélé que la côte de la baie d'Alger est fortement vulnérable face aux inondations amplifiées par la montée future du niveau de la mer Méditerranée. La cartographie des zones submersibles mets en exergue, des caractéristiques topographiques et morphologiques locales qui favorisent une inondation importante des terres côtières, pose des risques importants sur les autres composantes de la côte notamment sur les zones urbaines qui risquent de devenir des points chauds de la vulnérabilité locale au cours du 21ème siècle. Les unités urbaines et touristiques implantées en front de mer et à proximité des embouchures des oueds (oued El Hamiz) seront les plus touchées par les submersions marines récurrentes et par les débordements conséquents des eaux fluviales. Les dommages directs sur les structures et les constructions seront jumelés à une détérioration du réseau routier, des réseaux d'alimentation en eau potable.

2. Etude de la submersion des ouvrages maritimes de la baie d'Alger :

Dans cette partie de note étude, on pourra mieux cerner ce phénomène de submersion, en estimant son effet à l'échelle des ouvrages de la baie d'Alger voir (**Fig. II 06**). Les principaux objectifs de cette partie sont les suivants :

1. L'estimation des débits de dépassement des ouvrages
2. Utilisation de plusieurs logiciels de calcul de dépassement des ouvrages pour pouvoir comparer et connaître leurs limites, et vérifier ou non leurs résultats

2.1. Méthode d'estimation de la submersion des ouvrages :

- Pour estimer l'aléa submersion des ouvrages, on a utilisé deux logiciels de calcul en ligne qui sont :
- Coastal and River Engineering Support System
- Wave Overtopping of Sea Defenses and Related Structures

Dans la manipulation des deux logiciels on s'est basé sur les résultats obtenus de la partie précédente (Cartographie de la submersion sur les côtes basses de la baie d'Alger), qui sont :

- La hauteur de la houle de tempête (2.5m) ;
- Le niveau d'inondation associé à la houle de tempête (3.5m) ;
- La hauteur de la houle extrême (7.5m) ;
- Le niveau d'inondation associé à la houle extrême (8.5m).

2.1. a. CRESS (Coastal and River Engineering Support System)

- i. Présentation du logiciel :

CRESS est un outil de calcul en ligne qui fournit une collection de petites routines, chacune contenant une formule, ou un groupe de formules, importantes dans l'ingénierie côtière et fluviale. L'entrée et la sortie sont hautement normalisées et sont toutes deux disponibles sous forme numérique et graphique (**Fig III.05**)

C'est une initiative du Ministère néerlandais des infrastructures et de l'environnement, de l'Université de technologie de Delft et de l'UNESCO-IHE. CRESS a été produit par IKM Engineering BV, les définitions des règles ayant été en partie établies par Royal Haskoning.

CRESS dispose des routines d'aide qui permettent à l'utilisateur de trouver des informations générales sur la formule appliquée, mais également des listes de constantes qui peuvent être saisies (par exemple les coefficients de rugosité

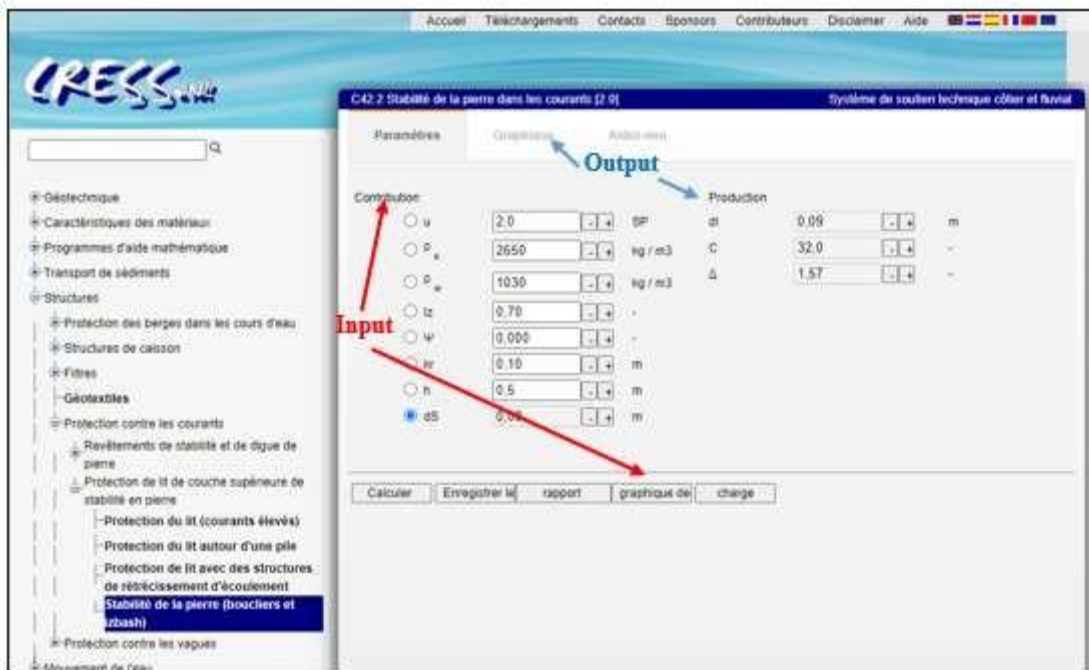


Fig III. 05 : Fenêtre de l’outil de calcul CRESS.

ii. Choix de la routine de calcul :

Le choix des routines se fait selon le type d’étude qu’on veut faire, dans notre cas, pour l’estimation du dépassement on a besoin de la routine suivante, voir (Fig III. 06)

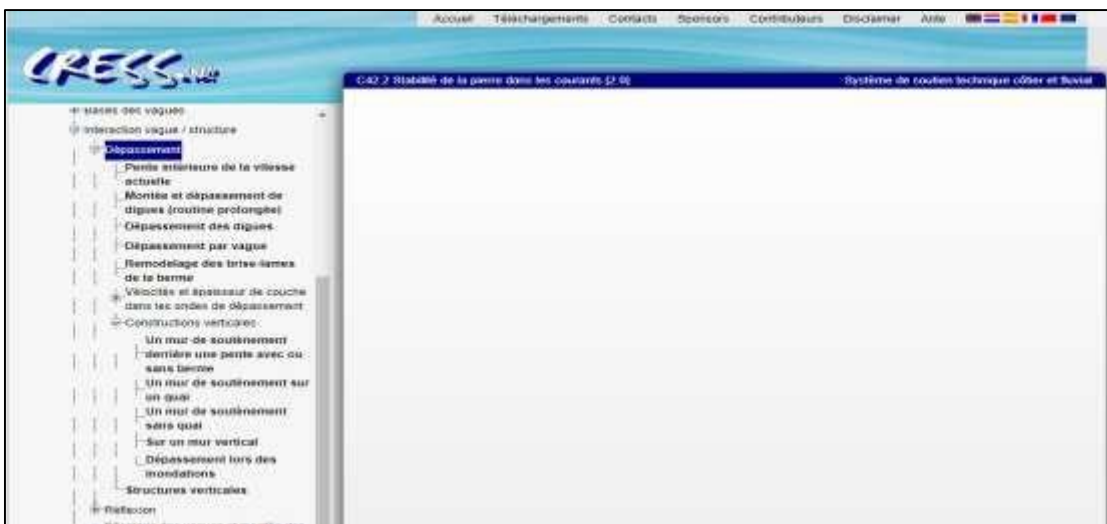


Fig III.06 : Fenêtre des routines pour l’estimation du dépassement sur l’outil de calcul CRESS.

Après visualisation de toutes les routines qui permettent le calcul du dépassement et les routines d'aide, on a pu déduire que la meilleure routine avec le maximum de paramètres en entrée et des données de sortie suffisamment détaillées pour bien comprendre le dépassement. C'est bien celle de «Vague dépassant une digue selon les directives néerlandaises» (**Fig III. 07**)

iii. Présentation de la routine « Vague dépassant une digue, selon les directives néerlandaises » :

Cette routine calcule le dépassement d'une digue, en tenant compte de tous les détails d'une digue hollandaise typique. Cette routine fait partie de l'évaluation officielle de la sécurité des digues, à effectuer tous les 5 ans pour toutes les digues aux Pays-Bas. (**Fig III. 07**)

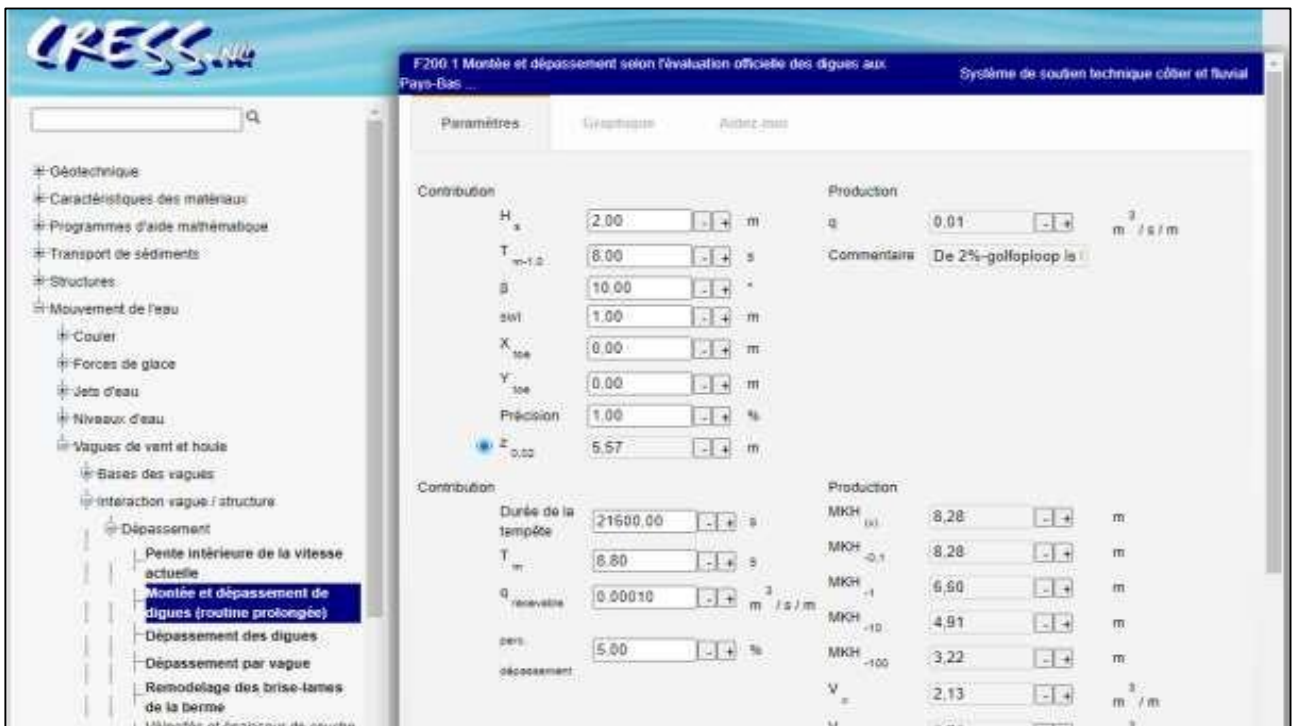


Figure III.07 : Fenêtre de la routine vague dépassant une digue selon les directives néerlandaises pour l'estimation du dépassement sur l'outil de calcul CRESS.

Comme c'est déjà dit précédemment, les paramètres d'entrée et les données en sortie dépendent de la routine choisie, pour celle-ci, on a :

a. Description des données l'entrée :

Paramètres	Descriptions
Hs	hauteur significative des vagues
T (m-1,0)	premier moment négatif de la période des vagues
b	Angle d'incidence des vagues (perpendiculaire = 0)
swl	niveau d'eau calme (au-dessus du zéro défini dans le tableau ci-dessous)
Xtoe	position de l'orteil (coordonnée horizontale)
Ytoe	position de la pointe (coordonnée verticale)
Précision	exigeait la précision de l'équation
Tempête	durée de la tempête en secondes
Tm	période moyenne des vagues d'entrée
q perc admissible. dépasser	dépassant le débit (x m ³ / s) pour le calcul du pourcentage MHK (x) (x%) à utiliser dans la sortie V (x)

Et enfin le tableau, les coordonnées des changements de pente, ainsi que la rugosité de chaque section voir **(Fig III. 08)**

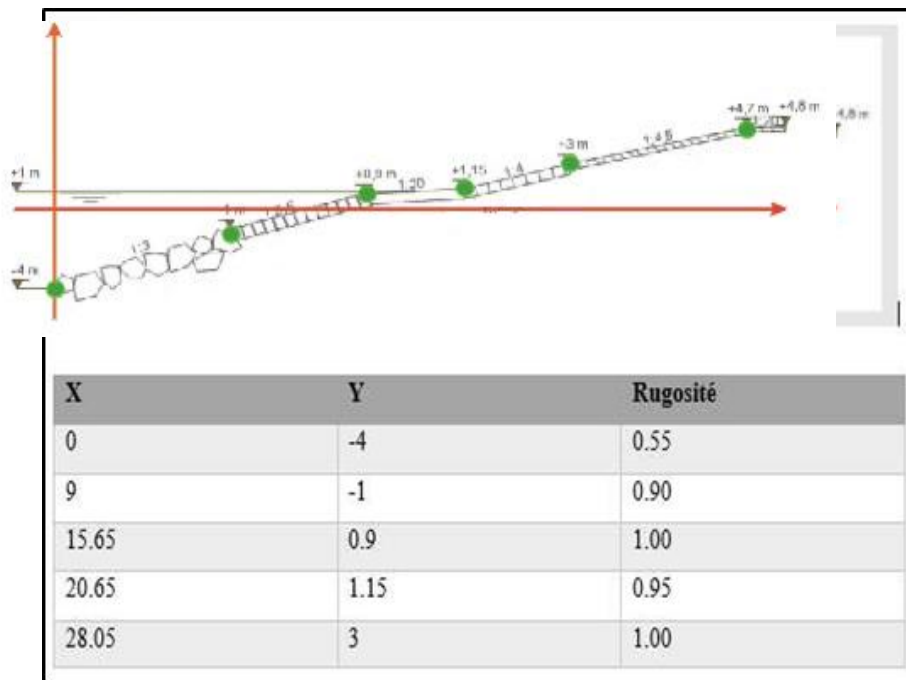


Fig III.08 : Tableau, les coordonnées des changements de pente, ainsi que la rugosité de chaque section

Concernant la période de vague utilisée pour la montée et le dépassement des vagues est la période spectrale équation (02), on a :

$$T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad \text{avec} \quad m_x = \int_0^{\infty} f^x S(f) df \quad \dots\dots\dots (02)$$

Cette période donne plus de poids à la période la plus longue du spectre qu'une période moyenne et, indépendamment du type de spectre, donne la vague correspondante montée ou dépassement pour la même valeur et les mêmes hauteurs de vagues. De cette façon, la montée et le dépassement des vagues peuvent être facilement déterminés pour les spectres à double pic et «aplatis», sans avoir besoin d'autres procédures difficiles.

Dans le cas d'un spectre uniforme avec un pic clair, il existe une relation fixe entre la période spectrale $T_{m-1,0}$ et la période de pic. Pour les spectres en eau profonde et à pic unique, on peut utiliser l'Equation (03) :

$$T_p = 1.17 T_{m-1,0} \quad \dots\dots\dots (03)$$

b. Description de la sortie :

Tableau III. 04 : Liste des paramètres de sortie sur CRESS	
Paramètres	Descriptions
z0,02	Hauteur de montée pour le commentaire de vague de 2% indique l'état de dépassement.
MKH(x)	Hauteur requise pour obtenir x m3 / s / m dépassement (entrée = admissible)
MKH(-0,1)	Hauteur requise pour obtenir 0,0001 m3 / s / m dépassement (0,1 l / s / m)
MKH(-1)	Hauteur requise pour obtenir un dépassement de 0,001 m3 / s / m (1 l / s / m)
MKH(-10)	Hauteur requise pour obtenir un dépassement de 0,01 m3 / s / m (10 l / s / m)
MKH(-100)	Hauteur requise pour obtenir un dépassement de 0,1 m3 / s / m (100 l / s /m)
Vx	Volume de l'onde de dépassement x% (entrée = dépassement de perc.)
V(0,01)	Volume de l'onde de dépassement 1%
V(0,1)	Volume de l'onde de dépassement 10%
V(0,5)	Volume de l'onde de dépassement 50%
V max	Volume de l'onde de dépassement la plus élevée

c. Conditions d'utilisation de CRESS :

Après avoir lu le manuel associé au logiciel, on a trouvé que celui-ci, peut uniquement calculer :

Cas de profil d'ouvrages à pente (entre 1/8 et 1), de type digue simple, pour résoudre ce problème on a un peu incliné la partie butée et cote d'arase des profils

- Durée de tempête comprise entre 1000s et 10^5 s
- Une période de pointe comprise entre 0 et 25s
- Une hauteur de houle (H_s) comprise entre 0 et 10m

2.1. b. Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures (EurOtop):

i. Présentation :

EurOtop est un manuel sur le franchissement des vagues des défenses maritimes accompagné par réseau de neurones artificiels qui nous permet d'effectuer des calculs en ligne sur le franchissement via internet.

1. Manuel sur le franchissement des vagues des défenses maritimes et des structures connexes :

Celui-ci est basé sur la recherche européenne, mais pour une application mondiale, en deux éditions :

- Première édition 2007 du manuel :

Avec le premier manuel de 2007, un outil de calcul en ligne avait été développé pour aider l'utilisateur à travers une série d'étapes pour établir des prévisions de dépassement pour : les remblais et les digues ; structures de tumulus de décombres ; les structures verticales. Malheureusement, aucun financement n'a pu être collecté pour mettre à jour l'outil de calcul en ligne avec de nouvelles formules pour un nouveau manuel de 2018. L'ancien outil de calcul a donc été supprimé du site Web et n'est pas disponible en tant qu'outil couvrant ce nouveau

- Deuxième édition 2018 du manuel :

Le manuel de dépassement incorpore de nouvelles techniques pour prédire le dépassement des vagues sur les digues, les remblais d'inondation, les brise-lames et d'autres structures du littoral. Il comprend des études de cas et des exemples de calculs.

Le manuel est destiné à aider les ingénieurs côtiers à analyser les performances de dépassement de la plupart des types de défense maritime trouvés dans le monde.

Les méthodes du manuel peuvent être utilisées pour les évaluations de performances actuelles et pour les calculs de conception à plus long terme.

Le manuel définit les types de structure, fournit des définitions des paramètres et donne des conseils sur la façon d'interpréter les résultats.

Un chapitre sur les dangers donne des conseils sur les débits tolérables et les processus de dépassement, y compris des vidéos sur les débits de dépassement.

2. Réseau de neurones artificiels EurOtop ANN :

Parallèlement à ce manuel, un réseau de neurones artificiels, appelé **EurOtop ANN (EurOtop Artificial Neural Network)**, est disponible pour prédire le débit moyen de dépassement pour tous les types de géométries de structure, donné par un certain nombre de paramètres hydrauliques et géométriques en entrée.

Il est basé sur la grande base de données EurOtop, étendue de la base de données **CLASH (Crest Level Assessment of Coastal Structures by Full-scale Monitoring, Neural Network Prediction and Hazard Analysis on Permissible Wave Overtopping)**, qui contient plus de 13 000 tests sur le franchissement des vagues.

La rédaction d'EurOtop a été soutenue et financée en partie au Royaume-Uni par le programme de recherche conjoint FCERM et coordonnée par l'Agence pour l'environnement, en Allemagne par le Conseil allemand de recherche en génie côtier (KFKI), aux Pays-Bas par Rijkswaterstaat, Réseau d'expertise néerlandais pour la protection contre les inondations.

2. Site web d'EurOtop :

On utilisant le site EurOtop on peut effectuer :

- Téléchargements des versions actuelles et anciennes du manuel EurOtop ;
- Accès aux bases de données et aux réseaux de neurones artificiels pour la prédiction ;

- Vidéos montrant les débits de dépassement et les volumes de vagues de dépassement pour diverses conditions de vagues afin de guider l'utilisateur dans l'estimation du dépassement de vagues autorisé ;
- Accès à PC-Overtopping pour prédire le dépassement des structures de type digue, bien que basé sur EurOtop (2007) ;
- EurOtop Live, incitant les chercheurs et les praticiens à améliorer EurOtop.

ii. Choix de l'outil de calcul du dépassement :

Afin de prédire le dépassement des structures de type digue, l'ingénieur doit utiliser sur EurOtop, l'outil **PC-Overtopping** qui permet d'introduire les paramètres selon les caractéristiques de l'ouvrages et pour des conditions hydrauliques très variées contrairement à l'outil de simulations de dépassements de vague (vidéo de dépassements de vague) qui à son tour limite les possibilités d'usages (conditions hydrauliques $H_{m0} = 1 \text{ m}$; 2 m et 3 m , pente lisse de 1:3).

iii. Présentation de PC-Overtopping

Le programme PC-Overtopping a été réalisé à partir des résultats de **TAW (2002) (Technical Report Wave Run-up and Wave Overtopping at Dikeset 2002)** est utilisé pour l'évaluation de la sécurité de toutes les défenses hydriques aux Pays-Bas.

Le programme était principalement basé sur une structure de type digue. Cela signifie que la structure doit être en pente, bien qu'un petit mur vertical au-dessus de la digue puisse être pris en compte.

La rugosité / perméabilité sur la pente peut être prise en compte, mais pas une crête avec des unités de roche ou de blindage perméables et rugueuses.

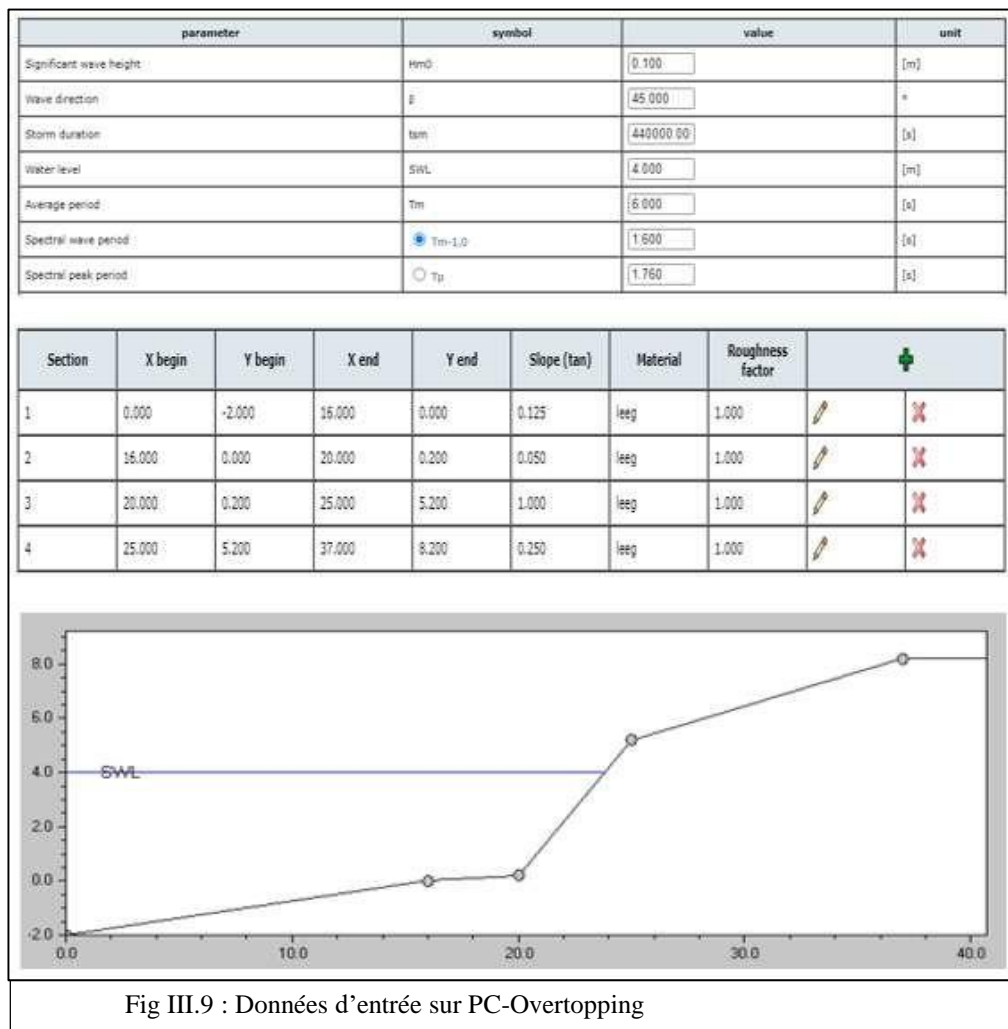
Dans un tel cas, la structure doit être modélisée jusqu'à la transition vers la crête et d'autres formules doivent être utilisées pour tenir compte de l'effet de la crête. PC-Overtopping n'a pas été mis à jour, mais est toujours disponible. Il continuera à donner les mêmes réponses qu'EurOtop (2007).

Le type de paramètre d'entrée et les données de sortie dans PC-Overtopping sont similaires à celles du CRESS, on a :

a. Description de l'entrée :

Les paramètres d'entrée sont : la hauteur d'onde, la période d'onde (choix entre le spectre paramètre $T_{m-1,0}$ et la période de pointe T_p), l'angle des vagues, le niveau d'eau (par rapport à CD, le même niveau utilisé pour la géométrie de la structure) et enfin la durée de la tempête et la période moyenne (pour le calcul de dépassement des volumes, etc.) voir **(Fig III. 9) au-dessous**

Le rapport $T_p / T_{m-1,0}$ est standard pris comme 1,1. Sur un rivage peu profond, ce rapport peut être très différent de 1,1 et peut même être aussi bas que 0,3. La formule de dépassement est basée sur $T_{m-1,0}$ et la valeur correcte devrait être utilisée dans le cas d'un estran peu profond, pas le T_p en eau plus profonde **(EurOtop, 2007)**



b. Description de sortie :

La sortie est donnée dans trois tableaux et des graphiques illustrés aux (**Fig III.10, 11 et 12**)

- 1^{er} tableau :

Le tableau supérieur donne le niveau de montée de 2%, le débit de débordement moyen et pourcentage de vagues de débordement. Si le niveau de montée de 2% est plus élevé que la crête de digue réelle, ce niveau est calculé en prolongeant la section la plus élevée de la section transversale.

- 2^{ème} tableau :

Le tableau du milieu donne la hauteur de digue requise pour des débits moyens de dépassement donnés. Ici aussi la section la plus haute est étendue, si nécessaire.

- 3^{ème} tableau :

Enfin, dans le tableau le plus bas, le nombre d'ondes de dépassement dans le étant donné la durée de la tempête, ainsi que le volume de dépassement maximal et les autres volumes, appartenant à des pourcentages de dépassement spécifiés (pourcentage du nombre de vagues de dépassement).

- Graphiques :

Tous les résultats des tests où les formules sur lesquelles on s'est basé sont données dans un graphique de montée ou de dépassement, voir **Figure. III.11** et **Figure.III.12**.

Les graphiques montrent la montée ou le dépassement réel mesuré, y compris l'effet de réductions dues à la rugosité, les bermes, etc. La courbe donne le maximum, ce qui signifie une pente douce et droite avec attaque de vague perpendiculaire. Le programme trace ensuite le point dans ces graphiques (le point vert dans le cercle rouge)

Calculated parameters	Average value
2% wave runup	0.307
2% wave runup	0.000
Percentage of overtopping	0.000
Overtopping[l/s/m]	Crest height[m]
0.100	0.000
1.000	0.000
10.000	0.000
100.000	0.000
Percentage[%]	Amount[l/m]
Number of waves	0
Vmax	0
1.000%	> Vmax
10.000%	> Vmax
50.000%	> Vmax
100.000%	> Vmax

Fig III.10 : Tableaux en sortie de PC-Overtopping

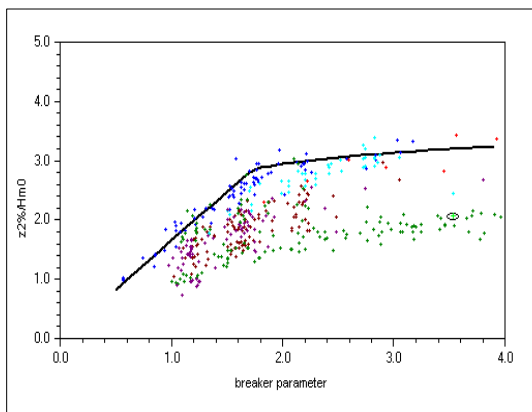


Fig III.11 : Vérification au niveau de montée de 2%

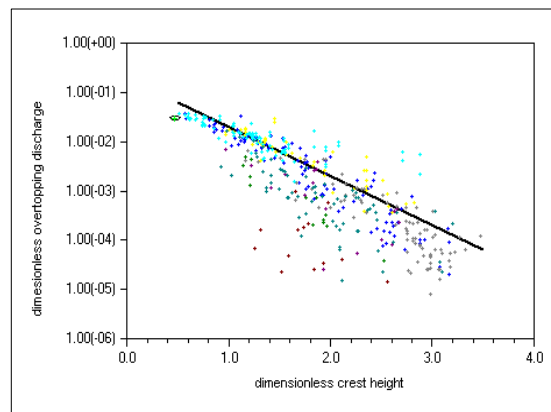


Fig III.12 : vérification du débit moyen de dépassement

c. Conditions d'utilisation d'EurOtop :

Dans la manipulation de ce logiciel on a eu affaire à des messages d'aide qui expliquent les conditions d'utilisation de celui-ci, on a trouvé que :

1. Le logiciel lance des messages d'aide, pour prévenir que toute pente doit d'être comprise entre 1/8 et 1, ce qui signifie que celui-ci ne peut pas lire les pentes parfaitement horizontales, Pour résoudre ce problème, on a un peu incliné les pentes de la partie cote d'arase et butée ;
2. Sur EurOtop, on ne peut pas traiter les profils d'ouvrages verticaux.

Remarque : Vu le manque de données qu'on a sur les paramètres période de pic (T_p) et durée d'action (T_{temp}), on a estimé que : $T_{temp} = 6h$

$$T_p = 8s \text{ (pour } H_s = 2.5m, H_s = 3.5m)$$

$$T_p = 14.5s \text{ (pour } H_s = 7.5m, H_s = 8.5m)$$

2.2. Résultats du dépassement sur les deux logiciels :

Comme c'est décrit bien avant les deux logiciels CRESS et EurOtop fournissent différents résultats voir annexe 3. Dans les tableaux ci-dessous, on peut voir les résultats les plus pertinents (on va s'intéresser aux débits de franchissement) pour expliquer la submersion des ouvrages

Tableau III. 05 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour $H_s=2.5m$

	Profil	CRESS ($m^3/m/s$)	EurOtop ($m^3/m/s$)	Observations
Port d'Alger	Quai de Guelma	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Jetée Mustapha	/	/	
Sablettes	Coupe DD	0.00	$0.033 \cdot 10^{-3}$	/
	Coupe H1-H1	0.00	$0.013 \cdot 10^{-3}$	
	Coupe C-C	0.00	$0.114 \cdot 10^{-3}$	
	Quai	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Coupe musoir	0.10	$0.064 \cdot 10^{-3}$	Valeur CRESS > Valeur EurOtop
Oued El Harrach	Coupe A	0.00	$0.682 \cdot 10^{-3}$	/
Mohammadia	Coupe 2-2	0.00	$0.268 \cdot 10^{-3}$	/
Verte Rive	Coupe B/B	0.02	$2.693 \cdot 10^{-3}$	Valeur CRESS > Valeur EurOtop
Oued El Hamiz	Coupe B-B	0.00	$0.643 \cdot 10^{-3}$	/
Stamboul	Coupe A	0.04	$4.046 \cdot 10^{-3}$	Valeur CRESS > Valeur EurOtop
Tamentfoust	Coupe b	0.03	$0.019 \cdot 10^{-3}$	Valeur CRESS > Valeur EurOtop
	Quai de plaisance	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales

Tableau III. 06 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour Hs=3.5m

	Profil	CRESS (m ³ /m/s)	EurOtop (m ³ /m/s)	Observations
Port d'Alger	Quai de Guelma	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Jetée Mustapha	/	/	
Sablettes	Coupe DD	0.02	1.134 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Coupe H1-H1	0.02	0.333 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Coupe C-C	0.02	2.843 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Quai	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Coupe musoir	0.2	0.955 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Oued El Harrach	Coupe A	0.02	9.322 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Mohammadia	Coupe 2-2	0.01	4.244 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Verte Rive	Coupe B/B	0.12	25.296 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Oued El Hamiz	Coupe B-B	0.07	8.680 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Stamboul	Coupe A	0.18	33.425 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Tamenfoust	Coupe b	0.1	0.409 10 ⁻³	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Quai de plaisance	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales

Tableau III. 07 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour Hs=7.5m

	Profil	CRESS (m ³ /m/s)	EurOtop (m ³ /m/s)	Observations
Port d'Alger	Quai de Guelma	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Jetée Mustapha	/	/	
Sablettes	Coupe DD	0.92	0.288	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Coupe H1-H1	1.07	0.217	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Coupe C-C	0.98	0.442	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Quai	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Coupe musoir	1.78	0.305	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Oued El Harrach	Coupe A	1.52	0.846	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Mohammadia	Coupe 2-2	1.19	0.604	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Verte Rive	Coupe B/B	2.78	1.361	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Oued El Hamiz	Coupe B-B	2.17	0.855	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Stamboul	Coupe A	3.27	1.561	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Tamenfoust	Coupe b	2.74	0.329	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Quai de plaisance	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales

Tableau III. 08 : Résultats comparatifs des débits de dépassement sur CRESS et EurOtop pour Hs=8.5m

	Profil	CRESS (m ³ /m/s)	EurOtop (m ³ /m/s)	Observations
Port d'Alger	Quai de Guelma	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Jetée Mustapha	/	/	
Sablettes	Coupe DD	1.50	0.539	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Coupe H1-H1	1.67	0.396	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Coupe C-C	1.60	0.788	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Quai	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales
	Coupe musoir	2.70	0.551	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Oued El Harrach	Coupe A	2.31	1.361	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Mohammadia	Coupe 2-2	1.83	1.004	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Verte Rive	Coupe B/B	3.91	2.066	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Oued El Hamiz	Coupe B-B	3.12	1.358	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Stamboul	Coupe A	4.52	2.328	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
Tamenfoust	Coupe b	3.83	0.590	Valeur CRESS>Valeur EurOtop
	Quai de plaisance	/	/	Les deux logiciels ne donnent pas de résultats pour le cas de structures verticales

2.3. Discussion :

2.3.1. Analyse et interprétation des résultats obtenus sur CRESS :

Les résultats des débits du dépassement obtenus sur CRESS montrent que plus le niveau d'inondations augmente plus le débit de dépassements (q) augmente. En comparant les résultats obtenus pour $H_s=2.5$ avec $H_s=3.5m$ et ceux pour $H_s=7.5$ avec $H_s=8.5$, on peut dire que les tempêtes produites par le changement climatiques sont plus endommagantes que celle dites tempêtes périodiques (q entre 0 et $4.52 \text{ m}^3/\text{m/s}$)

En réalité, il n'y a pas de décharge constante sur la crête d'une structure lors du dépassement. Le processus de dépassement des vagues est très aléatoire en temps et en volume. Les vagues les plus hautes poussent une grande quantité d'eau sur la crête en peu de temps, moins d'une période de vagues. Les vagues plus basses ne produiront aucun dépassement. Les ouvrages de la partie Est de la baie d'Alger sont plus affectés par les inondations en particulier le port de Tamenfouset, les épis de verte rive et la jetée de el Mohammedia...

Les ouvrages de la partie Ouest de la baie subissent aussi l'effet des inondations mais avec une intensité moindre en particulièrement les points anguleux (la partie coude de la jetée n°03, Sablettes) avec $q=1.51 \text{ m}^3/\text{m/s}$

Les ouvrages implantés en front de mer et à proximité des embouchures des oueds El Harrach et oued El Hamiz seront les plus touchées par l'inondation vue l'effet combiné de la mer et les oueds.

2.3.2. L'analyse des résultats obtenus sur le logiciel EurOtop

Pour interpréter les résultats obtenus sur EurOtop et classer les ouvrages selon leur degré d'exposition au dommage, on s'est basé sur les intervalles fixé dans le manuel EurOtop.

Pour une hauteur de vague de 2,5m les débits moyens (décharges moyennes) sont $<0.002 \text{ [m}^3/\text{sm]}$ ce qui signifie la résistance de la crête et l'arrière de la structure. A l'exception des ouvrages de Verte rive ($q=2.693 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sm}$) et Stamboul ($q=4.046 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sm}$) qui sont sujette aux dommages (cas de crête non protégée).

Pour une hauteur de vague de 3.5m les ouvrages de la partie Est de la baie se caractérisent par des valeurs des débits moyens comprises entre $0.02 \text{ m}^3/\text{sm}$ et $0.05 \text{ m}^3/\text{sm}$, avec dommages pour une pente arrière non protégée.

La partie Ouest de la baie quant à elle subit des dommages moins importantes avec des décharges moyennes comprises entre $0.002 \text{ m}^3/\text{sm}$ et $0.02 \text{ m}^3/\text{sm}$.

Par ailleurs, pour les deux autres niveaux d'inondations 7.5m et 8.5m, les débits présentent des valeurs très élevées $q > 0.05 \text{ m}^3/\text{sm}$, ce qui signifie une submersion totale de la structure causant des dommages très importants.

La valeur du débit moyen est essentiellement influencée par l'angle d'incidence des vagues, ce qui explique la présence de grands débits de dépassement dans la partie Est où l'ouvrage subit une attaque presque parfaitement frontale et la diminution en allant vers l'ouest avec une augmentation de l'obliquité de l'angle d'incidence (pour une houle NW).

Les décharges sur les ouvrages ne dépendent pas seulement de l'angle d'incidence des vagues, mais aussi du type d'ouvrage, sa géométrie et l'environnement de l'ouvrage. Par exemple, l'élévation des niveaux d'eau n'aura pas la même conséquence si l'ouvrage se situe en eau profonde ou s'il se situe en eau peu profonde.

Remarque : Les intervalles de classification des décharges moyennes tolérables (m^3/sm) fixées dans le manuel EurOtop sont les suivantes :

- $q < 0.002$ Aucun dommage.
- $0.002 < q < 0.02$ Dommages si la crête n'est pas protégée.
- $0.02 < q < 0.05$ Dommages si pente arrière non protégée.
- $q > 0.05$ Dommage même si la crête est entièrement protégée.

2.3.3. Comparaison des résultats des débits du dépassement obtenus sur CRESS et EurOtop :

Les **tableaux (III.7, 8, 9 et 10)**, montrent que les valeurs des débits obtenus sur CRESS sont largement supérieures à celles obtenus sur EurOtop. Cela dit, ces valeurs s'approchent, ont le même ordre de grandeur de celui obtenu par CRESS pour des hauteurs de vagues importantes (8.5m).

En outre, la tendance de variation de la décharge sur les ouvrages avec CRESS ou avec EurOtop, est la même. Elle est influencée par l'angle d'incidence des vagues, le type, géométrie et l'environnement de l'ouvrage

Conclusion :

L'utilisation des deux logiciels CRESS et EurOtop nous a permis de comprendre les changements futurs dans la baie d'Alger des risques d'inondations issus des vagues surplombant les digues ou autres structures. Il s'avère que l'inondation est fonction de l'obliquité de la houle, du type, géométrie et de l'environnement de l'ouvrage (profondeur). Donc les points anguleux des ports, situés essentiellement dans zone centrale, mais surtout orientale de la baie où l'attaque est frontale sont les plus exposés aux dommages qui peuvent être à l'origine des pertes économiques mais aussi humaine. Ce qui nous amène à dire, qu'une étude de risque est exigence clé pour une gestion efficace des défenses côtières.

Conclusion chapitre :

Dans le présent chapitre, on a abordé la problématique de la submersion des côtes de la baie d'Alger, à travers une synthèse d'études complémentaires menées à ce sujet et en utilisant différents logiciels (Arcgis, EurOtop et CRESS). Les résultats obtenus révèlent, d'ici 2100, l'exposition totale de toute la baie aux risques d'inondation (les plages, les dunes, les ouvrages portuaires et les ouvrages de protection...) avec une tendance progressive et aussi une dynamique régressive du rivage, essentiellement enregistrée au niveau des tronçons côtiers orientaux (Tamenfoust, verte rive...etc.).

En conséquence, des pertes économiques ou même humaines sont très probables, vu la nature dangereuse du phénomène.

Une remise en question est primordiale pour une gestion plus efficace des espaces côtiers. En effet, l'évaluation des risques pour une réduction des risques est une exigence clé dans la conception, la gestion, l'aménagement et l'adaptation des structures côtières, particulièrement pour des conditions extrêmes futures.

Chapitre IV : Adaptation des ouvrages à l'effet du changement climatique

Chapitre IV : Adaptation des ouvrages maritimes vis-à-vis l'élévation du niveau de la mer dû aux changements climatiques

Introduction :

Une des conséquences attendues du changement climatique est la remontée du niveau des mers et océans. Le 4ème rapport d'évaluation du GIEC (2007) synthétisé par l'ONERC (2010) propose un scénario dit "optimiste" de surélévation de 0,40 m et un scénario "pessimiste" avec une surélévation de 0,60 m à l'horizon 2100. Certains scénarios dits "extrêmes" (minimum et maximum) proposent une surélévation possibles de 1 m, c'est le cas dans notre zone d'étude (baie d'Alger). La variation du niveau moyen, en elle-même et les effets induits sur l'augmentation des hauteurs de vagues à l'ouvrage conduisent à des franchissements accrus des ouvrages maritimes de protection et donc à des aléas d'inondation. Donc la question à se poser est comment peut-on renforcer ou même adapter les ouvrages côtiers, de la baie d'Alger à ce genre d'alea ?

Les principaux objectifs de ce chapitre sont les suivants :

L'objectif principal de ce chapitre est de trouver la meilleure solution pour renforcer les ouvrages de la baie d'Alger, cela après avoir :

1. Choisir un ouvrage de référence, représentatif de ceux présents dans la baie d'Alger ;
2. Estimation et analyse de l'effet d'une surélévation du niveau moyen de 1 m sur l'ouvrage de référence ;
3. Tester l'efficacité des variantes à l'aide du logiciel EurOtop.

1. Méthode pour choisir l'adaptation des ouvrages maritimes vis-à-vis l'élévation du niveau de la mer dû aux changements climatiques

1.1. Choix et conditionnement de l'ouvrage de référence :

Plutôt que de partir par des plans d'un ouvrage existant, nous avons choisi de dimensionner une digue "virtuelle", dite de référence, en utilisant les règles de l'art actuelles à partir de conditions de bathymétrie et de climat de houle données. L'étude des différents ouvrages maritimes existants, sur la baie d'Alger, nous a conduits à choisir comme ouvrage de référence type, une digue à talus avec carapace en blocs artificiels type BCR (blocs cubiques rainurés dits aussi d'Antifer).

Ce type d'ouvrage nous a semblé assez représentatif du point de vue de la variété des digues existantes dans notre zone d'étude et des solutions de renforcement envisagées. De même, on a choisi une profondeur moyenne d'eau en pied d'ouvrage de $h=5$ m. Le **tableau IV.01** résume les paramètres descriptifs de la digue virtuelle proposée et (**Fig IV 01**) qui suit représente son schéma, y compris ces dimensions.

Tableau IV.01 : Paramètres descriptifs de la digue virtuelle.	
Paramètres de l'ouvrage	Valeur
Type de blocs pour la carapace	BCR
Facteur de rugosité pour la carapace	0.9
Pente	2/3
Cote d'Arase[m]	+4.00
Niveau d'eau SWL[m]	0.00
Direction des vagues b	30°
Profondeur au pied de l'ouvrage [m]	-5

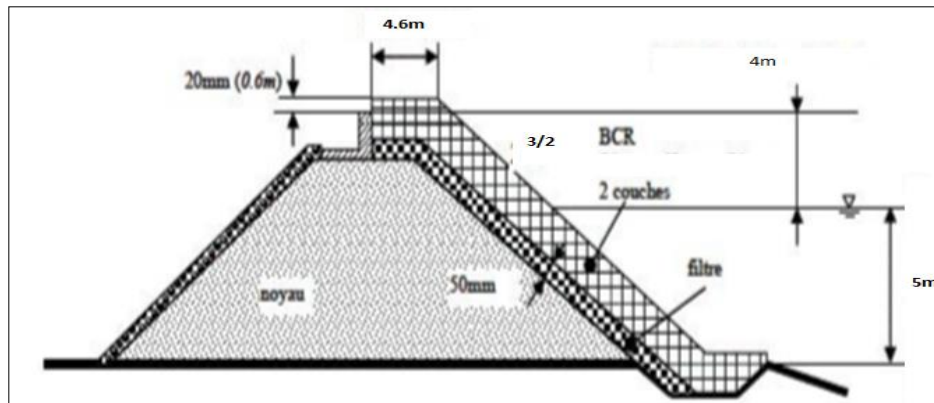


Fig IV.01 : Schéma représentatif de la section de référence de la digue virtuelle.

Afin de comparer les résultats obtenus avec les modèles EurOtop avant et après renforcement nous avons fixé des conditions de houle dites extrêmes, périodes moyennes T_m et de durée d'action, qui sont :

- Période moyenne : $8 \text{ s} \leq T_m \leq 14.5 \text{ s}$
- Hauteur significative (houle au large) en mètre : 2.5, 3.5, 7.5 et 8.5 ;
- Pente des fonds devant l'ouvrage : 2% ;
- Hauteur d'eau initiale, de référence, en pied d'ouvrage : $h=5 \text{ m}$;
- Durée des essais : 6h

1.2. Estimation de l'effet d'une surélévation du niveau moyen de 1 m sur l'ouvrage de référence (Les résultats d'EurOtop à des conditions initiales) :

Des calculs numériques ont été effectués sur EurOtop pour estimer les effets d'une élévation du niveau moyen des mers d'1m sur la digue de référence sans renforcement. Avec une hauteur vague qui passe donc de 2.5m à 3.5m et de 7.5 m à 8,5 m au pied d'ouvrage. La figure (**Fig IV 02**) présente les résultats obtenus pour les quatre hauteurs de houle testées.

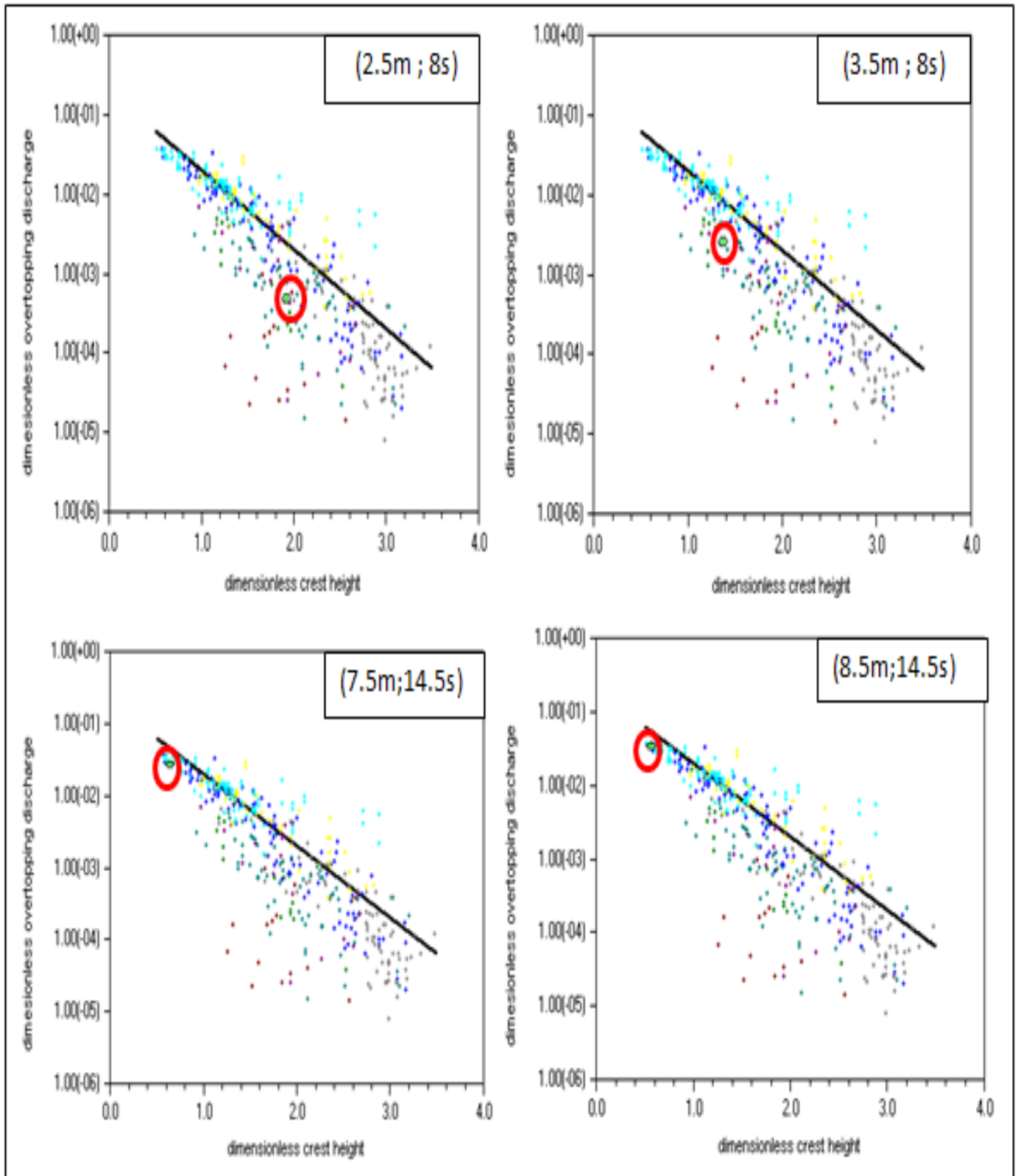


Fig IV.02 : Graphiques représentatifs des variations de franchissement en fonction de la hauteur de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (H_s, T_m) .

- **Analyse et interprétation des résultats de franchissement sur la digue à l'état initial avant l'adaptation :**

Les graphiques présents, ci-dessus montrent des variations de franchissement fonction des hauteurs de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (Hs, Tm)

Le franchissement est représenté par le débit (q) et la hauteur de la crête de la structure par rapport au niveau de l'eau est définie comme le franc-bord de crête c'est en fait le point de la structure ou l'eau de débordement ne peut plus refluer vers la mer ceci est signifié par le point entouré en rouge dans les graphes.

Dans le cas d'une houle de 2.5m la décharge moyenne $q < 0.002 \text{ m}^3/\text{m/s}$, avec un non dommage sur l'ensemble de la structure.

Dans le cas d'une houle de 3.5m la décharge moyenne est entre $0.002 \text{ m}^3/\text{m/s}$ et $0.02 \text{ m}^3/\text{m/s}$, celle-ci peut endommager la crête de la structure.

Les deux derniers graphiques montrent que pour des hauteurs de houle de 7.5m et 8.5m des franchissements qui dépassent $0.05 \text{ m}^3/\text{m/s}$, ce qui signifie un dommage sur l'ensemble de la digue et une destruction totale de la digue pour une hauteur de houle de 8.5m.

1.3. Renforcement pour un scénario "extrême" h=1 m

Dans ce qui suit, pour une surélévation du niveau d'eau d'un mètre, on a testé et discuté l'efficacité de cinq variantes à l'aide du logiciel EurOtop..

1.3.1. Rehausse du mur de couronnement avec ou sans béquet de déflexion (Variante 01) :

Pour cette condition "extrême" nous avons opté comme première solution, pour un rehaussement du mur de couronnement de 2 m.

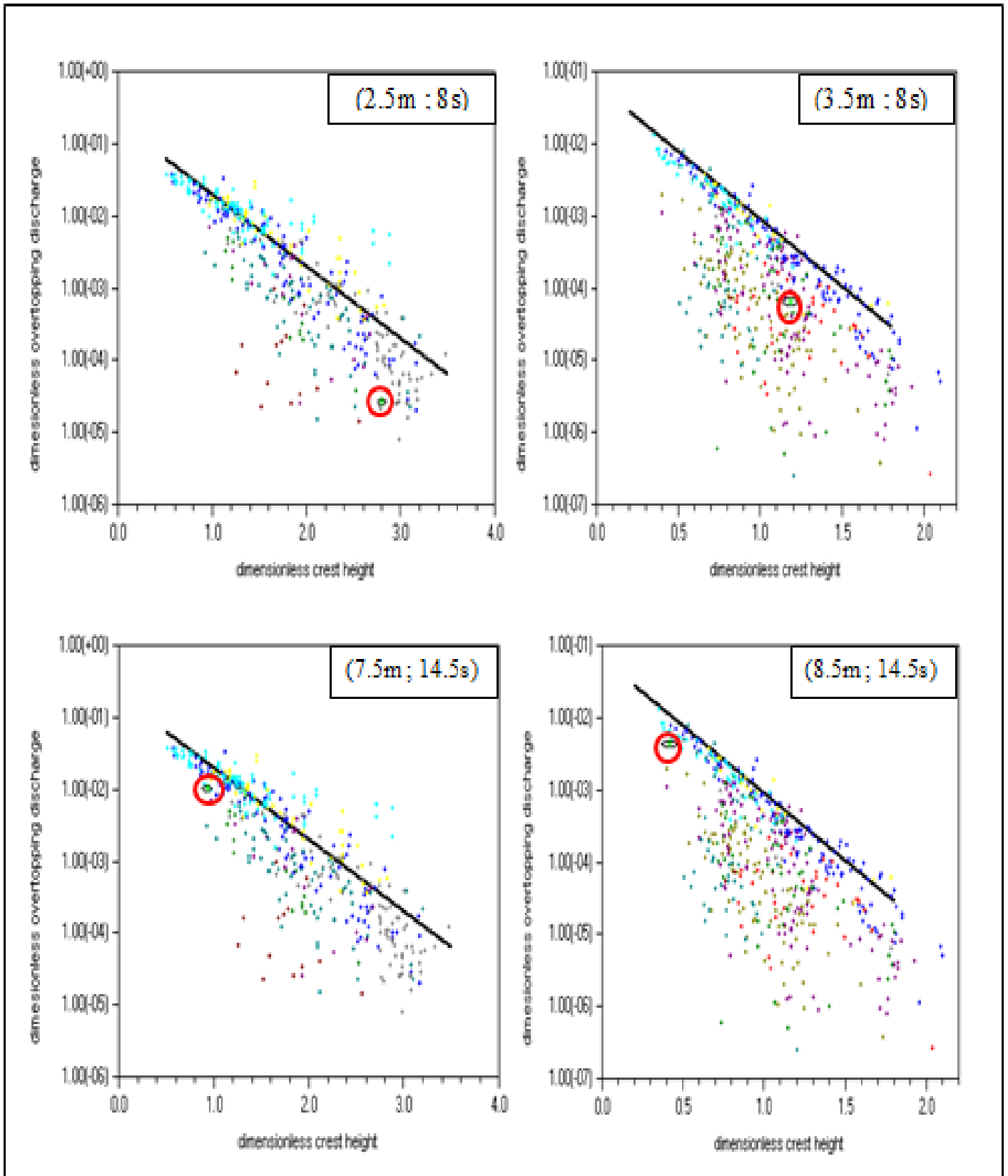


Fig. IV 03 :Graphiques représentatifs des variations de franchissement fonction des hauteurs de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (H_s, T_m) avec rehausse du mur de couronnement

- Les prévisions :

Les graphes présentés ci-dessus montrent des valeurs de débit avec une houle extrême de 8.5m de $0.005\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$ ($\ll 0.02\text{m}^3/\text{m}/\text{s}$) ce qui signifie pas ou peu de dommage sur l'ensemble de la structure.

Cependant, ce type de solution accroît fortement la réflexion sur l'ouvrage et engendre des vitesses importantes autour des blocs de la carapace. Ces phénomènes induisent alors une augmentation importante des mouvements des blocs conduisant à des taux d'endommagement dépassant les seuils admissibles. Ce constat conduit à envisager d'autres solutions de renforcement qui suivent deux logiques différentes : diminution de l'énergie de la houle à l'ouvrage en construisant une digue détachée submergée en amont de l'ouvrage ou renforcement de la carapace de la digue principale par ajout de blocs soit sous forme de berme en pied d'ouvrage soit sous forme d'une troisième couche.

1.3.2. Digue détachée avec immersion de 4.5 m (Variante 02) :

- Les prévisions sur la solution :

Cette solution ne permet pas de réduire suffisamment les franchissements sauf avec une hauteur importante de la digue détachée.

1.3.3. Digue détachée avec immersion de 2 m (Variante 03) :

- Prévision sur la solution :

La réduction d'immersion accroît les risques d'instabilité par érosion du matériau constitutif ; d'où le choix d'utiliser le même matériau que précédemment comme noyau mais recouvert d'une couche de blocs artificiels (BCR) identiques à ceux de la carapace de la digue principale. Cette configuration permet de réduire l'immersion à 2m. Cette configuration ne permet pas non plus d'atteindre les valeurs initiales de franchissement.

1.3.4. Troisième couche de blocs artificiels sur la carapace (Variante 04) :

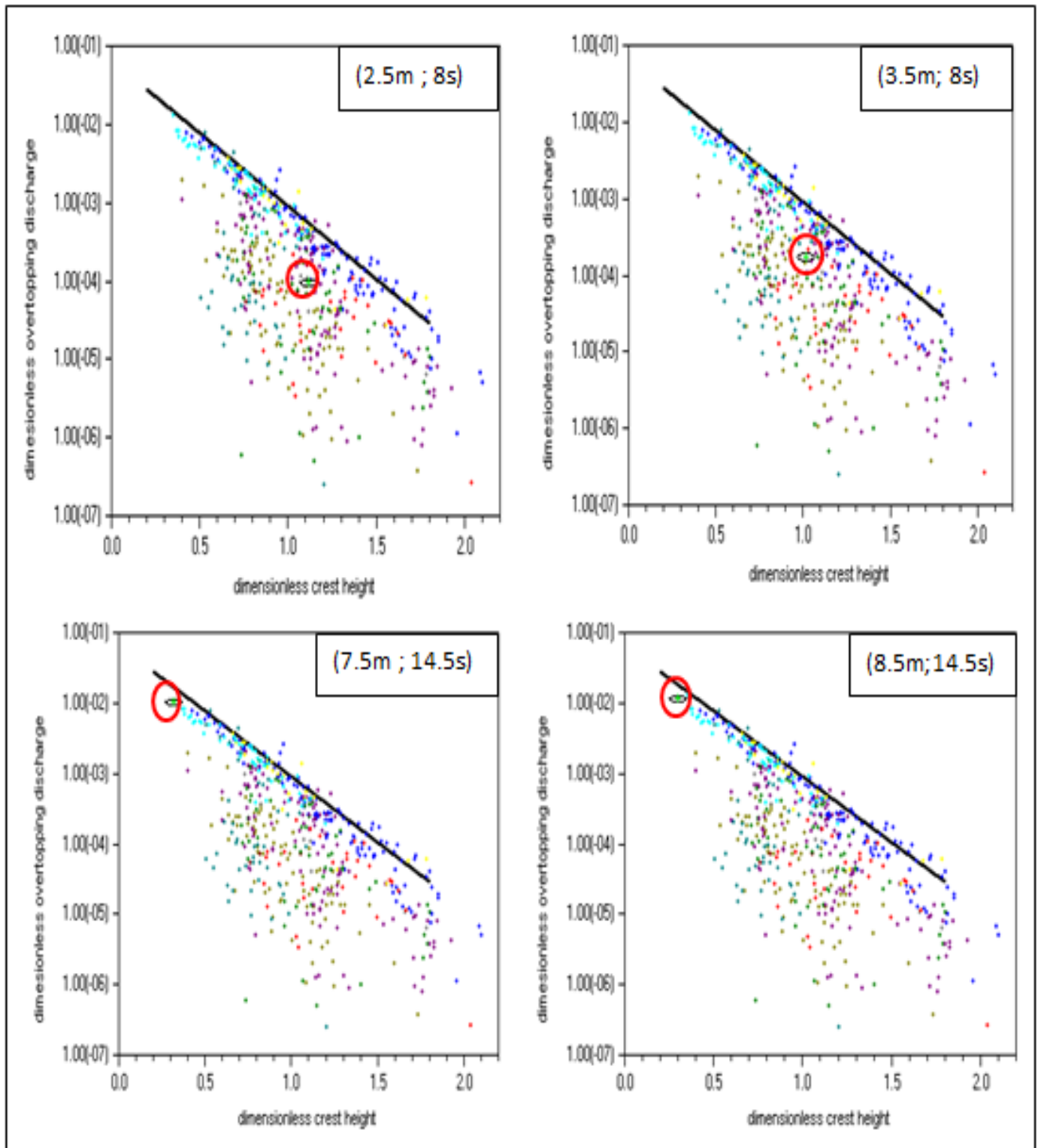


Fig. IV 04 : Graphiques représentatifs des variations de franchissement en fonction de la hauteur de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (H_s, T_m) avec une troisième couche des BCR sur la carapace.

- Préviation sur la solution :

Cette solution permet de réduire les franchissements ; cependant les débits restent encore supérieurs aux valeurs de référence et peut causer des dommages sur la crête. Comme solution, on propose une autre variante qui consiste à rendre le haut de carapace moins perméable en surélevant le mur de couronnement

1.3.5. Troisième couche de blocs artificiels sur la carapace et rehausse du mur de couronnement (Variante 05) :

- Préviation sur la solution :

Une rehausse jusqu'au niveau supérieur de la carapace permet d'atteindre les objectifs visés concernant le franchissement et la stabilité de la carapace.

2. Resultats du renforcement de la digue virtuelle :

Après introduction du profil de la digue virtuelle renforcée avec une carapace à 3 couches de BCR et une rehausse du mur de couronnement de 2 m. On a eu les résultats de la figure (**Fig IV.03**)

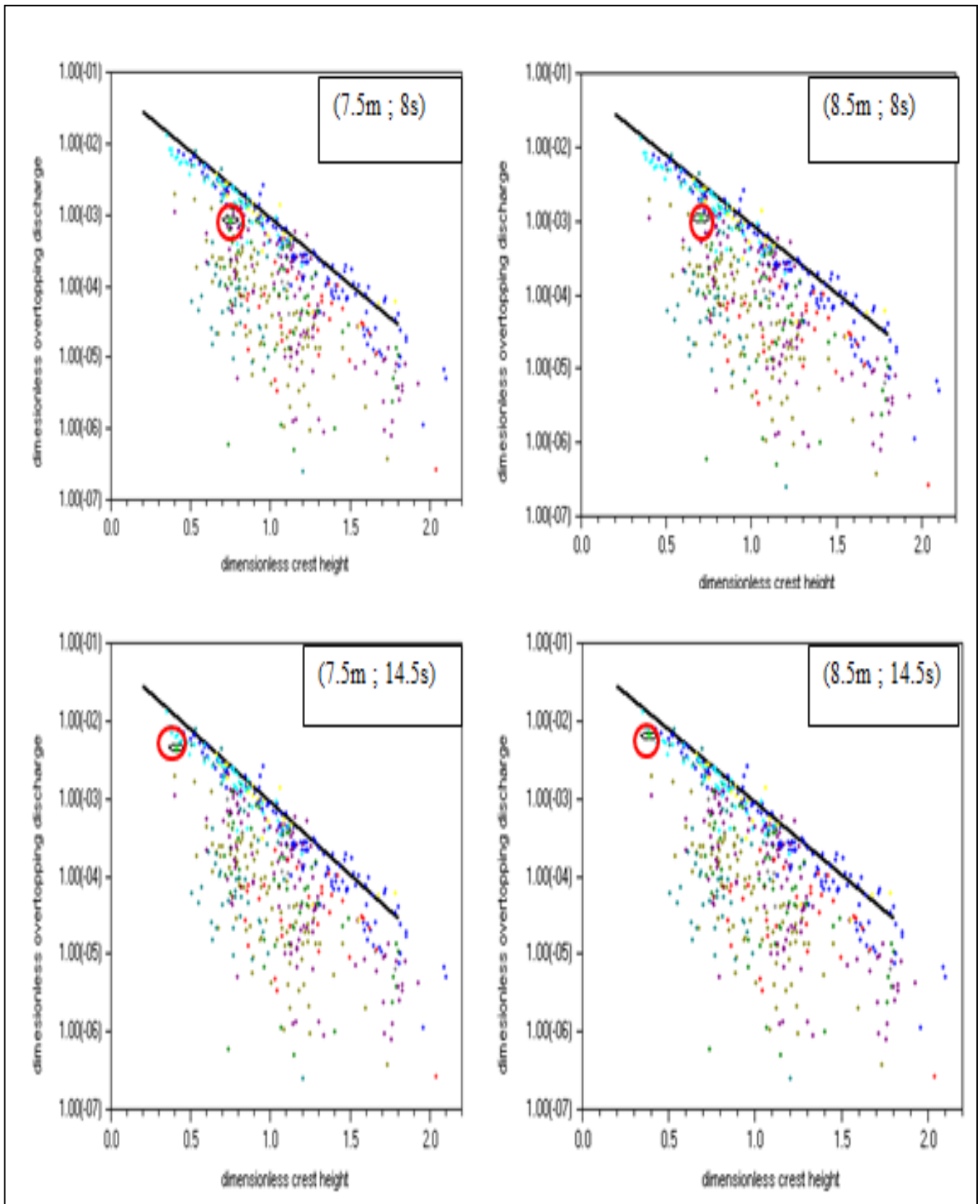


Fig. IV 05 : Graphiques représentatifs des variations de franchissement par rapport à la hauteur de la crête de l'ouvrage, relatifs aux couples (H_s , T_m) pour une carapace à 3 couches de BCR et une rehausse du mur de couronnement de 2 m.

3. Discussion :

D'après les graphiques de **Fig. IV 03**, on peut dire que l'objectif est presque atteint et les valeurs du débit avec une tempête de durée de 8s sont inférieures ou égale à celle du débit admissible ($q < 0.002 \text{ m}^3/\text{m/s}$). Ceci, signifie non dommage sur l'ensemble de la structure.

Pour une tempête d'une durée de 14,5s les débits ont des valeurs plus ou moins proches du débit admissible, avec peu ou pas de dommage sur l'ensemble de la structure.

En vue des résultats obtenus, on pourrait même envisager des blocs dont le poids est moins important que ceux utilisés ; Cependant la marge doit être relativement faible pour deux raisons. D'une part des blocs de dimension moindre pour la troisième couche réduirait la porosité et donc la dissipation d'énergie et donc favoriserait les franchissements. D'autre part, les blocs de poids moindre poseraient probablement des problèmes de stabilité.

Conclusion :

D'après le calcul numérique réalisé, on peut déduire qu'une solution de renforcement vis-à-vis du franchissement par une rehausse du mur de couronnement et l'augmentation de l'épaisseur de la carapace par une troisième couche d'enrochement constitue une solution viable qui convient pour des surélévations du niveau moyen d'1m. Ceci, entre dans le cadre des prévisions actuelles à l'échelle du siècle. L'intérêt de cette solution réside dans son application pouvant être progressive dans le temps. Deux problèmes restent à résoudre : le dimensionnement de la modification du mur de couronnement du point de vue de sa résistance structurelle et l'acceptation d'une plus grande obstruction de l'horizon. Pour des surélévations de niveau moyen "extrêmes", des solutions ayant des conséquences structurelles sur l'ensemble de l'ouvrage doivent être envisagées. A partir de l'analyse numérique réalisée, on a pu proposer des solutions d'adaptation mais la modélisation physique dans cette étape reste un outil indispensable pour vérifier la fiabilité de ces solutions.

Chapitre V : Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC)

Chapitre V : Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC)

La baie d'Alger englobe un écosystème hautement diversifié, de plus de sa position géostratégique qui lui confère une sensibilité particulière ; vis-à-vis des aléas à l'environnement (pollution, érosion, surexploitation des ressources vivantes marines, détérioration de l'habitat, changements climatiques,..).

La gestion intégrée de la zone côtière (GIZC) représente une approche qui doit permettre à la fois la préservation de cet espace ainsi que la gestion durable de ces ressources.

D'après la définition de l'Ifremer ; la gestion intégrée des zones côtières est une approche de la gestion intégrée de l'espace et des ressources prenant simultanément en compte tous les enjeux terrestres et marins, naturels économiques et sociaux d'une zone littorale définie comme territoire cohérent de réflexion et d'action.

1. L'objectif d'une GIZC :

L'objectif final d'une GIZC est de construire des instruments de régulation permettant de garantir les équilibres entre activités humaines et ressources humaines et naturelles, afin notamment de ne pas surexploiter les ressources pas, peu, difficilement, lentement ou coûteusement renouvelables, halieutiques et touristiques en particulier, dans un but général de développement durable. Nous allons dans un premier temps élaborer un bilan des différentes atteintes au milieu côtier, pour en déduire l'état global des lieux, dans la baie d'Alger

Introduction : l'approche GIZC dans ce genre d'étude est de permettre de voir quels seraient les impacts générés par l'augmentation du niveau de la mer d'abord sur les ouvrages côtiers algérois et d'autres part de voir cet effet « dominos »

1. Approche du programme GIZC dans la baie d'Alger :

1.1. Port d'Alger :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfices, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> Protection de port contre la submersion marine 	<ul style="list-style-type: none"> Prendre des précautions concernant les vagues extrêmes du au changement climatique Renforcer les ouvrages de défense 	<ul style="list-style-type: none"> Assurer un tirant d'eau calme Protection des navires amarrés 	<ul style="list-style-type: none"> Amplitude des vagues en m
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement des eaux usées Interdiction des rejets directs d'eaux usées et de macro déchets Collecte des déchets solides Neutraliser le maximum d'activités portuaires polluantes : entretien (peinture)...et usage de techniques plus propres pour l'entretien des ouvrages portuaires. Emploi de technique de pompage et de dépollution. 	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration de la qualité des eaux marines et l'eau potable Protection de la santé publique 	<ul style="list-style-type: none"> Rejet des eaux usées m³ /an Rejet des déchets solides tonne/an
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre l'envasement 	<ul style="list-style-type: none"> Dragage et traitement de sédiment pollué Recherche des sites d'immersions Utilisation des sédiments dragués dans des géo conteneurs à des profondeurs élevés 	<ul style="list-style-type: none"> Faciliter de passages des navires Protection des écosystèmes marins 	<ul style="list-style-type: none"> Quantité de sédiment à draguer m³ Pollution : métaux lourds, hydrocarbures et microbiologique

<ul style="list-style-type: none"> • Protection de la santé publique 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la pollution de port • Délocalisation de la station de dessalement 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualité de l'eau potable • Réduction des ressources halieutiques
---	--	---	---

1.2. Sablettes :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfices, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> • Protection du quai du transport maritime 	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcer les ouvrages de protection du quai maritime • Réaménagement du quai en prenant en compte l'effet du changement climatique (le niveau de la mer) dès aujourd'hui • Dragage et traitement du sédiment en cas d'envasement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer un tirant d'eau calme. • Protection des navires amarrés. • Développer l'économie de la zone. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amplitude des vagues en m.
<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre l'érosion et la submersion marine. 	<ul style="list-style-type: none"> • Installation des ouvrages de défense côtiers (brises lames, épis...). • Renforcement ou adaptation des infrastructures clés (promenade Sablettes). • Alimentation des plages. 	<ul style="list-style-type: none"> • Arrêt du recul du trait de côte. • Prévention des risques d'inondation due au l'élévation du niveau de la mer. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recul de trait de côte m/an.
<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilisation des visiteurs sur la nécessité de la protection de l'environnement. • Interdiction des rejets directs des eaux usées. • Renforcement des moyens de collecte des déchets solides. 	<ul style="list-style-type: none"> • Assurez une bonne qualité des eaux. • Amélioration de la qualité des eaux de baignade. • Développement de l'activité touristique 	<ul style="list-style-type: none"> • Rejet des déchets solides tonne/an

<ul style="list-style-type: none"> • Protection de la biodiversité. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prétraitements des rejets de la station de dessalement et la vérification de la leur température avant déversement dans la mer en cas de sa maintien en place. 	<ul style="list-style-type: none"> • Récupération des plusieurs espèces faune et flore. • Préservation des ressources halieutiques et de la richesse écologiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre d'espèce /m²
<ul style="list-style-type: none"> • Promouvoir du tourisme durable 	<ul style="list-style-type: none"> • Plan de développement touristique durable. • Gestion des flux touristiques. • Réalisation des autres projets écotouristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Préservation du potentiel touristique. • Conservation des ressources touristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de touristes / linéaire côtier
<ul style="list-style-type: none"> • Protection de la santé publique 	<ul style="list-style-type: none"> • Délocalisation de la station de dessalement. • Réduction de la pollution dans les plages de baignade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité de l'eau. • Obtention des plages de qualités 	<ul style="list-style-type: none"> • Transparence des eaux

1.3. Oued El Harrach :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfiques, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> • Lutter contre les inondations 	<ul style="list-style-type: none"> • Empêcher l'intrusion marine dans les terres agricoles • Réaménagements de l'oued en tenant compte l'effet du changement climatique • Curage périodique de l'oued • Construction des bassins de rétention 	<ul style="list-style-type: none"> • Prévention des risques d'inondation • Préservations des espaces près de l'oued • Diminuer la turbidité de l'oued 	<ul style="list-style-type: none"> • Surface inondée m²

<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> • Traitement des eaux usées • Installation de stations d'épuration individuelle dans les usines le long des berges • Collecte des déchets solides • Mise en demeure des industries polluantes 	<ul style="list-style-type: none"> • Amélioration de la qualité des eaux • Diminuer la pollution des zones proches • Augmenter la biodiversité des poissons 	<ul style="list-style-type: none"> • Rejet des eaux usées m³ /an • Rejet industriel m³ /an • Rejet des déchets solides tonne/an
<ul style="list-style-type: none"> • Lutte contre l'urbanisation anarchique 	<ul style="list-style-type: none"> • Démolition des bidons villes • Interdire l'occupation près d'oued • Lutte contre l'exode rural 	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de la pollution • Equilibrage de l'armature urbaine (villes nouvelles) 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre de bidons villes sur les côtés de l'oued et le littoral
<ul style="list-style-type: none"> • Protection de la santé publique 	<ul style="list-style-type: none"> • Elimination de la pollution • Délocalisation de la station de dessalement d'El Hama 	<ul style="list-style-type: none"> • Fournir d'eau potable de bonne qualité 	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre des nouvelles malades /an
<ul style="list-style-type: none"> • Préservation des ressources halieutique 	<ul style="list-style-type: none"> • Dépollution industrielle • Traitement des eaux usées 	<ul style="list-style-type: none"> • Augmentation de la biodiversité 	<ul style="list-style-type: none"> • Métaux lourds µg/g des espèces • biodiversité nombre d'espèces / m²

1.4. Lido :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfiques, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre l'érosion et la submersion marine. 	<ul style="list-style-type: none"> Reprofilage des plages. Installation des ouvrages de protection. Etudes sérieuses avant l'édification des ouvrages de défense et prendre en considération les effets du changement climatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt du recul du trait de côte. Restauration de la plage. Prévention des risques des inondations due au l'élévation du niveau de la mer. 	<ul style="list-style-type: none"> Recul de trait de côte m/an ; Le débit (q) en l/m/s durant les tempêtes.
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement et épuration des eaux usées avant leur déversement en mer. Interdiction des rejets directs des eaux usées. Collecte des déchets solides. 	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration de la qualité des eaux Amélioration de l'état de la plage. 	<ul style="list-style-type: none"> Métaux lourds $\mu\text{g} / \text{g}$. Sel nutritif $\mu\text{ml/l}$. Bactéries B /100ml.
<ul style="list-style-type: none"> Elimination des constructions illégales 	<ul style="list-style-type: none"> Démolition. 	<ul style="list-style-type: none"> Récupération et préservation du domaine maritimo-terrestre publique. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre total des constructions sur la côte Urbanisation : nombre d'habitants / km
<ul style="list-style-type: none"> Promouvoir le tourisme durable 	<ul style="list-style-type: none"> Plan de développement touristique durable. Gestion des flux touristiques 	<ul style="list-style-type: none"> Préservation du potentiel touristique. Conservation des ressources touristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de touristes par an
<ul style="list-style-type: none"> Protection de la biodiversité marine. 	<ul style="list-style-type: none"> La lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la biodiversité. Exploitation des ressources halieutiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'espèces / m²

1.5. Verte rive :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfiques, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre l'érosion et la submersion marine. 	<ul style="list-style-type: none"> Alimentation de la plage. Installation des ouvrages de protection. Etudes sérieuses avant l'édification des ouvrages de défense et prendre en considération les effets du changement climatiques. Stratégie globale pour la gestion du littorale. 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt du recul du trait de côte. Restauration de la plage. Prévention des risques des inondations due au l'élévation du niveau de la mer. 	<ul style="list-style-type: none"> Recul de trait de côte m/an ;
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement des eaux usées à 100 %. Interdiction des rejets directs des eaux usées. Collecte des déchets solides 	<ul style="list-style-type: none"> Assurez une bonne qualité des eaux. Amélioration de l'état de plage 	<ul style="list-style-type: none"> Rejet des eaux usées m3 /an. Plage interdite à la baignade.
<ul style="list-style-type: none"> Elimination des constructions illégales 	<ul style="list-style-type: none"> Démolition. Rééquilibrage de l'armature urbaine 	<ul style="list-style-type: none"> Récupération et préservation du domaine maritimo-terrestre publique. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre total des constructions
<ul style="list-style-type: none"> Promouvoir du tourisme durable 	<ul style="list-style-type: none"> Plan de développement touristique durable. Gestion des flux touristiques 	<ul style="list-style-type: none"> Préservation du potentiel touristique. Conservation des ressources touristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de touristes / linéaire côtier

1.6. Stamboul :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfices, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre l'érosion et la submersion marine. 	<ul style="list-style-type: none"> Installation des ouvrages de défense côtier (brises lames, épis...). Renforcement ou adaptation des infrastructures clés. 	<ul style="list-style-type: none"> Arrêt du recul du trait de côte. Prévention des risques d'inondation due à l'élévation du niveau de la mer. 	<ul style="list-style-type: none"> Recul de trait de côte m/an.
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement des eaux usées à 100 %. Interdiction des rejets directs des eaux usées. Renforcement des moyens de collecte des déchets solides. 	<ul style="list-style-type: none"> Assurez une bonne qualité des eaux. Amélioration de l'état de plage. Développer les ressources touristiques 	<ul style="list-style-type: none"> Rejet des eaux usées m³ /an Rejet des déchets solides tonne/an
<ul style="list-style-type: none"> Elimination des constructions illégales 	<ul style="list-style-type: none"> Démolition. Rééquilibrage de l'armature urbaine. Contrôle de l'urbanisation qui touche surtout le domaine public maritime. Interdiction de toute construction qui ne nécessite pas l'approche de la mer. 	<ul style="list-style-type: none"> Récupération et préservation du domaine maritimo-terrestre publique. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre total des constructions
<ul style="list-style-type: none"> Promouvoir du tourisme durable 	<ul style="list-style-type: none"> Plan de développement touristique durable. Gestion des flux touristiques. Réalisation des projets écotouristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Préservation du potentiel touristique. Conservation des ressources touristiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de touristes / linéaire côtier

1.7. Oued El Hamiz :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfiques, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre le débordement et l'inondation. 	<ul style="list-style-type: none"> Installation des ouvrages de protection. 	<ul style="list-style-type: none"> Prévention des risques d'inondation. 	<ul style="list-style-type: none"> le débit (q) en l/m/s durant les tempêtes.
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement des eaux usées. Interdiction des rejets directs des eaux usées Collecte des déchets solides. Installation d'une station d'épuration. La dépollution industrielle. Collecte des déchets solides. Entretien périodique des réseaux d'assainissement. 	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration de la qualité des eaux Amélioration de l'état de l'oued. 	<ul style="list-style-type: none"> Métaux lourds $\mu\text{g/g}$. Sel nutritif $\mu\text{ml/l}$. Bactéries B /100ml.
<ul style="list-style-type: none"> Elimination des constructions illégales et anarchique. 	<ul style="list-style-type: none"> Démolition. Interdiction de l'installation le long des lits majeurs et les lits mineurs de l'oued. 	<ul style="list-style-type: none"> Récupération et préservation du domaine de l'oued. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre total des constructions sur les lits Urbanisation : nombre d'habitants / km
<ul style="list-style-type: none"> Protection de la diversité écologique de l'oued. 	<ul style="list-style-type: none"> La lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Augmentation de la biodiversité. Exploitation des ressources halieutiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'espèces / m²
<ul style="list-style-type: none"> Protection de la santé publique 	<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la pollution. Traitement des eaux usées. 	<ul style="list-style-type: none"> Fournir d'eau potable de bonne qualité. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre de nouveaux malades /an

1.8. Port de Tamenfoust :

Thèmes du littoral, problèmes ou objectifs	Solutions alternatives	Coût, bénéfiques, impacts	Indicateurs
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la submersion marine 	<ul style="list-style-type: none"> Renforcer les ouvrages de protection du port en prenant en considération les houles extrêmes due au changement climatiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Assurez un tirant d'eau calme. Protéger les déférentes composantes du port. 	<ul style="list-style-type: none"> Amplitude des vagues en m
<ul style="list-style-type: none"> Elargissement de port 	<ul style="list-style-type: none"> Réaménagement du port. Construction des nouveaux quais 	<ul style="list-style-type: none"> Développer l'économie de la zone Meilleur exploitation des ressources halieutiques. 	<ul style="list-style-type: none"> Capacité d'accueillir des navires nombre des navires quantité pêchée de poisson tonne /an
<ul style="list-style-type: none"> Lutte contre la pollution 	<ul style="list-style-type: none"> Traitement des eaux usées. Interdiction à la baignade au niveau de plage à l'intérieur du port. Réduire le taux d'urbanisation près de côte 	<ul style="list-style-type: none"> Amélioration de la qualité des eaux Assurer la bonne qualité et quantité de poisson Protection de la santé publique 	<ul style="list-style-type: none"> Rejet des eaux usées m3 /an. Plage interdite à la baignade.
<ul style="list-style-type: none"> Elimination des constructions illégales 	<ul style="list-style-type: none"> Interdiction de la Construction des infrastructures qui n'ont aucune nécessité de l'approche de mer. Battre contre migration des populations vers les zones costières. 	<ul style="list-style-type: none"> Récupération et préservation du domaine maritimo-terrestre publique. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre total de constructions sur la côte Urbanisation : nombre d'habitants / km
<ul style="list-style-type: none"> Application de la loi littorale. 	<ul style="list-style-type: none"> Police de suivi et contrôle de l'environnement. Sensibilisation au gens pour la protection de l'environnement. Des sanctions financières pour les non-respects des lois. 	<ul style="list-style-type: none"> Préservation du potentiel côtier. Exploitation des ressources halieutique. 	<ul style="list-style-type: none"> Nombre d'infractions. Nombre de constructions illégales

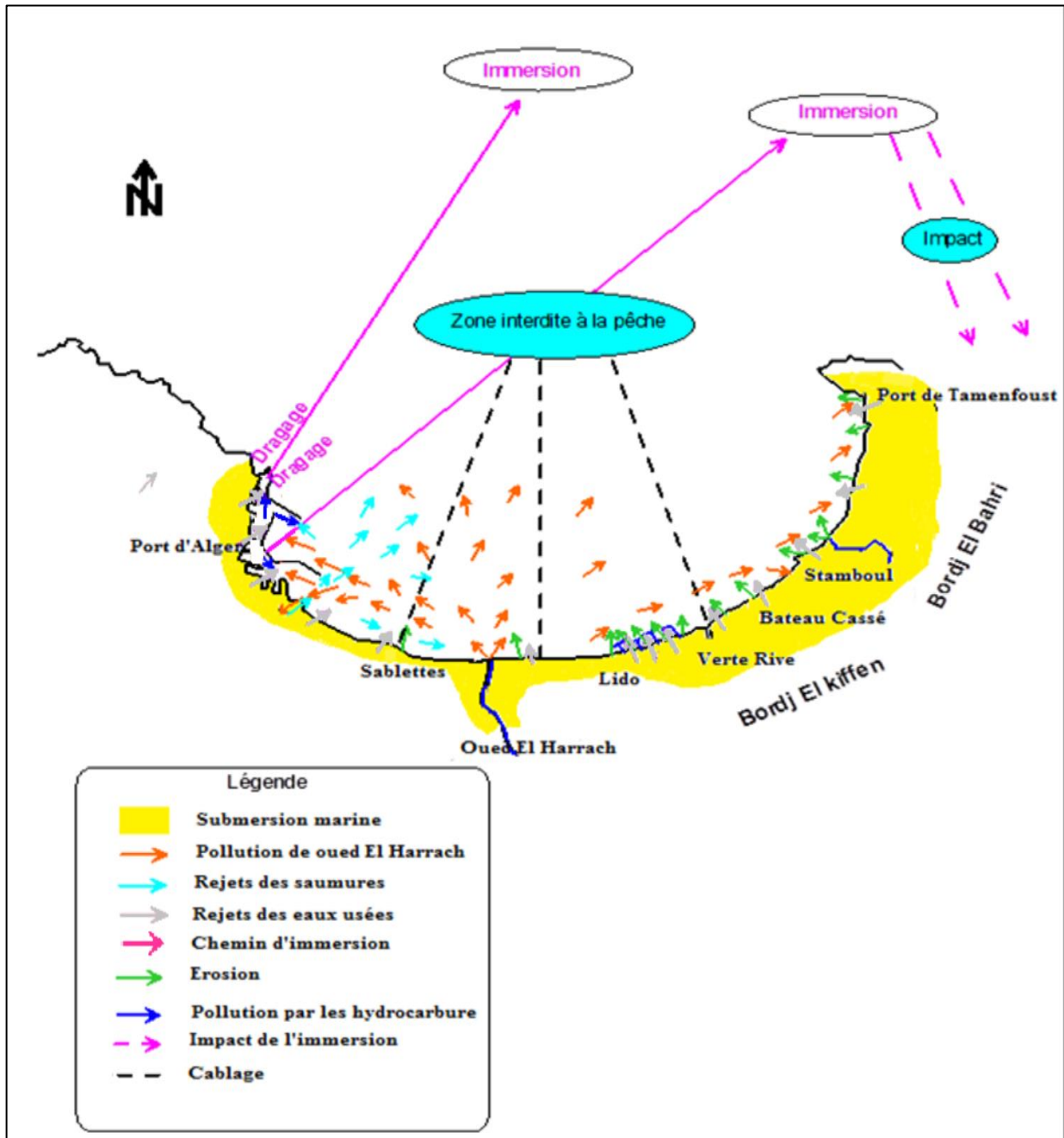


Fig V.1 : Les pressions et impacts sur la baie d'Alger.

2. Interprétation

D'après (Fig V.1), on peut dire que la baie d'Alger est soumise à diverses formes de pression et agression.

Elle est sujette à de majeurs problèmes environnementaux :

- L'urbanisation doublée d'un caractère anarchique ;
- La pollution marine sous ses diverses manifestations (chimiques, physique, organique et microbiologique) ;
- L'érosion côtière et l'absence de cordons dunaires ;
- La déficience du système d'épuration des eaux ;
- La mauvaise gestion des sites culturels côtiers.
- La dégradation et la dénaturation des écosystèmes en général et des habitats spécifiques et remarquable en particulier
- La raréfaction des espèces les plus fragiles et les plus vulnérables
- L'Impact socioéconomiques sur les activités de tourisme balnéaire, la pêche et l'activité aquacole, les loisirs et récréation.

Pour une tendance plus durable, des actions doivent être menées en ce qui concerne :

- La lutte contre la submersion marine
- L'épuration des eaux usées
- La protection des sites naturels sensibles
- La protection de littorale sableux
- La dépollution industrielle
- La gestion des déchets solides
- L'organisation associative
- La politique d'aménagement du littoral
- Et le dragage des ports

Conclusion générale :

Le changement climatique est un phénomène global et assez complexe. Auquel, durant notre étude, on s'est trouvé dans une situation où il faut être conscient de comment c'était évaluer au passé, comprendre le présent et être curieux de ce que va se passer dans le futur. Le changement climatique et l'élévation du niveau des mers et des océans sont en évolution accélérées, ne sont plus à affronter ou à débattre ils sont devenues immanquable ; le monde d'aujourd'hui, se trouve dans l'obligation de s'adapter, évaluer les conséquences et trouver des solutions pour s'en sortir avec les moindres pertes et dégâts sur l'ensemble des composantes planétaire.

Cette large étude, qu'on a menée, sur l'ensemble des côtes, de la baie d'Alger et les cartes de la submersion obtenue avec le logiciel Arcgis, envoie un fort signal par rapport à l'inadéquation de la gestion côtière actuelle et à des risques encourus face au réchauffement climatiques et plus précisément l'élévation du niveau de la Méditerranée pour toutes les zones côtières, en Algérie. L'analyse et la prévision grâce aux cartes de submersion, ressort avec une superficie totale potentiellement inondable de 5.34 Km², dont la partie orientale de la baie d'Alger est la plus exposée. Ceci est dû à la basse topographie de cette zone mettant en risque de disparition de nombreuses plages, d'ici la fin du siècle. Cependant, la partie occidentale est aussi exposée aux inondations (port d'Alger), donc un risque pour les concentrations économiques, sociales et écologiques important peut devenir des points chauds de la vulnérabilité locale, au cours du 21ème siècle.

Les ouvrages maritimes ont une importance particulière, dans notre travail, c'est le première obstacle face à l'énergie des houles, ils sont d'une extrême sensibilité à l'élévation du niveau des mers. Surtout, que celle-ci n'est pas considérée lors de leur construction ; l'endommagement des ouvrages de protection engendres des risques sur le plan économique, environnementale, sociale des zones côtières et de l'arrière-pays.

Une étude sur les ouvrages a été réalisé durant notre travail, à l'aide des logiciels CRESS et Eurotop. On a pu estimer les débits de franchissement qui peuvent être supérieures à 0.05m³/sm, durant les tempêtes derrière chaque infrastructure portuaire et de protection. Les résultats obtenus confirment bien les endommagements que peuvent subir presque la totalité des structures et une destruction totale de certaines d'autres durant les tempêtes extrêmes.

L'étude des risques sur les ouvrages, nous emmène impérativement à adopter des solutions pour faire face aux inondations marines dues à l'élévation du niveau de la mer. Pour trouver la meilleure solution, cinq variantes étaient testées sur EurOtop et discutées. On a opté pour une troisième couche de blocs artificiels sur la carapace et rehausse du mur de couronnement (variante 05) pour le renforcement des structures (type digue). Celle-ci ressort des stratégies d'adaptation à court et à moyen terme mais aussi à long terme par l'élaboration des plans de gestion intégrée des zones côtières GIZC sur toute baie d'Alger qui serait l'outil le plus adéquat pour réduire les vulnérabilités et les impacts actuels et futurs liés au changement climatique et l'élévation du niveau de la mer.

Références bibliographiques :

1/Ablain M, Legeais J.F, Prandi P, Marcos M, Fenoglio-Marc L, Dieng H.B, Benveniste J,Cazenave A (2017). Satellite Altimetry-Based Sea Level at Global and Regional Scales. *Surv Geophys* 38:7–31. Doi: 10.1007/s10712-016-9389-8.

2/Amraoui L, Adama Sarr M, Soto D (2011). Analyse rétrospective de l'évolution climatique récente en Afrique du Nord-Ouest. *Physio-Géo - Géographie Physique et Environnement*, vol. V, p. 125-142.

3/Beamish RJ, Ittekkot V (2001). Coastal zone and marine ecosystems. In: McCarthy JJ, Canziani OF, Leary NA, Dokken DJ, White KS (eds) *Climate change 2001: impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press, Cambridge, pp 343–380.

4/Belkessa, R. (2005). Les ports d'Alger : Ensablement, pollution et dragage des sédiments. Thèse de doctorat. Université de Constantine.

5/Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge and New York, pp. 1137–1216.

6/Bourque, A. (2000). Les changements climatiques et leurs impacts. *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 1 Numéro 2, Article Volume 1 Numéro 2. <https://doi.org/10.4000/vertigo.40427>.

7/Broecker W.S, Sutherland S, Peng T-H (1999). A Possible 20th-Century Slowdown of Southern Ocean Deep Water Formation. *Science*, Vol. 286, Issue 5442, pp. 1132-1135. D

8/Cazenave A, Llovel W (2010). Contemporary sea level rise. *Annual Review of Marine Science*, pp.145–173, Annual Reviews, Palo Alto, Calif. Doi: 10.1146/annurev-marine-120308-081105.

9/Cazenave A, Le Cozannet G (2013). Sea level rise and its coastal impacts. *Earth's Future*, 2, 15–34. Doi: 10.1002/2013EF000188.

10/ Changement climatique—Définition. (s. d.). Consulté 5 octobre 2020, à l'adresse https://www.actuenvironnement.com/ae/dictionnaire_environnement/definition/changement_climatique.php4 .

- 11/Chelton D.B, Ries J.C, Haines B.J, Fu L.L, Callahan P.S (2001).** Satellite altimetry, in *Satellite Altimetry and Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications*. International Geophysics Series, vol. 69, edited by Fu L.L and Cazenave A, pp. 1–131, Vol 69, Int. Geophys. Series. Academic Press, San Diego, Calif.
- 12/Church JA, Gregory JM, Huybrechts P, Kuhn M, Lambeck K, Nhuan MT, Qin D, Woodworth PL, Anisimov OA, Bryan F O, Cazenave A, Dixon KW, Fitzharris BB, Flato GM, Ganopolski A, Gornitz V, Lowe JA, Noda A, Oberhuber JM, O’Farrell SP, Ohmura A, Oppenheimer M, Peltier WR, Raper SCB, Ritz C, Russell GL, Schlosser E, Shum CK, Stocker TF, Stouffer RJ, Van de Wal RSW, Voss R, Wiebe EC, Wild M, Wingham DJ, Zwally HJ (2001)** Changes in sea level. In: Houghton JT, Ding Y, Griggs DJ, Noguer M, Van Der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA (eds) *Climate change 2001: the scientific basis*. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, pp 639–694.
- 13/Church J.A, Clark P.U, Cazenave A, Gregory J.M, Jevrejeva S, Levermann A, Merrifield M.A, Milne G.A, Nerem R.S, Nunn P.D, Payne A.J, Pfeffer W.T, Stammer D, Unnikrishnan A.S (2013).** Chapter 13: Sea Level Change. In: Stocker T.F, Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen S.K,
- 14/Church J.A, Gregory J.M, White N.J, Platten S.M, Mitrovica J.X (2011a).** Understanding and projecting sea level change. *Oceanography* 24 (2), 130–143. Doi:10.5670/oceanog.2011.33.
- 15/Church JA, White NJ (2006)** A 20th century acceleration in global sea level rise. *Geophys Res Lett* 33: L01602.
- 16/Church, J.A., White, N.J., 2011.** Sea-level rise from the late 19th to the early 21st century. *Surv. Geophys.* 32, 585–602.
- 17/Church J.A, White N.J, Coleman R, Lambeck K, Mitrovica J.X (2004).** Estimates of the regional distribution of sea-level rise over the 1950 to 2000 period. *J. Clim.* 17 (13), 2609–2625.
- 18/Church J.A, White N.J, Konikow L.F, Domingues C.M, Cogley J.G, Rignot E, Gregory J.M, van den Broeke M.R, Monaghan A.J, Velicogna I (2011b).** Revisiting the Earth’s sea level and energy budgets from 1961 to 2008. *Geophys. Res. Lett.* 38, L18601. Doi: 10.1029/2011GL048794, 2011.

19/CIRCE Integrated Project - Climate Change and Impact Research: the Mediterranean Environment. www.circeproject.eu.

20/Clark P.U, Pisias N.G, Stocker T.F, Weaver A.J (2002). The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change. *Nature* 415: 863–869.

21/Clus-Auby C, Paskoff R, Verger F (2004). Impact du changement climatique sur le patrimoine du Conservatoire du Littoral ; scénarios d'érosion et de submersion à l'horizon 2100. Synthèse. Conservatoire du littoral. 43 pp.oi:10.1126/science.286.5442.1132.

22/Commissariat général au développement durable,2011 (cgdd).

23/Djellouli Y, Saci A (2003). Catastrophe "naturelle" : les inondations dévastatrices du 9 et 10 novembre 2001 à Beb El Oued (Alger, Algérie). In : Publications de l'Association Internationale de Climatologie, n° 23, p. 236-242.

24/D.J, White K.S (Eds.), Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 343–380.

25/Douglas B.C (1992). Global sea level acceleration, *J. Geophys. Res.*, 97, 12 699–12 706.

26/Douglas B.C (2001). Sea level change in the era of the recording tide gauge. In: Douglas, B.C.,

Kearney, M.S., Leatherman, S.P. (Eds.), *Sea Level Rise, History and Consequences*. Academic Press, San Diego, pp. 37–64.

27/Douglas BC, Kearney MS, Leatherman SP (2000) *Sea level rise: history and consequences*. Academic, San Diego.

28/Drias, Les futurs du climat—Accueil. (s. d.). Consulté 7 août 2020, à l'adresse <http://www.drias-climat.fr/>.

29/EUROSION, Programme européen Eurosion, 2004.

30/GIEC. (2007). Impacts: Adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change .Cambridge :Cambridge University Press. 781.

31/Hurrell J.W(1996). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation , *Science*, 269,676-679.

- 32/Hurrell J.W (1996).** Influence of variation in extratropical wintertime teleconnections on northern hemisphere temperature. *Geophys. Res. Lett.*, 23, 665-668.
- 33/Haq B.U, Schutter S.R (2008).** A chronology of Paleozoic sea level changes. *Science* 322, 64–68.
- 34/Hay C.C, Morrow E, Kopp R.E, Mitrovica J.X (2015).** Probabilistic reanalysis of twentieth-century sea-level rise. *Nature*, 517(7535), 481-484.
- 35/Holgate S.J (2007).** On the decadal rates of sea level change during the twentieth century. *Geophys. Res. Lett.* 34, L01602. Doi: 10.1029/2006GL028492.
- 36/Holgate S.J, Woodworth P.L (2004).** Evidence for enhanced coastal sea level rise during the 1990s. *Geophys Res Lett* 31:L07305. Doi: 10.1029/2004GL019626.
- 37/Hoyos C.D, Agudelo P.A, Webster P.J, Curry J.A (2006).** Deconvolution of the factors contributing to the increase in global hurricane intensity. *Science* 312(5770), 94-97. Doi: 10.1126/science.1123560.
- 38/Intergovernmental Panel on Climate Change (2007).** Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge 845 p. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>.
- 39/Intergovernmental Panel on Climate Change (2013).** Summary for policymakers. In: Stocker T.F,
- 40/IPCC, 2013:** Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 41/IPCC, 2014: Climate Change 2014:** Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp,3.

- 42/Jevrejeva S, Moore J.C, Grinsted A, Woodworth P.L (2008a).** Recent global sea level acceleration started over 200 years ago? *Geophys. Res. Lett.* 35. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL033611>.
- 43/Jevrejeva S, Moore J.C, Grinsted A, Matthews A.P, Spada G (2014).** Trends and acceleration in global and regional sea levels since 1807. *Global and Planetary Change* 113:11–22.
- 44/Joughin I, Smith BE, Medley B (2014)** Marine ice sheet collapse potentially underway for the Thwaites Glacier Basin, West Antarctica. *Science* 344(6185):735–738.
- 45/Klein RJT, Nicholls RJ (1999)** Assessment of coastal vulnerability to climate change. *Ambio* 28(2):182–187.
- 46/Klein R.J.T, Nicholls R.J, Thomalla F (2003).** Resilience to natural hazards: how useful is this concept? *Environmental Hazards* Vol 5, pages 35–45.
- 47/Knutson T.R, Tuleya R.E, Kurihara Y (1998).** Simulated Increase of Hurricane Intensities in a CO₂-Warmed Climate. *Science*, Vol. 279, Issue 5353, pp. 1018-1021. Doi: 10.1126/science.279.5353.1018
- 48/Kominz M.A (2001).** Sea Level Variations Over Geologic Time, in Steele J.H, Thorpe S.A, and Turekian K.K, editors, *Encyclopedia of Ocean Sciences*: Oxford, Academic Press, p. 2605–2613.
- 49/Lambeck K, Chappell J (2001).** Sea Level Change Through the Last Glacial Cycle. *Science* Vol 292, pages 679 - 686.
- 50/Landsea C.W, Harper B.A, Hoarau K, Knaff J.A (2006).** Can we detect trends in extreme tropical cyclones? *Science*, 313, 452–453. Doi:10.1126/science.1128448..
- 51/LEM (1993)** profil d'aménagement d'épi, El Harrach. Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.
- 52/LEM (juillet 1998)** Etude de protection du rivage de la localité de stamboul, protection frontal sur 400m. Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.
- 53/LEM (2003)** profil d'aménagement de la jetée Mustapha, port d'Alger. Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.
- 54/LEM (2007)** plans des aménagements de port de plaisance de tamenfouset. Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.

55/LEM (2014) Profil d'aménagement des épis de l'embouchure d'oued El Hamiz. Document non publié consulté en interne- Alger : laboratoire des études maritimes.

56/LEM (2015) Plan des aménagements de la promenade de Sablettes, profils de la jetée n°2 Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.

57/LEM (2017) Plan des aménagements de la promenade de Sablettes, profils de la jetée n°3 Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.

58/LEM (2017) Profil d'aménagement des épis, Verte Rive. Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.

60/LEM (2019) profil d'aménagement de la jetée, Mohammadia. Document non publié. Alger : laboratoire des études maritimes.

61/Lemke P, Ren J, Alley R, Allison I, Carrasco J, Flato G, Fujii Y, Kaser G, Mote P, Thomas R, 60/Zhang T (2007). Chapter 4: Observations: Changes in Snow, Ice and Frozen Ground. In *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds. Solomon S, Qin D,

Manning M, Chen Z, Marquis M.C, Averyt K, Tignor M and Miller H.L). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge and New York

62/Matthews R.K (1990). Quaternary sea-level change. *Sea-level change. Committee on Global Change, National Research Council, Studies in Geophysics*, pp. 88–103. National Academy Press, Washington, DC.

63/McLean R, Tsyban A, Burkett V, Codignotto J.O, Forbes D.L, Mimura N, Beamish R.J, Ittekkot V (2001). Coastal zone and marine ecosystems. In: McCarthy J.J, Canziani O.F, Leary N.A, Dokken

64/McLean RF, Tsyban A,BurkettV, Codignott JO, Forbes DL,Mimura N, NichollsRJ,WongPP,BurkettVR,CodignottoJO,HayJE,McLeanRF, Ragoonaden S, Woodroffe CD (2007) Coastal systems and lowlying areas. In: Parry ML, Canziani OF, Palutikof JP, Van Der Linden PJ, Hanson CE (eds) *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, pp 315–356.

- 65/Mechouet, O., & Mesbahi, Y. (2016).** Aménagement de la promenade de la baie d'Alger :Etude sur modèle réduit physique du transport sédimentaire dans la promenade des Sablettes [Mémoire d'ingénieur]. ENSSMAL.
- 66/Meysignac B, Cazenave A (2012).** Sea level: A review of present-day and recent-past changes and variability, *J. Geodyn.*, 58, 96–109, doi:10.1016/j.jog.2012.03.005.
- 67/Miller K, Mountain G.S, Wright J.D, Browning J.V (2011).** A 180 million year record of sea level and ice volume variations from continental margin deep sea isotopic records. *Oceanography* 24 (2), 40–53. Doi:10.5670/oceanog.2011.26.
- 68/Mueller R.D, Sdrolias M, Gaina C, Steinberger B, Heine C (2008).** Longterm sea level fluctuations driven by ocean basin dynamics. *Science* 319, 1357–1362.
- 69/Naidu C.V, Rao B.R.S, Rao D.V.B (2006).** Climatic trends and periodicities of annual rainfall over India *Climatic.Meteorological Applications* 6(4):395 – 404. Doi: 10.1017/S1350482799001358.
- 70/Niazi S (2007).** Evaluation des impacts des changements climatiques et de l'élévation du niveau de la mer sur le littoral de Tétouan (Méditerranée occidentale du Maroc): Vulnérabilité et Adaptation. Doctorat es-sciences Univ. Mohammed V – Agdal (Maroc), 296pp.
- 71/Nicholls RJ (2002)** Analysis of global impacts of sea level rise: a case study of flooding. *Phys Chem Earth Parts A/B/C* 27(32–34):1455– 1466.
- 72/Nicholls R.J (2002).** “Rising sea levels: potential impacts and responses”, *Issues in Environmental Science and Technology*, Vol 17, pages 83–107.
- 73/Nicholls R.J, Cazenave A (2010).** Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science* 328(5985):1517–1520. Doi:10.1126/science.1185782.
- 74/Nicholls R.J, Tol R.S.J (2006).** Impacts and responses to sea-level rise: A global analysis of the SRES scenarios over the twenty-first century, *Philos. Trans. R. Soc. A Math. Phys. Eng. Sci.*, 364(1841), 1073–1095, doi:10.1098/rsta-2006.1754.
- 75/Nicholls R.J, Wong P.P, Burkett V.R, Codignotto J.O, Hay J.E, McLean R.F, Ragoonaden S, Woodroffe C.D (2007).** ‘Coastal systems and low-lying areas’, in: M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P.

76/Nouaceur Z, Laignel B, Turki I (2013). Changements climatiques au Maghreb : vers des conditions plus humides et plus chaudes sur le littoral algérien ? *Physio-Géo*, Volume 7(1), 307-323.

77/Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (Éd.). (2015). Le littoral dans le contexte du changement climatique : Rapport au Premier ministre et au Parlement. La Documentation française: 171, 88-90.

78/ONM (2002). Un résumé de la situation météorologique exceptionnelle ayant affecté le centre et l'ouest du nord Algérie, et en particulier la zone urbaine d'Alger, les 9 et 10 novembre 2001. Office National de Météorologie, Alger, note technique, n° 001, 6 p.

79/Ouzeau, G., Déqué, M., Jouini, M., Planton, S., Vautard, R., sous la direction de Jouzel J., 2014. Le climat de la France au XXIème siècle. Volume 4. Scénarios régionalisés : éditions 2014 pour la métropole et les régions d'outre-mer. Rapport direction général de l'énergie et du climat. Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie. 64p.

80/Palutikof, P. J. van der Linden, C.E. Hanson (eds), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 315–356.

81/Parry M.L, Canziani O.F, Palutikof J.P, van der Linden P, Hanson C.E (eds) (2007). *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

82/Peltier W.R (2001). Global glacial isostatic adjustment and modern instrumental records of relative sea level history, in *Sea Level Rise*, Int. Geophys. Ser., vol. 75, edited by B. C. Douglas, M. S. Kearney, and S. P. Leatherman, pp. 65– 95, Elsevier, New York.

83/Qin D, Plattner G-K, Tignor M, Allen S.K, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley P.M (eds) Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

84/Rahmstorf S (2007) A semi-empirical approach to projecting future sea level rise. *Science* 315:368–370.

- 85/Sahagian D, Jones M (1993).** Quantified Middle Jurassic to Paleocene eustatic variations based on Russian Platform stratigraphy: Stage level resolution. *Geological Society of America Bulletin*, 105(8), 1109-1118.
- 86/Sebbar A, Hsaine M, Foughrach H, BadriW (2012).** Étude des variations climatiques de la région centre du Maroc. In : *Les climats régionaux : observation et modélisation*, Actes du XXVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (Grenoble), S. BIGOT et S. ROME édit., p. 709-714. (Submersions marines : Xynthia, formation, dangers - Météo-France, s. d.).
- 87/Submersions marines : Xynthia, formation, dangers—Météo-France. (s. d).** Consulté 6 août 2020, à l'adresse : <http://www.meteofrance.fr/prevoir-le-temps/phenomenes-meteo/les-vagues-submersions> .
- 88/TEISSON C., Surélévation future du niveau de la mer.** Conséquences et stratégies dans l'aménagement du littoral, CETMEF, 1992.
- 89/Wang X.L, Feng Y, Swail V.R (2014).** Changes in global ocean wave heights as projected using multimodel CMIP5 simulations. *Geophys. Res. Lett.*, 41(3), 1026–1034. Doi: 10.1002/2013GL058650.
- 90/WANG X.L., SWAIL V.R.,** “Historical and possible future changes of wave heights in northern hemisphere oceans”, in : *Atmosphere Ocean Interactions Volume 2 / Perrie W.*, Southampton, Wessex Institute of Technology Press, 2004.
- 91/Webster P.J, Holland G.J, Curry J.A, Chang H-R (2005).** Changes in Tropical Cyclone Number, Duration, and Intensity in a Warming Environment. *Science* Vol. 309, Issue 5742, pp. 1844-1846. Doi: 10.1126/science.1116448.
- 92/Wong, P. et al. (2014),** Coastal Systems and Low-Lying Areas, GIEC, https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg2/WGIIAR5-Chap5_FINAL.pdf (consulté le 7 août 2020).
- 93/Woodworth P.L (1990).** A search for accelerations in records of European mean sea level, *Int. J. Climatol.*, 10, 129–143.
- 94/Woodworth P.L, Player R (2003).** The permanent service for mean sea level: an update to the 21st century. *J Coastal Res* 19:287–295.

95/Wöppelmann G, Martin Miguez B, Bouin M-N, Altamimi Z (2007). Geocentric sea-level trend estimates from GPS analyses at relevant tide gauges world-wide. *Glob. Planet Change* 57 (3–4), 396–406.

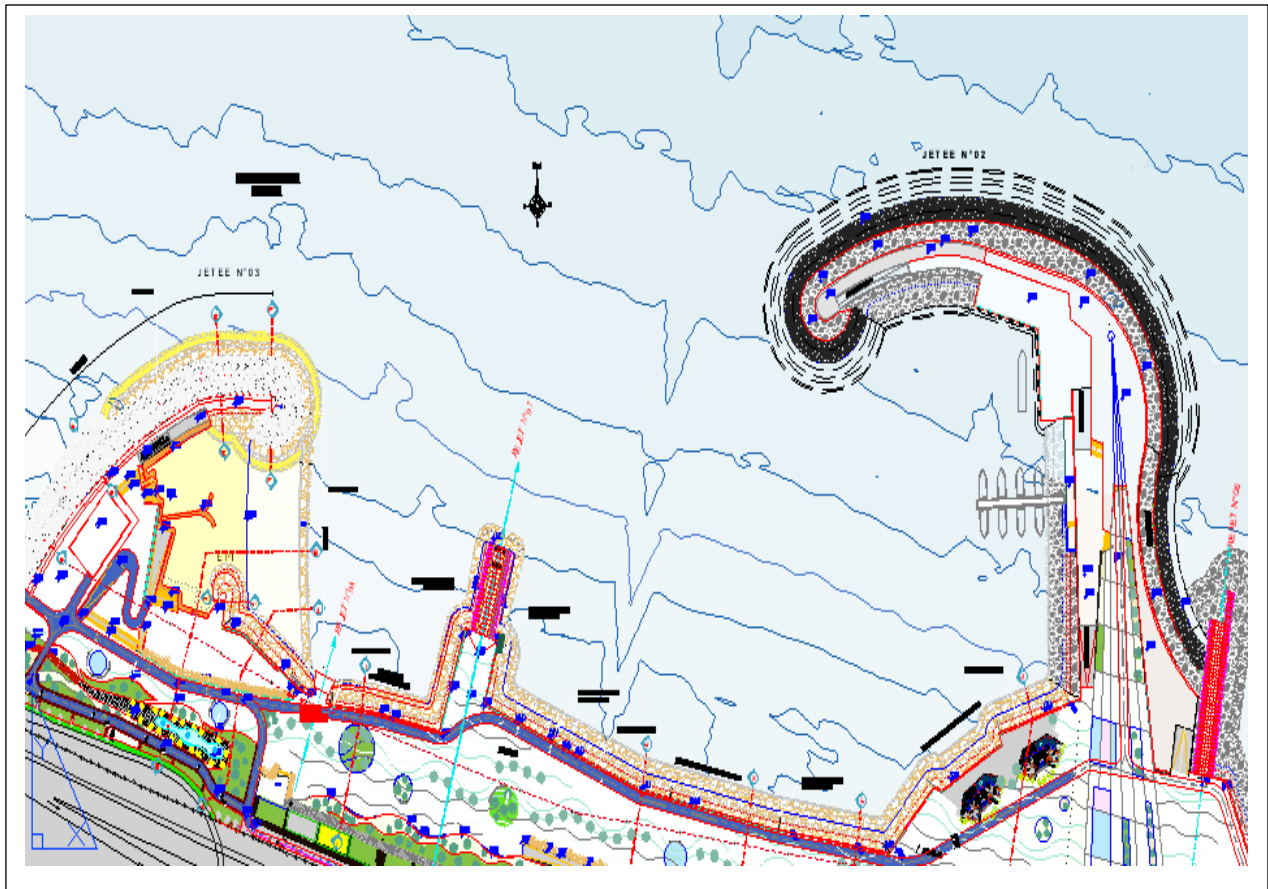
96/Wöppelmann G, Letetrel C, Santamaria A, Bouin M.N, Collilieux X, Altamimi Z, Williams S.D.P, Miguez B.M (2009). Rates of sea-level change over the past century in a geocentric reference frame. *Geophys. Res. Lett.* 36, L12607. Doi: 10.1029/2009gl038720.

97/Wunsch C (2002). What Is the Thermohaline Circulation?. *Science* 298(5596):1179-1181. DOI:10.1126/science.1079329.

Annexes

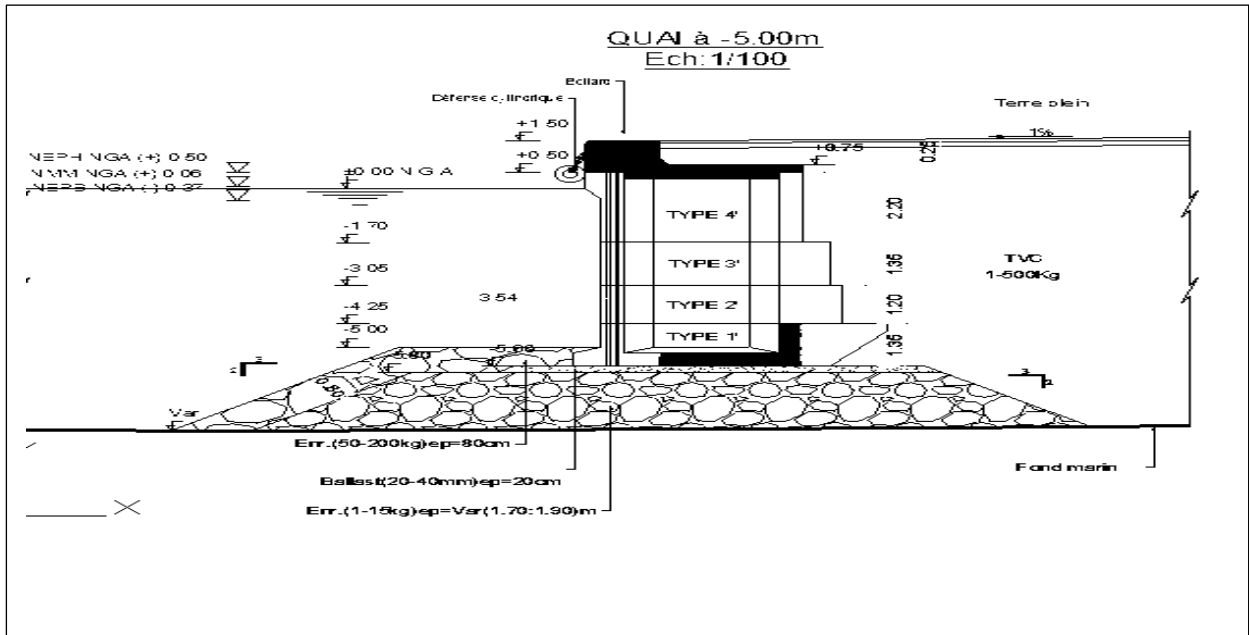
2. Promenade des Sablottes :

2.1. Plan de masse des aménagements des Sablottes

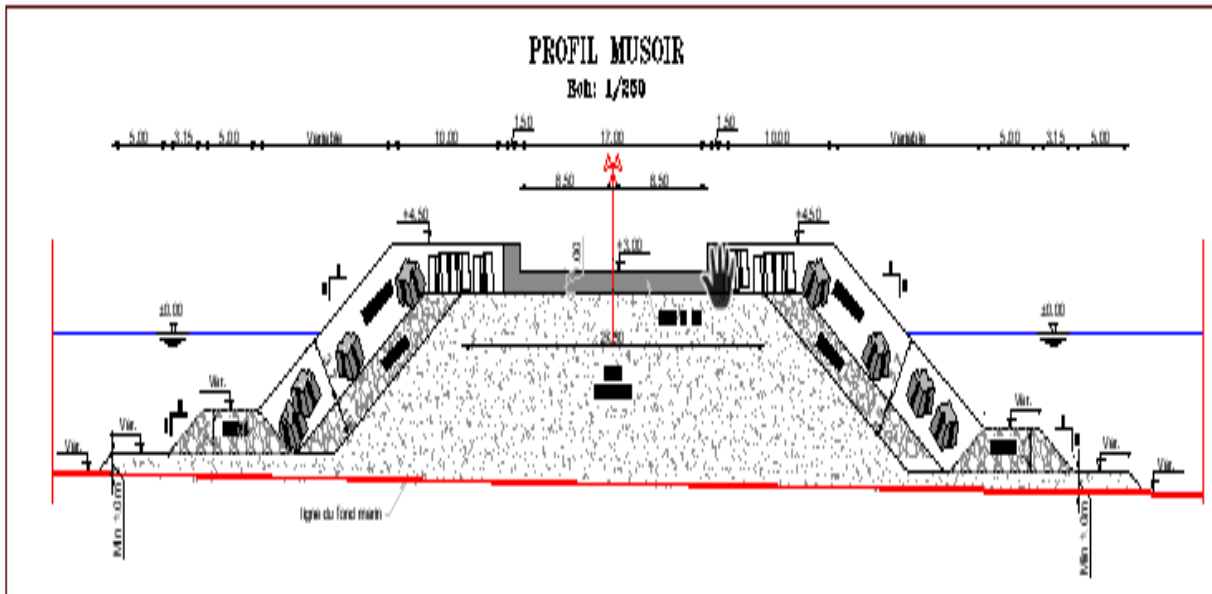


2.2. Profils promenade des Sablettes

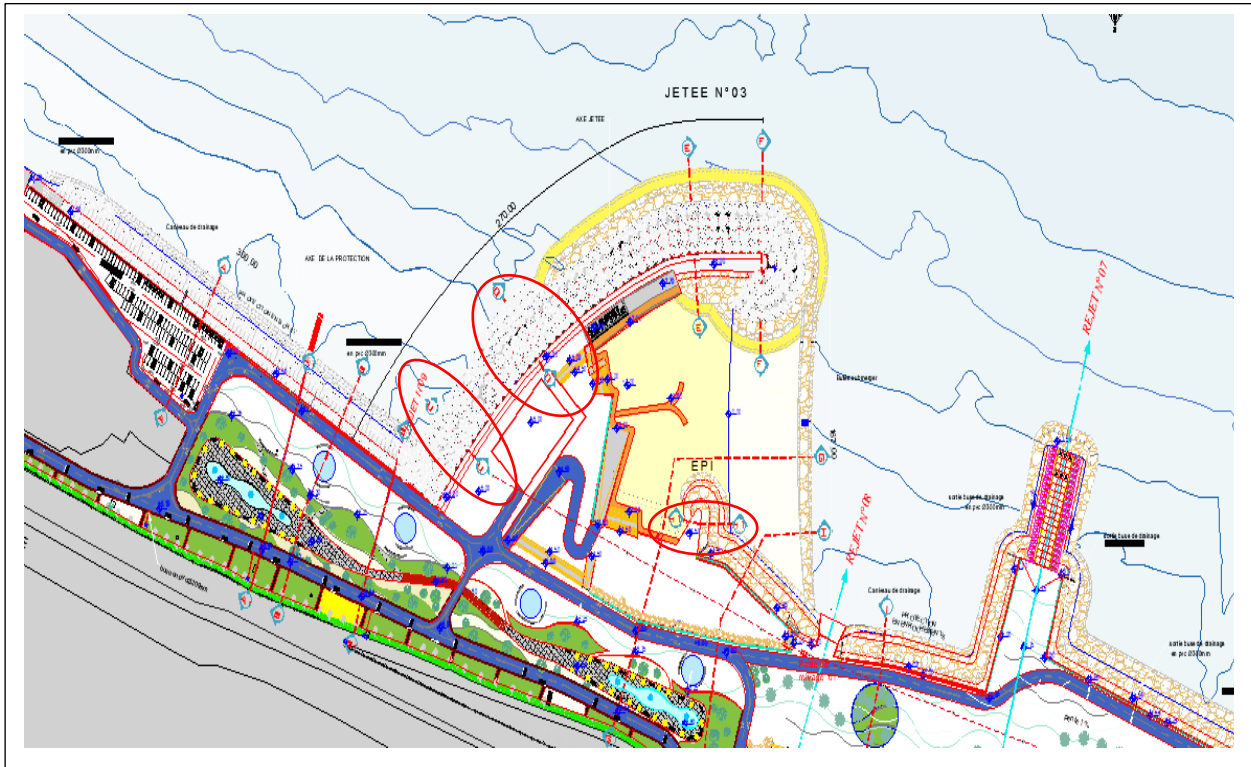
2.2.a. Profil quai, jetée n°02 :



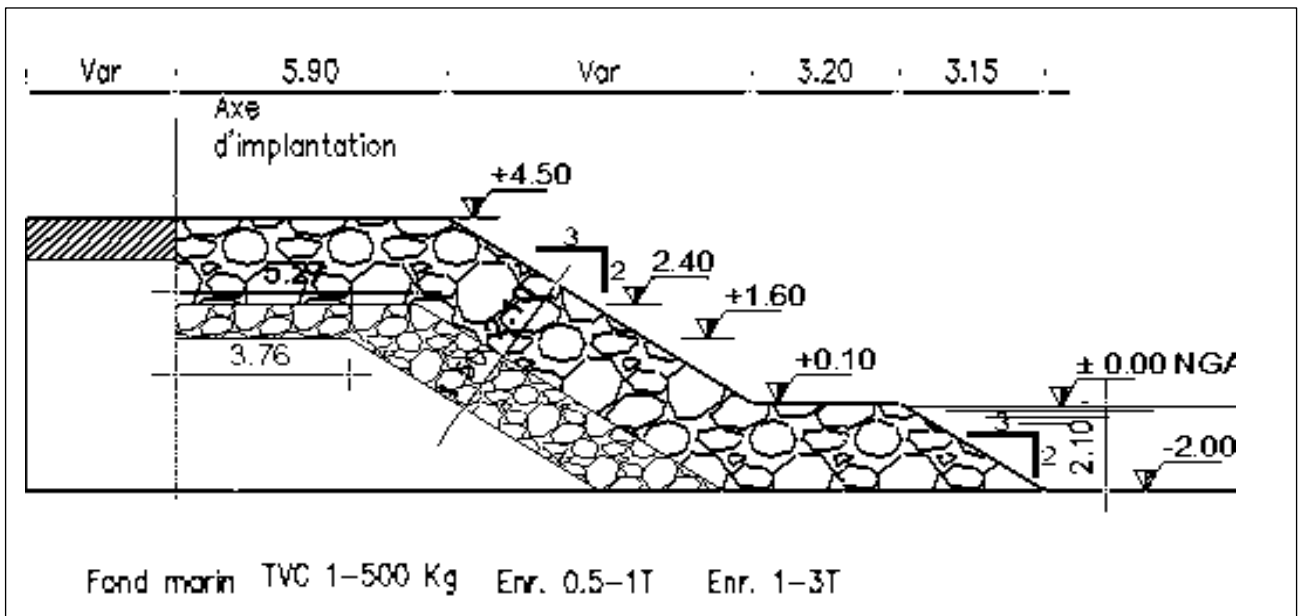
2.2.b. Profil musoir, jetée n°02 :



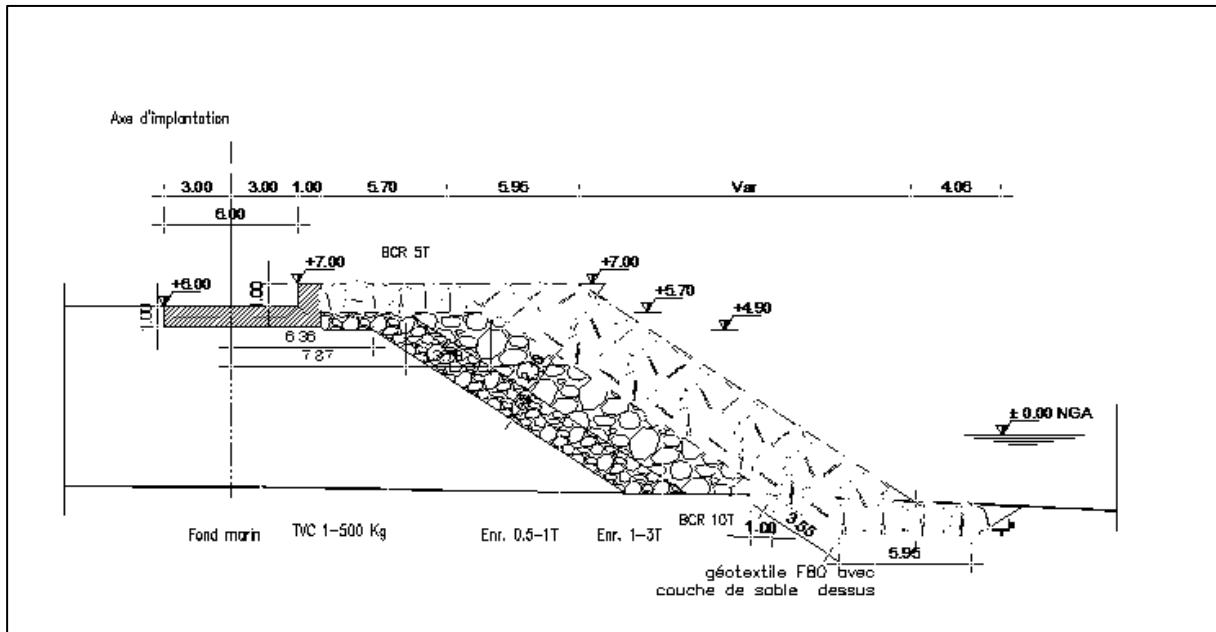
2.3. Plan de masse jetée n°03 des Sablettes



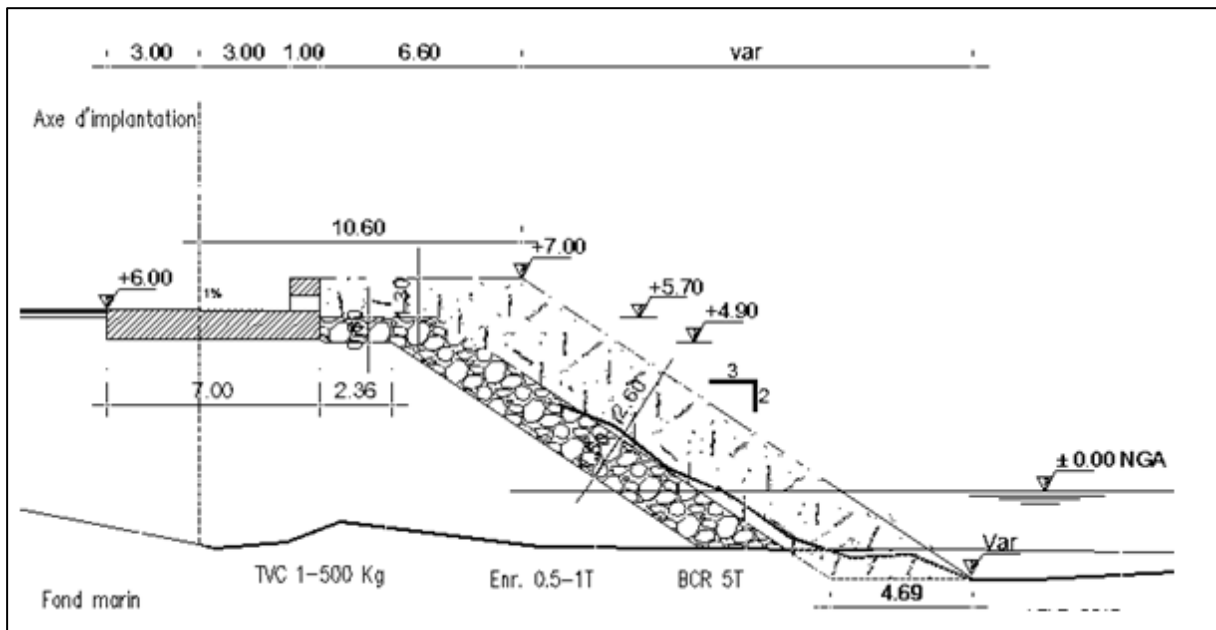
2.3.a. Profil d'un épi (coupe H1-H1)



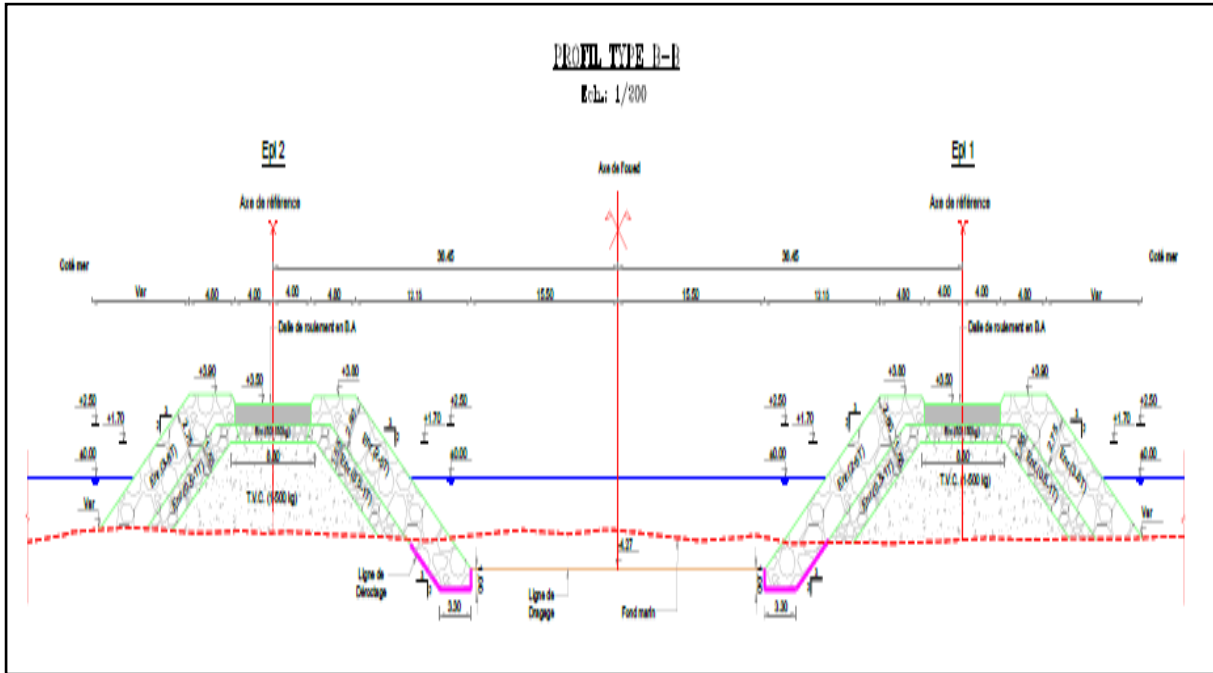
2.3.b. Profil (DD) partie coude de la jetée n°03



2.3.c. Profil (CC) jetée n°03

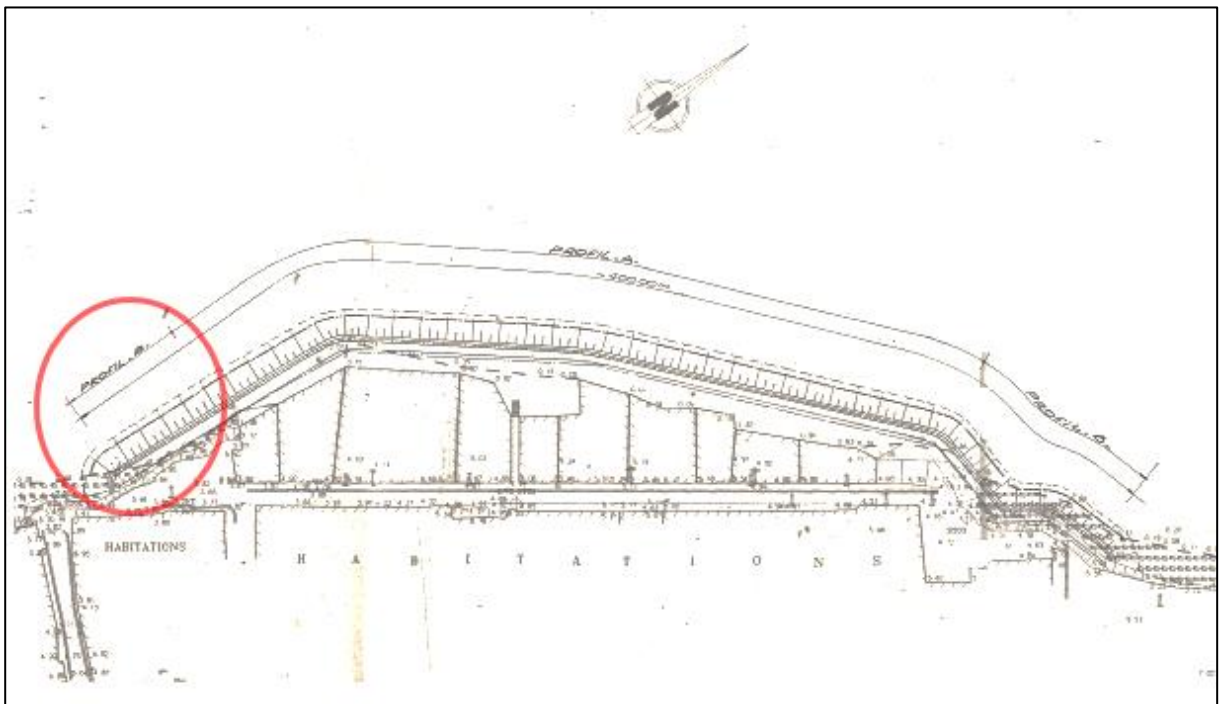


6. Aménagements de l'embouchure d'oued El Hamiz :

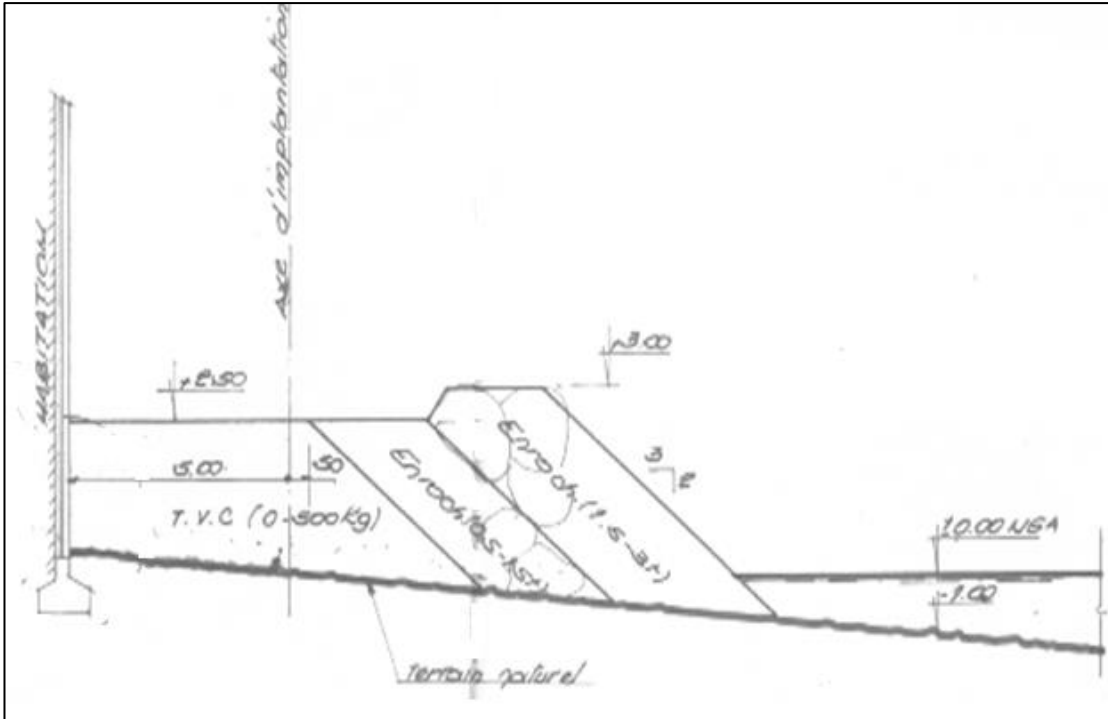


7. Aménagements de Stamboul :

7.1. Plan de masse de la protection frontale, Stamboul.

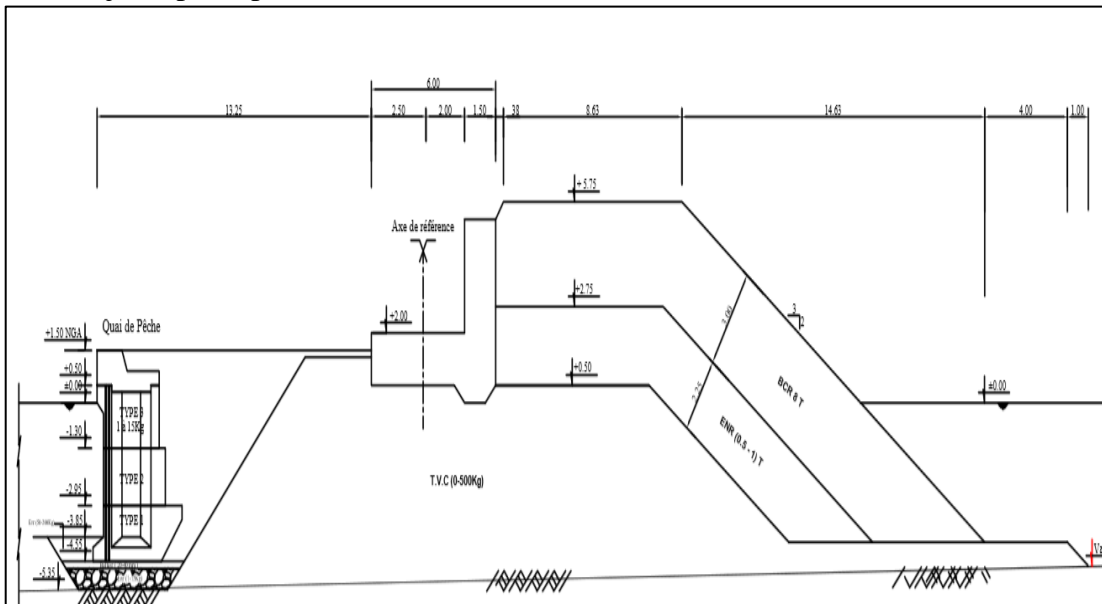


7.2. Profil A :

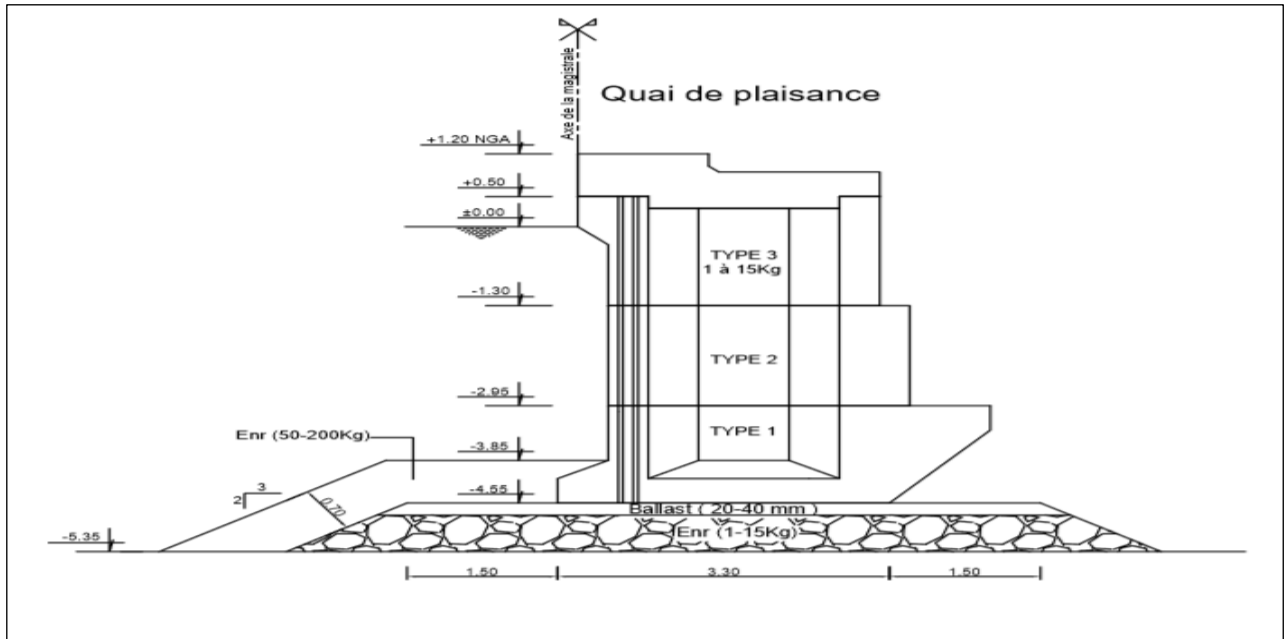


8. Port de Tamenfoust :

8.1. Profil (b) jetée principale, Port de Tamenfoust



8.2. Profil quai de plaisance, Port de Tamentfoust



Annexe n°02 :

Tableau n°01 : Fréquences d'apparition des états de la mer entre 1994 et 2013 au large des côtes de Dellys
(Source ONM, 1994-2013)

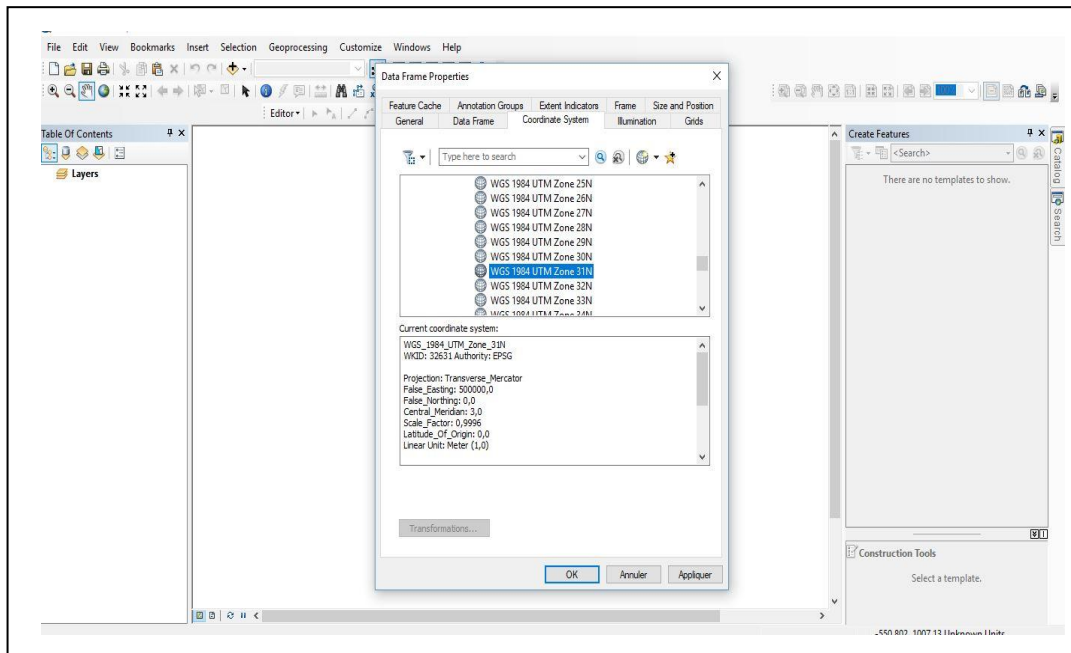
Etat de la mer	Calme	Ridée	Belle	Peu agitée	Agitée	Forte
Classes de Hs (m)	0	0 - 0,1	0,1 - 0,5	0,5 - 1,25	1,25 - 2,5	2,5 - 4
Annuel (%)	2,67	0,14	39,36	48,96	8,39	0,48
Hiver (%)	0,84	0,14	29,08	52,98	16,05	0,90
Printemps (%)	2,29	0,11	39,60	49,81	7,40	0,79
Été (%)	5,21	0,23	49,16	42,80	2,60	0,00
Automne (%)	2,38	0,06	39,74	50,20	7,40	0,22

Tableau n°02 : Hauteurs Significatives des houles associées à des périodes de retour au large à la cote de Dellys
(Sources ONM, MedAtlas et SSMO,1999-2013).

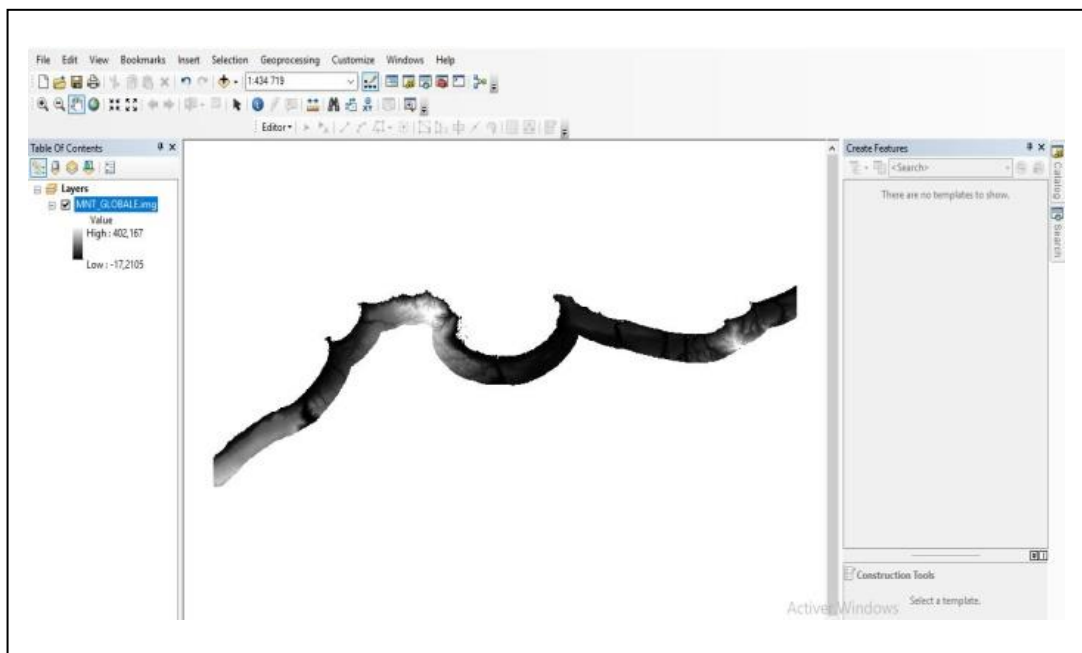
Périodes de retour (Années)	1		5	10	20	50	100	1000
Hauteurs (m) de dépassement non directionnelles à la côte (ONM)	4,55	5,03	5,65	6,13	6,6	7,23	7,5	9,28
Amplitudes (m) de dépassement toutes directions confondues au large (MEDATLAS)	5,27	5,82	6,56	7,11	7,67	8,40	8,95	10,79
Amplitudes (m) de dépassement toutes directions confondues au large (SSMO)	-	7,44	8,34	9,02	9,70	10,60	11,27	-

1. Cartographie de la submersion marine sur arcGIS

1.1 Définir un répertoire de stockage et un système de projection (WGS1984UTMZone31).



1.2. Importer le modèle numérique du terrain MNT.

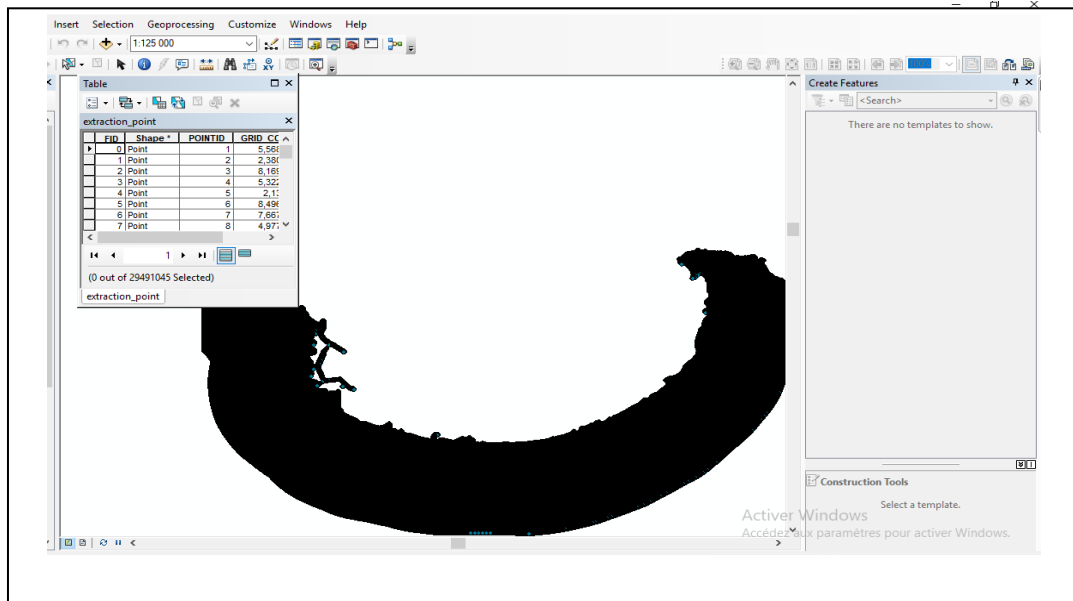


1.3 On va découper notre zone d'intérêt :

- On crée dans Arc catalogue un « shipe file » nommé zone d'étude.
- Dans Arc Maps on digitalise notre zone.

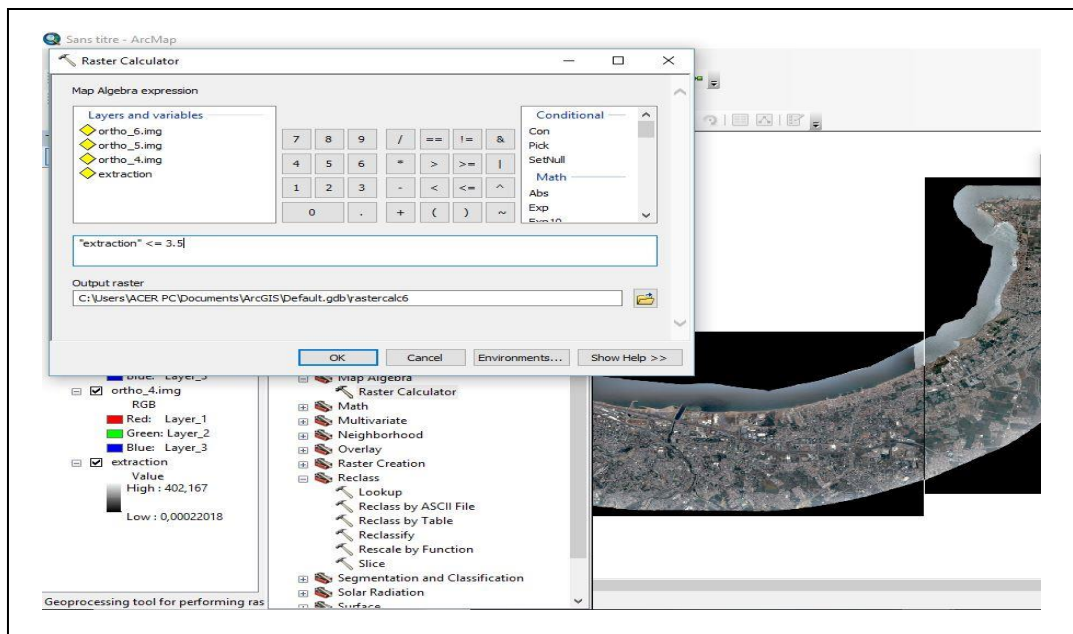
1.4 Extraction des points à partir du model numérique de terrain :

- ArcToolbox → Spatial analysis tools → Extraction by mask (convertir MNT de la zone d'étude en données raster).

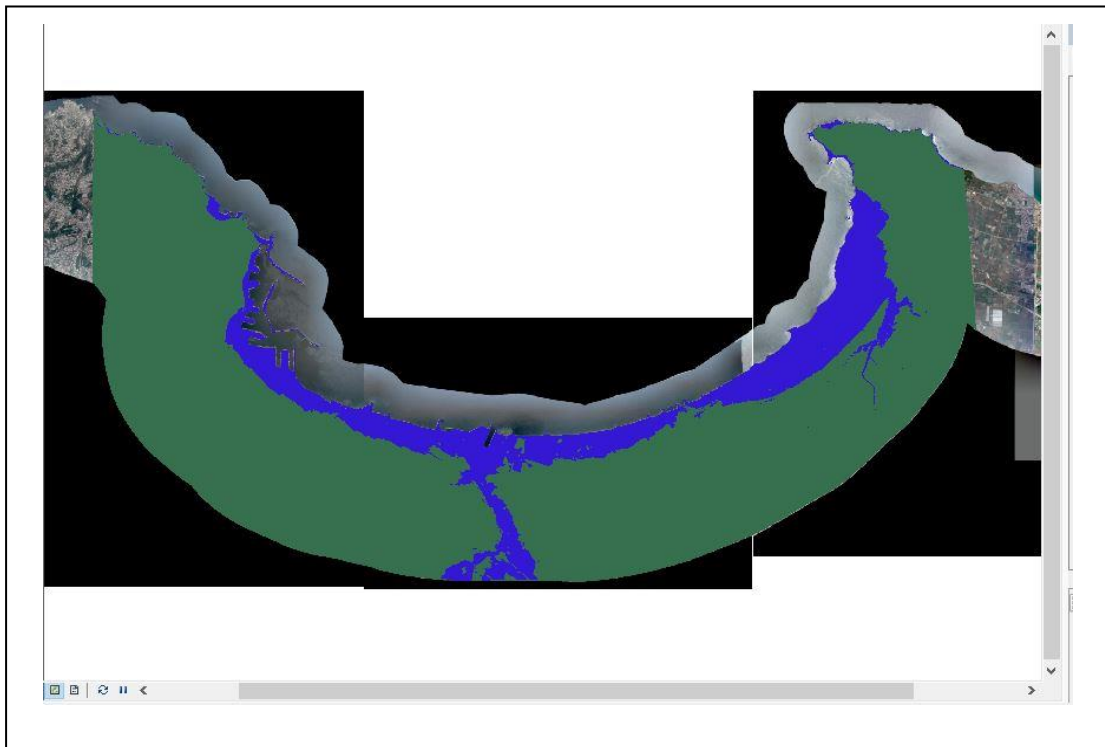


1.5 Cette étape consiste à intégrer une équation contenant le niveau d'inondation sur le MNT.

- Arc Toolbox → Spatial analysis tools → Mapalgebra → Raster calculator → écrire l'équation selon le niveau d'eau voulu → choisir l'emplacement → OK.

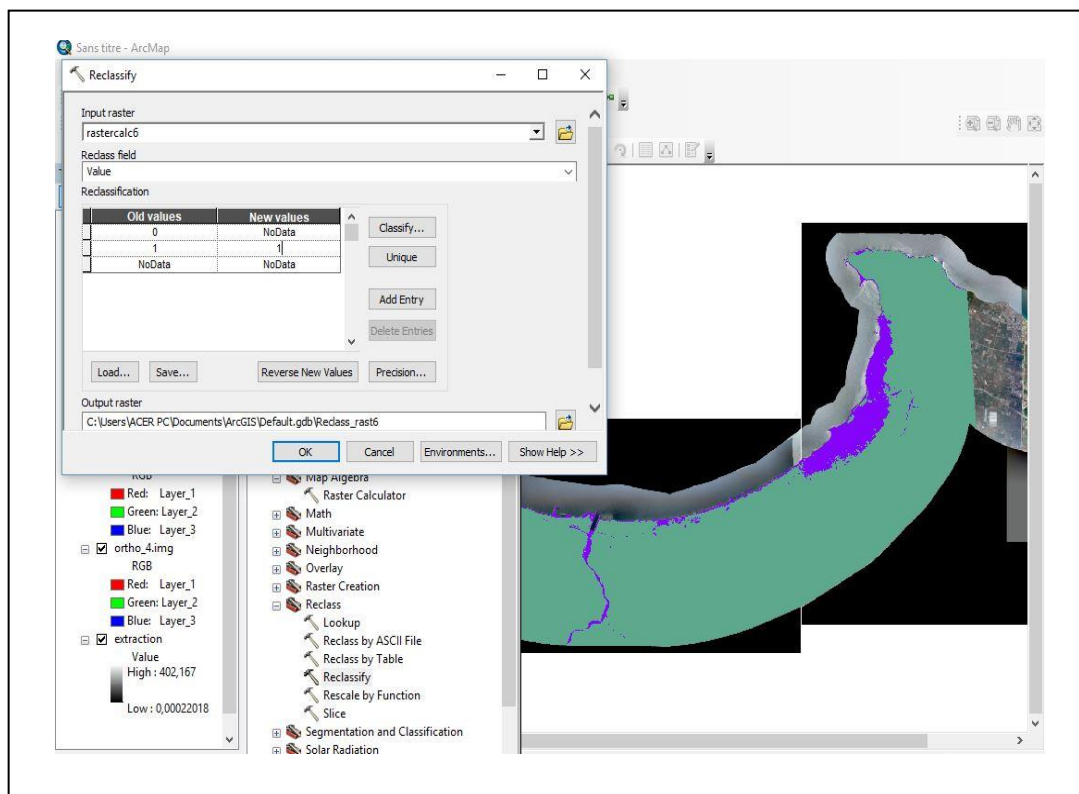


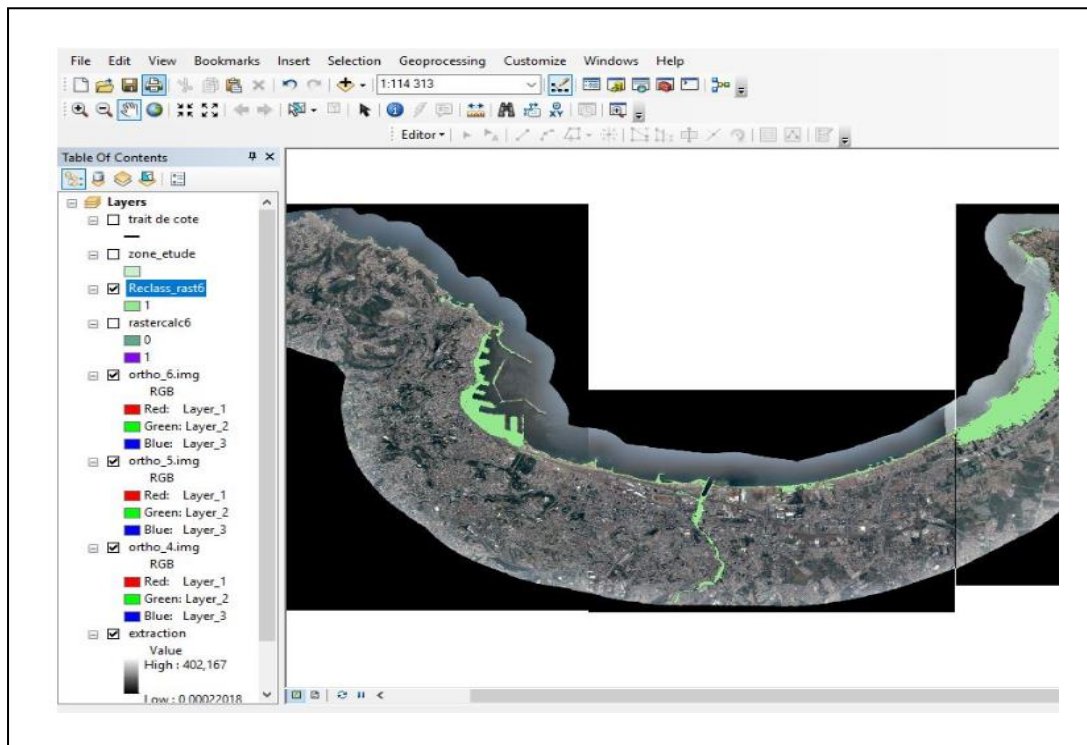
On obtient le résultat suivant :



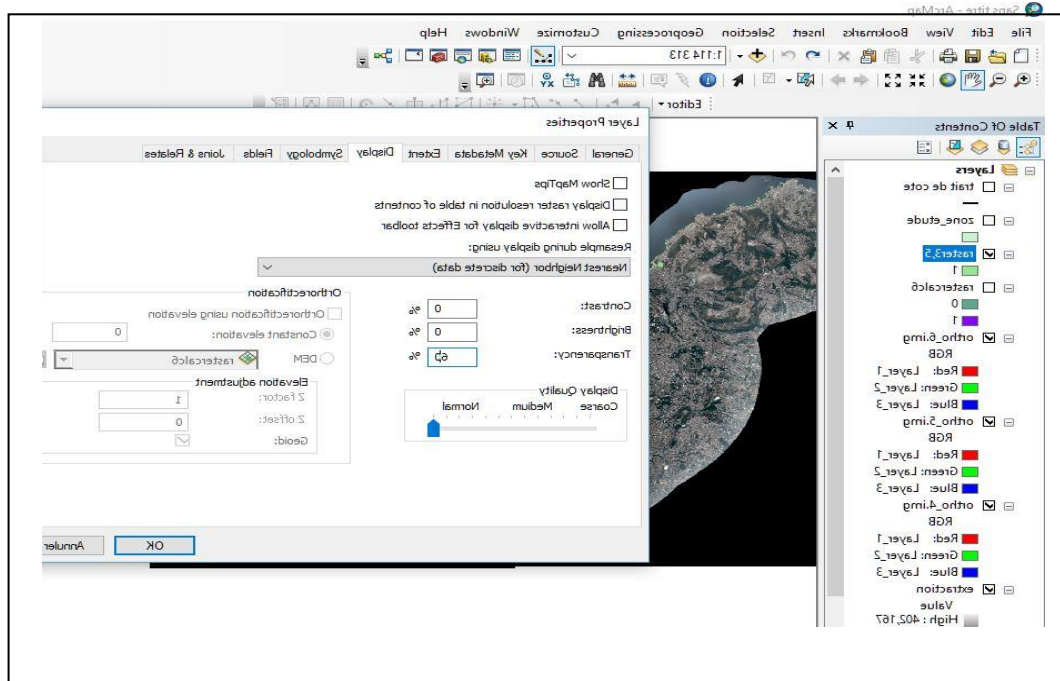
Le raster obtenu contient deux valeurs (0 et 1) le (0) représentent les zones non inondées et le chiffre (1) les zones inondées et pour éliminer le chiffre (0) on suit l'étape suivante :

- Dans Arc toolbox ➔ Reclass ➔ Reclassify.





- Propriétés → display → transparency (60%).



- Avant la rédaction des cartes on calcul d'abord la superficie des zones inondées qui sont liée au trait de côte.
- La rédaction et la mise en page des cartes.

Remarque : c'est les mêmes étapes à refaire pour définir la zone submergée à 8,5m.

Annexe 03 :

a. Résultats du dépassement sur CRESS :

1. Port d'Alger :

1.1. Profil quai de Guelma

Pour le profil du quai de Guelma, on a eu des zéros comme résultats pour les quatre hauteurs de houle, cela revient au faite que le logiciel ne traite pas les structures verticales

1.2. Profil jetée Mustapha (coupe n°41)

Pour le profil n°41 de la jetée de Mustapha, on a eu des zéros comme résultats pour les quatre hauteurs de houle

2. Promenade des Sablettes

2.1. Profil partie coude de la jetée (coupe DD)

Tableau 01 : Données de sortie pour la partie coude de la jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017)

Paramètres Hs	z 0,02 sortie	MKH (x)	MKH (- 0,1)	MKH (-1)	MKH (-10)	MKH (- 100)	Vx	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	V max	q
Hs=2.5m	7,52	9,16	9,16	7,08	4,99	2,91	0,94	00	0,66	0,13	1,62	0,00
Hs=3.5m	10,23	13,36	13,362	10,47	7,57	4,67	2,85	5,05	2,01	0,4	7,30	0,02
Hs=7.5m	22,73	32,04	32,041	25,77	19,50	13,23	75,04	133,12	52,83	10,66	229,80	0,92
Hs=8.5m	25,49	36,77	36,774	29,69	22,61	15,52	112,71	199,96	79,35	16,01	350,23	1,51

2.2. Profil d'un épi (coupe H1-H1)

Tableau 02: Données de sortie pour l'épi ouest, Sablettes (LEM, 2017)

Paramètres Hs sortie	z 0,02	MKH (x)	MKH (- 0,1)	MKH (-1)	MKH (-10)	MKH (- 100)	Vx	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	V max	q
Hs=2.5m	4,78	6,04	6,0387	4,66	3,29	1,92	1,23	0,00	0,86	0,17	2,07	0,00
Hs=3.5m	6,26	8,52	8,5191	6,67	4,83	2,98	3,28	5,82	2,31	0,47	8,07	0,02
Hs=7.5m	14,60	21,32	21,3224	17,15	12,98	8,80	81,94	145,37	57,69	11,64	250,91	1,07
Hs=8.5m	16,14	24,15	24,1511	19,50	14,85	10,19	119,36	211,77	84,04	16,95	370,25	1,67

2.3. Profil d'une jetée (coupe CC)

Tableau 03 : Données de sortie pour la jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017)

Paramètres Sortie Hs	z 0,02 %	q (m ³ /m/s)	MKH (x) (m)	MKH (-0,1) (m)	MKH (-1) (m)	MKH (-10) (m)	MKH (-100) (m)	Vx (m ³ /m)	V (0,01) (m ³ /m)	V (0,1) (m ³ /m)	V (0,5) (m ³ /m)	V Max (m ³ /m)
Hs=2.5m	7,52	0,00	9,16	9,16	7,08	4,99	2,91	0,94	0,00	0,66	0,13	1,62
Hs=3.5m	10,23	0,02	13,36	13,36	10,47	7,57	4,67	2,85	5,05	2,01	0,40	7,30
Hs=7.5m	22,73	0,98	32,04	32,04	25,77	19,50	13,23	75,04	133,12	52,83	10,66	229,80
Hs=8.5m	25,49	1,6	36,77	36,77	29,69	22,61	15,52	112,71	199,96	79,35	16,01	350,23

2.4. Profil d'un Quai :

Pour le profil du quai, on a eu des zéros comme résultats pour les quatre hauteurs de houle, cela revient au faite que le logiciel ne traite pas les structures verticales

2.5. Profil jetée (coupe musoir)

Tableau 04 : Données de sortie pour le profil partie musoir, jetée n°02, Sablettes (LEM, 2015)

Paramètres Hs sortie	z 0,02	MKH (x)	MKH (-0,1)	MKH (-1)	MKH (-10)	MKH (-100)	Vx	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	V max	q
Hs=2.5m	9,09	15,40	15,40	11,91	8,42	4,94	9,08	16,10	6,39	1,29	26,64	0,10
Hs=3.5m	12,12	17,39	17,39	13,64	9,89	6,13	11,32	20,08	7,97	1,61	36,67	0,20
Hs=7.5m	21,33	31,51	31,51	25,34	19,17	13,01	119,08	211,26	83,84	16,91	373,78	1,78
Hs=8.5m	23,95	36,20	36,20	29,22	22,25	15,28	171,85	304,89	121,00	24,41	544,53	2,70

3. Profil épi de El Harrach (coupe A)

Tableau 05 : Données de sortie pour un épi, El Harrach (LEM, 1993)

Paramètres Hs sortie	z 0,02	MKH (x)	MKH (- 0,1)	MKH (- 1)	MKH (- 10)	MKH (- 100)	Vx	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	V max	q
Hs=2.5m	4,41	5,89	5,89	4,55	3,21	1,87	1,89	3,35	1,33	0,27	3,58	0,00
Hs=3.5m	5,45	7,48	7,48	5,84	4,20	2,56	3,29	5,84	2,32	0,47	8,12	0,02
Hs=7.5m	13,93	21,49	21,49	17,28	13,08	8,87	108,68	192,81	76,52	15,44	336,98	1,52
Hs=8.5m	15,46	24,46	24,46	19,75	15,04	10,32	155,79	276,39	109,68	22,13	488,32	2,31

4. Profil jetée Mohammadia (coupe 2-2)

Tableau 06 : Données de sortie pour la jetée, Mohammadia (LEM, 2019)

Paramètres Hs sortie	z 0,02	MKH (x)	MKH (- 0,1)	MKH (- 1)	MKH (- 10)	MKH (- 100)	Vx	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	V max	q
Hs=2.5m	4,60	5,93	5,93	4,58	3,23	1,88	1,42	0,00	1,00	0,20	2,32	0,00
Hs=3.5m	5,89	8,05	8,05	6,28	4,51	2,74	2,97	5,27	2,09	0,42	7,02	0,01
Hs=7.5m	14,62	21,77	21,77	17,51	13,25	8,99	89,49	158,76	63,01	12,71	274,93	1,19
Hs=8.5m	16,13	24,63	24,63	19,88	15,14	10,39	129,09	229,02	90,89	18,34	401,43	1,83

5. Profil épi A de Verte Rive (coupe B/B)

Tableau 07 : Données de sortie pour l'épi A, Verte Rive (LEM, 2017)

Paramètres Hs sortie	z 0,02 (%)	q (m ³ /m/s)	MKH (x) (m)	MKH (- 0,1) (m)	MKH (- 1) (m)	MKH (- 10) (m)	MKH (- 100) (m)	Vx (m ³ /m)	V (0,01) (m ³ /m)	V (0,1) (m ³ /m)	V (0,5) (m ³ /m)	V max (m ³ /m)
Hs=2.5m	5,70	0,02	7,15	7,15	5,53	3,90	2,27	2,51	4,46	1,77	0,36	7,18
Hs=3.5m	7,42	0,12	10	10	7,83	5,66	3,50	7,74	13,73	5,45	1,10	24,58
Hs=7.5m	17,43	2,78	25,33	25,33	20,37	15,41	10,46	168,11	298,26	118,36	23,88	537,82
Hs=8.5m	19,22	3,91	28,58	28,58	23,08	17,57	12,06	230,51	408,97	162,30	32,74	740,88

6. Profil épi 2 de l'embouchure d'oued El Hamiz (coupe B-B)

Tableau 08 : Données de sortie pour l'épi 2, embouchure d'oued El Hamiz (LEM, 2014)

Paramètres Hs sortie	z 0,02	MKH (x)	MKH (-0,1)	MKH (-1)	MKH (-10)	MKH (-100)	Vx	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	V max	q
Hs=2.5m	5,75	7,27	7,27	5,62	3,96	2,31	1,90	3,38	1,34	0,24	4,92	0,00
Hs=3.5m	7,51	10,16	10,16	7,96	5,76	3,55	5,81	10,31	4,09	0,83	17,49	0,07
Hs=7.5m	17,62	25,75	25,75	20,71	15,67	10,63	137,96	244,76	97,13	19,60	437,15	2,17
Hs=8.5m	19,43	29,06	29,06	23,46	17,86	12,26	192,17	340,94	135,30	27,30	612,80	3,12

7. Profil protection frontal Stamboul (coupe A)

Tableau 09 : Données de sortie pour la protection frontale, Stamboul (LEM, juillet1998)

Paramètres Hs sortie	z 0,02 (%)	Q (m ³ /m/s)	MKH (x) (m)	MKH (-0,1) (m)	MKH (-1) (m)	MKH (-10) (m)	MKH (-100) (m)	Vx (m ³ /m)	V (0,01) (m ³ /m)	V (0,1) (m ³ /m)	V (0,5) (m ³ /m)	V Max (m ³ /m)
Hs=2.5m	5,76	0,04	7,27	7,27	5,62	3,96	2,31	3,20	5,68	2,25	0,45	9,62
Hs=3.5m	7,51	0,18	10,16	10,16	7,96	5,76	3,55	9,67	17,16	6,81	1,37	31,58
Hs=7.5m	17,62	3,27	25,75	25,75	20,71	15,67	10,63	192,49	341,51	135,53	27,34	618,90
Hs=8.5m	19,43	4,52	29,06	29,06	23,46	17,86	12,27	260,96	462,99	183,74	37,07	842,18

8. Port de plaisance de Tamnfouset

8.1. Profil la jetée principale (coupe b)

Tableau 10 : Paramètres du profil (b) jetée principale, Port de Tamenfoust (LEM, 2007)

Paramètres sortie Hs	z _{0,02} (%)	q (m ³ /m/s)	MKH (x) (m)	MKH (-0,1) (m)	MKH (-1) (m)	MKH (-10) (m)	MKH(- 100) (m)	Vx (m ³ /m)	V (0,01) (m ³ /m)	V (0,1) (m ³ /m)	V (0,5) (m ³ /m)	V max (m ³ /m)
Hs=2.5m	9,48	0,03	13,94	13,94	10,79	7,63	4,47	4,47	7,93	3,15	0,63	11,99
Hs=3.5m	12,46	0,1	17,40	17,40	13,64	9,89	6,13	7,58	13,44	5,33	1,08	23,32
Hs=7.5m	17,67	2,74	45,17	45,17	36,36	27,56	18,76	174,29	309,22	122,71	24,76	552,41
Hs=8.5m	31,01	3,83	50,52	50,52	40,83	31,14	21,44	234,20	415,50	164,89	33,27	747,68

8.2. Profil d'un quai de plaisance :

Pour le profil du quai de plaisance du port de Tamenfoust on a eu zéro comme résultat pour les quatre hauteurs de houle

b. Résultats du dépassement sur EurOtop :

1. Port d'Alger :

1.1. Profil quai de Guelma :

Pour le profil du quai de Guelma, on a eu des zéros comme résultats pour les quatre hauteurs de houle, cela revient au fait que le logiciel ne traite pas les structures verticales

1.2. Profil jetée Mustapha (coupe n°41)

Pour le profil n°41 de la jetée de Mustapha, on a eu des zéros comme résultats pour les quatre hauteurs de houle

3. Promenade des Sablettes

2.1. Profil partie coude, jetée n°03

Tableau 11 : Données de sortie pour la partie coude de la jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017)

Paramètres Sortie Hs	z 0,02	q [l/s/m]	Vx %	V(0,01) [l/m]	V(0,1) [l/m]	V(0,5) [l/m]	Vmax [l/wave/m]	Nombre de vagues
Hs=2.5m	6.983	0.033	0.150	0	0	0	220.65	5
Hs=3.5m	8.890	1.134	1.815	0	0	0	2119.9	65
Hs=7.5m	19.762	288.115	44.426	0	0	0	46942	1599
Hs=8.5m	22.140	539.443	52.389	0	0	0	76760	1886

2.2. Profil d'un épi (coupe H1-H1)

Tableau 12 : Données de sortie pour l'épi ouest, Sablettes (LEM, 2017)

Paramètres Sortie Hs	z 0,02	q [l/s/m]	Vx %	V(0,01) [l/m]	V(0,1) [l/m]	V(0,5) [l/m]	Vmax [l/wave/m]	N vagues
Hs=2.5m	4.658	0.013	0.049	> Vmax	> Vmax	> Vmax	64.545	2
Hs=3.5m	5.773	0.333	0.702	> Vmax	> Vmax	> Vmax	1141	25
Hs=7.5m	13.614	217.689	40.995	> Vmax	> Vmax	> Vmax	37878	1476
Hs=8.5m	15.017	396.477	48.051	> Vmax	> Vmax	47984.440	60572	1730

2.3. Profil d'une jetée (coupe CC)

Tableau 13 : Données de sortie pour la jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017)

Hs	Paramètres sortie	z 0,02	Vx [l/m]	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	Vmax [l/m]	q [l/s/m]	N wave
Hs=2.5m		6.983	0.000	0.000	0.000	0.000	432.624	0.114	21
Hs=3.5m		8.957	0.000	0.000	0.000	0.000	2825.8	2.843	159
Hs=7.5m		19.973	0.000	0.000	0.000	0.000	62024	442.711	1922
Hs=8.5m		22.381	0.000	0.000	0.000	0.000	99406	788.411	1895

2.4. Profil d'un Quai :

Pour le profil du quai des Sablettes, on a eu des zéros comme résultats pour les quatre hauteurs de houle

2.5. Profil jetée (coupe musoir)

Tableau 14 : Données de sortie pour la jetée n°03, Sablettes (LEM, 2017)

Hs	Paramètres sortie	z 0,02	Vx [l/m]	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	Vmax [l/m]	q [l/s/m]	N wave
Hs=2.5m		4.701	0.000	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	362.44	0.064	9
Hs=3.5m		5.583	0.000	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	2060.6	0.955	53
Hs=7.5m		12.875	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	39768.050	49142	305.976	1628
Hs=8.5m		14.319	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	47976.690	78185	551.554	1895

3. Profil épi de El Harrach (coupe A)

Tableau 15 : Données de sortie pour un épi, El Harrach (LEM, 1993)

Hs	Paramètres sortie	z 0,02	Vx [l/m]	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	Vmax [l/m]	q [l/s/m]	N wave
Hs=2.5m		4.158	0.000	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	1433.2	0.682	55
Hs=3.5m		5.408	0.000	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	5695.3	9.322	303
Hs=7.5m		12.561	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	39770.760	1.0305E5	845.797	2276
Hs=8.5m		13.901	>V _{max}	>V _{max}	>V _{max}	47984.620	1.547E5	1361.351	2476

4. Profil jetée Mohammadia (coupe 2-2)

Tableau 16 : Données de sortie pour la jetée, Mohammadia (LEM, 2019)

Hs	Paramètres sortie	z 0,02	Vx [l/m]	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	Vmax [l/m]	q [l/s/m]	N wave
Hs=2.5m		4.471	0.000	0.000	0.000	0.000	883.85	0.268	27
Hs=3.5m		5.722	0.000	0.000	0.000	0.000	3820.9	4.244	182
Hs=7.5m		13.315	0.000	0.000	0.000	0.000	79583	604.738	2074
Hs=8.5m		14.725	0.000	0.000	0.000	0.000	1.2158E5	1004.042	2293

5. Profil épi A de Verte Rive (coupe B/B)

Tableau 17 : Données de sortie pour l'épi A, Verte Rive (LEM, 2017)

Hs	Paramètres sortie	z 0,02	Vx [l/m]	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	Vmax [l/m]	q [l/s/m]	N wave
Hs=2.5m		4.819	0.000	0.000	0.000	0.000	1948.086	2.693	243
Hs=3.5m		6.308	0.000	0.000	0.000	0.000	7632.5	25.293	747
Hs=7.5m		14.729	0.000	0.000	0.000	0.000	1.4403E5	1361.020	2811
Hs=8.5m		16.270	0.000	0.000	0.000	0.000	2.2949E5	2066.488	2842

6. Profil épi 2 de l'embouchure d'oued El Hamiz (coupe B-B)

Tableau 18 : Données de sortie pour l'épi 2, embouchure d'oued El Hamiz (LEM, 2014)

Hs	Paramètres sortie	z 0,02	Vx [l/m]	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	Vmax [l/m]	q [l/s/m]	N wave
Hs=2.5m		4.989	0.000	0.000	0.000	0.000	1137.8	0.643	71
Hs=3.5m		6.541	0.000	0.000	0.000	0.000	4588.9	8.680	366
Hs=7.5m		15.296	0.000	0.000	0.000	0.000	1.0075E5	855.043	2370
Hs=8.5m		16.889	0.000	0.000	0.000	0.000	1.5044E5	1358.812	2555

7. Profil protection frontal Stamboul (coupe A)

Tableau 19 : Données de sortie pour la protection frontale, Stamboul (LEM, juillet1998)									
Paramètres Hs	Sortie	z 0,02	Vx [l/m]	V (0,01)	V (0,1)	V (0,5)	Vmax [l/m]	q [l/s/m]	N wave
Hs=2.5m		5.200	0.000	0.000	0.000	0.000	2187.2	4.046	356
Hs=3.5m		6.788	0.000	0.000	0.000	0.000	8493.8	33.425	925
Hs=7.5m		15.909	0.000	0.000	0.000	0.000	1.5963E5	1561.051	2811
Hs=8.5m		17.552	0.000	0.000	0.000	0.000	2.2949E5	2328.280	2938

8. Port de plaisance de Tamnfouset

8.1. Profil la jetée principale (coupe b)

Tableau 20 : Paramètres du profil (b) jetée principale, Port de Tamenfouset (LEM, 2007)									
Paramètres Hs	Sortie	z 0,02	q [l/s/m]	Vx %	V (0,01) [l/m]	V (0,1) [l/m]	V (0,5) [l/m]	Vmax [l/wave/m]	N vagues
Hs=2.5m		5.347	0.019	0.045	0	0	0	80.825	2
Hs=3.5m		6.568	0.409	0.609	> Vmax	> Vmax	> Vmax	1521.7	22
Hs=7.5m		16.720	329.566	45.515	> Vmax	> Vmax	39758.720	52640	1639
Hs=8.5m		18.580	590.452	52.864	> Vmax	> Vmax	47971.530	83397	1903

8.2. Profil d'un quai de plaisance :

Pour le profil de quai de plaisance du port de Tamenfouset on a eu des zéros comme résultats pour les quatre hauteurs de houle

Résumé :

L'élévation des niveaux marins, accélérée par le changement climatique fait l'objet d'une attention soutenue au niveau national et international. L'intérêt de cette étude portera sur l'impact d'une surélévation du niveau de la mer due au changement climatique, sur toute la baie d'Alger. On va s'intéresser, en premier lieu, aux dommages que peuvent subir les ouvrages maritimes étant des points fondamentaux et protecteurs de l'espace côtier. Ensuite, à l'effet du phénomène de submersion marine accru par cette élévation de niveau des eaux méditerranéennes. Pour finir, vers la fin, proposer des stratégies d'adaptation qui sauraient désormais et durant les siècles à venir indispensables pour minimiser au maximum d'éventuels risques.

Mots clés : Baie d'Alger, changement climatique, niveau des eaux, ouvrages maritimes, adaptation

Abstract:

The rise in sea levels, accelerated by climate change, is the subject of sustained attention at national and international level. The interest of this study will focus on the impact of a rise in sea level due to climate change, on the entire bay of Algiers. We will focus, first, on the damage that can be suffered by maritime structures, which are fundamental and protective points of the coastal space. Then, to the effect of the phenomenon of marine submersion increased by this rise in the level of Mediterranean waters. In order to provide, towards the end, adaptation strategies that would henceforth and during the centuries to come be essential to minimize possible risks as much as possible.

Keywords: Bay of Algiers, climate change, water level, maritime structures, adaptation

ملخص:

إن ارتفاع مستوى سطح البحر، الذي تسارعت وتيرته بسبب تغير المناخ، هو موضوع اهتمام مستمر على المستويين الوطني والدولي. ستركز هذه الدراسة على تأثير ارتفاع مستوى سطح البحر بسبب تغير المناخ على خليج الجزائر بأكمله. سنركز، أولاً وقبل كل شيء، على الأضرار التي يمكن أن تلحق بالهياكل البحرية، والتي تعد نقاطاً أساسية وقائية في الفضاء الساحلي. ثم أثر ظاهرة الغمر البحري الذي زاد من جراء هذا الارتفاع في منسوب مياه البحر المتوسط. هذا من أجل تقديم اقتراح، لاستراتيجيات التكيف التي من شأنها من الآن فصاعداً وخلال القرون القادمة، من الضروري تقليل المخاطر المحتملة إلى أقصى حد ممكن.

كلمات المفتاح: خليج الجزائر، تغير المناخ، منسوب المياه، الهياكل البحرية، التكيف