

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

المدرسة الوطنية العليا لعلوم البحر وتهيئة الساحل

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



Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état et de master en sciences de la mer

Option : Gestion et Protection du Littoral

Thème :

Etude d'impact des brise lames de la commune d'Ain Taya sur les points : érosion/accumulation et qualité des eaux de baignade.

Présenté par :

❖ **Djoued Kahina Zina Seghira**

Soutenu le 04 juillet 2022, devant le jury composé par :

Mr OTMANI H.	Maître de conférences B	(ENSSMAL)	Président
Mme KERAGHEL	Maître de conférences B	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mme MEHDID S.	Maître assistant A	(ENSSMAL)	Examinatrice
Mr BELKESSA R.	Professeur	(ENSSMAL)	Promoteur
Mme. MOUHOUBI I.	Docteur	(LEM)	Co-Promotrice

Année universitaire : 2021-2022

Remerciement :

Je tiens à remercier tout d'abord mon promoteur Monsieur Belkessa, pour son suivi et son encouragement tout le long de la réalisation de ce mémoire.

Je remercie ma co-promotrice Mme. Mouhoubi au niveau du LEM, pour son aide sur les aspects techniques et les échanges par rapport à la problématique.

J'aimerais remercier Monsieur Buriand, gérant du bureau d'études de SOGREAH_ARTELIA au niveau d'Alger, de m'avoir partagé les données archivées concernant ma zone d'étude.

Je remercie aussi Monsieur Bougelia. K, ingénieur en aménagement du territoire et protection de l'environnement au niveau de la direction de l'environnement de la wilaya d'Alger, de m'avoir permise de consulter leurs bilans sur la qualité des eaux de baignade analysés par le laboratoire HUPE d'Alger.

Je me remercie mes enseignants, camarades et toute personne de près ou de loin, ayant pu aider à réaliser ce mémoire de fin d'études

Dédicace :

Je tiens à dédier ce travail à ma mère, qui est ma béquille dans la vie et mon moteur pour toujours aller plus loin

A mon père, qui m'as transmis sa passion pour la mer « Alles ist in das kleinste »

Aux membres de ma famille pour leur soutien continuel

A mes amis qui se reconnaîtront et dont je n'aurais de cesse de les remercier pour leur soutien et les moments partagés

Aux étudiants et futurs ingénieurs de l'ENSSMAL, en espérant que ce modeste travail puisse leurs apporter des éléments de réponse dans leurs travaux.

Liste des tableaux :

Tableau 2.1: Distribution moyenne et mensuelle des apports liquides entre 1986 et 1992 (Bouakline, 2009).....	10
Tableau 2.2: Avantages et inconvénients des ouvrages de protection du littoral en enrochement (CETMEF, 2005).....	11
Tableau 2.3: Tableau des caractéristiques de la houle à la côte (LEM/SOGREAH, 2013).....	17
Tableau 3.1: Caractéristiques de la houle au large (LEM, 2017).....	34
Tableau 3.2: Données entrantes pour la simulation du modèle Mike 21 HD FM.....	35
Tableau 5.1: Fréquence équivalente d'apparition des houles au large de la commune d'Ain Tay à partir de L'U.S Naval Weather Service Command (S.S.M.O).	58
Tableau 6.1: Type de risque sanitaire occasionné par une pollution bactériologique.....	84
Tableau 6.2: Type de risque sanitaire occasionné par une pollution physico-chimique.....	85
Tableau 6.3: Informations relatives à la station de prélèvement des échantillons (Laboratoire HUPE,2021).	86
Tableau 6.4: Résultats de l'analyse microscopique (Laboratoire HUPE,2021).....	87
Tableau 6.5: Résultats d'analyse microscopique d'espèces planctoniques en juillet 2021(Laboratoire HUPE,2021).	87
Tableau 6.6: Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques in-situ (Laboratoire HUPE,2021).....	88
Tableau 6.7: Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques (HUPE,2022).....	90
Tableau 6.8: Résultats de l'analyse bactériologique de l'année 2021 (Laboratoire HUPE, 2021).....	95
Tableau 6.9: Résultats de l'analyse bactériologique de l'année 2022 (Laboratoire HUPE, 2022).....	97
Tableau 7.1: Paramètres et résultats du calcul de la hauteur du Run-Up.....	111

Liste des figures :

Figure 2.1: Situation géographique de la zone d'étude à partir d'une image satellitaire (SAS Planet, 2022).....	5
Figure 2.2: Carte marine et réseau hydrographique de la côte Est Algéroise	6
Figure 2.3: Extrait de la carte géologique d'Alger N°21, réalisé par A. AYME (1948-1962) publiée en 1964.	8
Figure 2.4: Analyse granulométrique des sédiments de la plage de Surcouf (SOGREAH, 1982).....	9
Figure 2.5: Brise lames, formation de tombolo et saillies, (CETMEF, 2005)	12
Figure 2.6: Les différentes zones d'action des vagues et les principaux courants pouvant agir près des côtes (Einsele, 1992).	16
Figure 2.7: Image satellitaire du site d'étude subdivisé en trois zones selon la géomorphologie des terrains.....	18
Figure 2.8: Schémas des coupes paléogéographiques des trois zones du site d'étude (LEM/SOGREAH, 2013).....	20
Figure 2.9: Schéma de destruction de la falaise dans la zone III par érosion marine (LEM/SOGREAH, 2013).....	21
Figure 3.1: Certaines fonctionnalités de l'extension Arc-Map du logiciel Arc-Gis 10.3	23
Figure 3.2: Méthodologie de travail sur l'évolution du trait de côte.....	25
Figure 3.3: Maillage triangulaire flexible adaptée au domaine de calcul.	31
Figure 3.4: Bathymétrie de la commune littoral d'Ain Taya, réalisée à par des un fichier XYZ de la bathymétrie réalisé par un relevé terrain par le LEM en 2017.	32
Figure 3.5: Directions des houles dominantes atteignant la commune littorale d'Ain Taya. ..	33
Figure 3.6: Méthodologie de travail pour la simulation des courants de la houle (Madi, Meciaf. 2017)	34
Figure 3.7: Modèle de simulation de la température des eaux à $t=0s$	36
Figure 4.1: Images satellitaires de notre zone d'étude à des années de différences (2011-2018-2020-2022), obtenues à partir de Google Earth Pro du littoral Est de la commune d'Ain Taya.	38
Figure 4.2: Les différents traits de côte entre 1959 et 2022 à partir de la plage Flot Bleu jusqu'à la plage El Kadous.....	39
Figure 4.3: Evolution du trait de côte entre 1959 et 1972 estimée par l'outil DSAS.	40
Figure 4.4: Evolution du trait de côte entre 1972 et 1980 mesurée par l'outil DSAS.	41
Figure 4.5: Evolution côtière entre 1980 et 1999 mesurée par l'outil DSAS.	42
Figure 4.6: Evolution du trait de côte entre 1999 et 2003 mesurée par l'outil DSAS.	43
Figure 4.7: Evolution du trait de côte entre 2003 et 2011 mesurée par l'outil DSAS.	44
Figure 4.8: Evolution du trait de côte entre 2011 et 2014 mesurée par l'outil DSAS.	45
Figure 4.9: Evolution du trait de côte entre 2014 et 2016 mesurée par l'outil DSAS.	46
Figure 4.10: Evolution de la ligne de rivage entre 2016 et 2018 mesurée par l'outil DSAS... ..	47
Figure 4.11: Evolution du trait de côte entre 2018 et 2020 mesurée par l'outil DSAS.	48
Figure 4.12: Evolution du trait de côte entre 2020 et 2022 mesurée par l'outil DSAS.	49
Figure 4.13: Evolution sur toute la période mesurée avec l'outil DSAS et le paramètre LRR(m/an).	50

Figure 4.14: Evolution diachronique de la bande côtière au niveau du transect N°38 situé dans la plage de Surcouf dans la commune d'Ain Taya.....	51
Figure 4.15: Représentation des points d'intersection entre les traits de côte et le transect N°38, situé au niveau de la plage Surcouf dans la commune d'Ain Taya.....	52
Figure 4.16: Bilan sédimentaire surfacique du littoral Est de la commune d'Ain Taya entre 1959 et 2022.....	53
Figure 4.17: Modèle en 3D de la géomorphologie de la côte Est algéroise à partir du logiciel Surfer 13.....	55
Figure 4.18: Carte bathymétrique d'Alger Est avec profils bathymétriques effectués à l'aide du logiciel Surfer 13.....	56
Figure 5.1: Rose des houles annuelles au large de la commune d'Ain Taya réalisée par le logiciel MIKE 21.....	58
Figure 5.2: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, D= 315°N ; Hs=2,64m et T=8s.....	59
Figure 5.3: Carte de répartition du champ des courants, D= N315°, Hs= 2,64m, T= 8s.....	60
Figure 5.4: Carte de répartition du flux sédimentaire, D= N315°, Hs= 2,64m, T=8s.....	61
Figure 5.5: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, D= N360° ; Hs=2,67m ; T=8s.....	62
Figure 5.6: Carte de répartition du champ des courants, D= N360° ; Hs=2,67m et T=8s.....	63
Figure 5.7: Carte de répartition du flux sédimentaire, D= N360° ; Hs=2,67m/s et T=8s.....	63
Figure 5.8: Carte de répartition du champ de réfraction des houles, D=N45°, Hs= 2,56m et T=8s.....	64
Figure 5.9: Carte de répartition du champ des courants, D= N45° ; Hs=2,56m, T=8s.....	65
Figure 5.10: Carte de répartition du flux sédimentaire, D=N45°, Hs= 2,56m et T=8s.....	66
Figure 5.11: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, D=N315° ; Hs=2,64m et T=8s.....	67
Figure 5.12: Carte de répartition du champ des courants, D=N315° ; Hs=2,64m et T=8s.....	67
Figure 5.13: Carte de répartition du flux sédimentaire, D=N315° ; Hs=2,64m et T=8s.....	68
Figure 5.14: Carte du champ de réfraction des houles, D=N360° ; Hs=2,67m et T=8s.....	69
Figure 5.15: Carte de répartition du champ des courants littoraux, D= N360°, Hs=2.67m et T=8s.....	69
Figure 5.16: Carte de répartition du flux sédimentaire, D=N360° ; Hs=2,67m et T=8s.....	70
Figure 5.17: Carte du champ de réfraction des houles de D=N45° ; Hs= 2,56m et T=8s.....	71
Figure 5.18: Carte de répartition du champ des courants littoraux, D= N45° ; Hs=2,56m et T=8s.....	71
Figure 5.19: Carte de répartition du flux sédimentaire, D=N45° ; Hs=2,56m et T=8s.....	72
Figure 5.20: Carte de répartition du champ de réfraction des houles pour la plage Flot Bleu à l'état initial, D=315°N ; Hs=2,64m et T=8s.....	73
Figure 5.21: Carte de répartition du champ de réfraction des houles pour la plage Flot Bleu à l'état initial, D=315°N ; Hs=2,64m et T=8s.....	73
Figure 5.22: Carte de répartition du champ des courants littoraux dans la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N315° ; Hs=2,64m et T=8s.....	74
Figure 5.23: Carte de répartition du champ des courants littoraux dans la plage Flot Bleu état récent, D=N315° ; Hs=2,64m et T=8s.....	74

Figure 5.24: Carte de répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N315°, Hs= 2,64m et T=8s.	75
Figure 5.25: Carte de répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N315°, Hs= 2,64m et T=8s.	76
Figure 5.26: Carte de répartition du champ de réfraction des houles de la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N360° ; Hs=2,67m et T=8s.....	76
Figure 5.27: Carte de répartition du champ de réfraction des houles de la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N360° ; Hs=2,67m et T=8s.	76
Figure 5.28: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N360°, Hs=2,67m et T=8s.	77
Figure 5.29: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N360°, Hs=2,67m et T=8s.....	77
Figure 5.30: Carte de la répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N360°, Hs=2,67m et T=8s.	78
Figure 5.31: Carte de la répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N360°, Hs=2,67m et T=8s.	78
Figure 5.32: Carte du champ de réfraction pour la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N45° ; Hs=2,56m et T=8s.....	79
Figure 5.33: Carte du champ de réfraction pour la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N45° ; Hs=2,56m et T=8s.	79
Figure 5.34: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N45° ; Hs=2,56m ; T=8s.....	80
Figure 5.35: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N45° ; Hs=2,56m ; T=8s.	80
Figure 5.36: Carte de la répartition du flux sédimentaire de la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N45° ; Hs=2,56m et T=8s.	81
Figure 5.37: Carte de la répartition du flux sédimentaire de la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N45° ; Hs=2,56m et T=8s.	81
Figure 6.1: Répartition des points d'eaux usées et de source naturelle au niveau de la plage Flot Bleu de la commune d'Ain Taya.	84
Figure 6.2: Image de la plage Flot Bleu, avec vue sur le deuxième brise lame à partir de l'Est, obtenue lors de l'enquête sur terrain de Juin 2022.....	86
Figure 6.3: Histogramme des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de la plage Flot Bleu du 25/03/2021 (Laboratoire HUPE, 2021).....	89
Figure 6.4: Histogramme de l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de la plage Flot Bleu du 07/06/2021 (Laboratoire HUPE, 2021).....	89
Figure 6.5: Histogramme des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux de baignade de la plage Flot Bleu en 03/04/2022 (Laboratoire HUPE, 2022).....	91
Figure 6.6 : Histogramme des résultats de mesure du potentiel hydrogène des eaux de baignade de la plage Flot Bleu le 09/06/2022 (Laboratoire HUPE, 2022).	92
Figure 6.7: Histogramme de l'analyse bactériologique du 25/03/2021, au niveau de la plage Flot Bleu dans la commune d'Ain Taya (Laboratoire HUPE, 2021).....	93
Figure 6.8: Histogramme de la moyenne des résultats de l'analyse bactériologique du 7 et 14 juin 2021 à la plage Flot Bleu, dans la commune d'Ain Taya (Laboratoire HUPE, 2021).	94

Figure 6.9: Histogramme de la moyenne des résultats de l'analyse bactériologique du 03 et 17 avril 2022 des eaux de baignade de la plage Flot Bleu (Laboratoire HUPE, 2022).	95
Figure 6.10: Histogramme de la moyenne des résultats de l'analyse bactériologique du 05 et 12 juin 2022 des eaux de baignade de la plage Flot Bleu (Laboratoire HUPE, 2022).....	96
Figure 6.11: Localisation de la source du rejet direct des eaux usées et de son cheminement sur l'avant plage jusqu'au rivage lors de l'enquête terrain dans la plage Flot Bleu en juin 2022.....	98
Figure 6.12: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec présence des cavaliers pour la houle D : N315°, Hs=1.10m et T=6s.	99
Figure 6.13: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers, D : N315°, Hs=1.10m et T=6s.	100
Figure 6.14: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec cavaliers, D : N360°, Hs=1.00m et T=6s.	100
Figure 6.15: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers, D: N360°, Hs=1.00 et T=6s.....	101
Figure 6.16: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec présence des cavaliers pour des houles de direction N°45, Hs= 1.09 et T=6s.	101
Figure 6.17: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers pour des houles de direction D : N°45, Hs=1.09m et T=6s.....	102
Figure 6.18: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec cavaliers pour des houles de direction, D : N315°, Hs= 2.64m et T=8s.....	102
Figure 6.19: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers pour des houles de direction, D : N315°, Hs= 2.64 et T=8s.....	103
Figure 6.20: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec cavaliers sous l'influence des houles de direction D :N360°, Hs=2.67m et T=8s	103
Figure 6.21: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers selon les houles de direction D : N360°, Hs= 2.67m et T=8s.....	104
6.22: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec les cavaliers sous l'influence des houles de D : N45°, Hs= 2.56 et T=8s.....	104
Figure 6.23: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans les cavaliers sous l'influence des houles de direction D: N45°, Hs= 2.56m et T=8s.	105
Figure 7.1: Carte hypsométrique de la commune d'Ain Taya réalisée par ArcGis à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) téléchargé du site USGS.	108
Figure 7.2: Modèle de submersion généré à partir de l'extension ArcScene du logiciel ArcGis à partir d'un MNT.	109
Figure 7.3: Carte de la répartition des hauteurs de houles et des superficies submersibles sur la bande littorale de la commune d'Ain Taya.	110
Figure 7.4: Carte de la répartition des barrages et cours d'eau alimentant la zone littorale de la côte Est algéroise.....	112
Figure 7.5: Images représentant le tracé de l'embouchure entre 2007, 2017 et 2022 ; obtenues à partir du logiciel Google Earth Pro.	113
Figure 7.6: Carte de la répartition des différentes constructions (Habitats, ouvrages de protection,..) dans l'espace littoral de la commune d'Ain Taya.....	115

Figure 7.7: Carte d'identification de la nature des équipements occupant le domaine de la commune d'Ain Taya.....	117
Figure 7.8: Carte de répartition des habitations selon l'action à entreprendre par rapport à leur proximité de la ligne du rivage de la commune d'Ain Taya.....	118
Figure 7.9: Carte de répartition des rejets et sources d'eaux au niveau du littoral de la commune d'Ain Taya.....	120
Figure 7.10: Type de solutions d'aménagement selon l'occupation côtière (ULCO, 2021)..	122

Table des matières :

1	Introduction générale :	2
2	Chapitre I: Généralités sur la zone d'étude.....	5
2.1	-Situation géographique de la zone d'étude :	5
2.1.1	-Description de la zone d'étude :	5
2.2	-Cadre géologique régionale :	7
2.2.1	-Géologie du site d'étude :	7
2.2.2	-Géologie de la zone d'étude :	7
2.3	-Hydrologie de la zone d'étude :	9
2.3.1	Apport liquide de l'Oued Réghaia :	10
2.3.2	-Apport solide de l'Oued Réghaia :	10
2.4	-Initiation aux ouvrages de protection :	10
2.4.1	- Les murs et cordons d'enrochement :	11
2.4.2	-Brise Lames :	12
2.5	-Conditions océanographiques :	14
2.5.1	-La marée et la variation du niveau de la mer :	14
2.5.2	-Les courants :	15
2.5.3	-Les Houles :	16
2.6	-Géomorphologie du site d'étude subdivisée en trois zones :	17
2.6.1	-Les coupes géologiques de la falaise synthétisées comme suit :	19
2.7	-Bilan de l'étude géologique et géomorphologique :	19
2.7.1	-Pour la zone III :	20
2.7.2	-Pour la zone II :	20
2.7.3	Pour la zone I :	21
2.8	-Sismicité :	21
3	Chapitre II : Matériel et méthode	23
3.1	-Méthodologie de l'évolution diachronique du trait de côte :	23
3.1.1	- Aperçu du logiciel ArcGIS 10.3 (Système d'Information Géographique) :	23
3.1.2	- Interface d'ArcMap :	23
3.1.3	- Interface ArcCatalog :	24
3.1.4	-Interface Dsas4.3 (Digital Shoreline Analysis System):.....	24
3.1.5	-Méthodologie du DSAS :	25
3.2	- Interface du logiciel Surfer :	27

3.3	- Etude hydrodynamique :	27
3.3.1	- Matériel utilisé :	28
3.3.1.1	- Description du logiciel de calcul Mike Zéro :	28
3.3.1.2	- Description du logiciel de calcul Mike 21 :	28
3.3.2	- Méthode adoptée :	31
3.3.3	- Domaine de calcul :	32
3.3.3.1	- Données bathymétriques :	32
3.3.3.2	- Données sédimentologiques :	32
3.3.3.3	- Données de houle :	33
3.4	- Méthodologie de simulation de la qualité des eaux de baignade:	34
3.4.1	- Technique adoptée :	34
3.4.1.1	- Données de houle :	35
3.5	- Analyse de la littoralisation :	36
4	Chapitre III: Etude diachronique de l'évolution du trait de côte	38
4.1	- Présentation et interprétation des résultats obtenus du Dsas :	39
4.1.1	- Evolution de la ligne de rivage entre 1959 et 1972 :	40
4.1.2	- Evolution de la ligne de rivage entre 1972 et 1980 :	41
4.1.3	- Evolution de la ligne de rivage entre 1980 et 1999 :	42
4.1.4	- Evolution de la ligne de rivage entre 1999 et 2003 :	43
4.1.5	- Evolution côtière de la ligne de rivage entre 2003 et 2011 :	44
4.1.6	- Evolution de la ligne de rivage entre 2011 et 2014 :	45
4.1.7	- Evolution de la ligne de rivage entre 2014 et 2016 :	46
4.1.8	- Evolution de la ligne de rivage entre 2016 et 2018 :	47
4.1.9	- Evolution de la ligne de rivage entre 2018 et 2020 :	48
4.1.10	- Evolution de la ligne de rivage entre 2020 et 2022 :	49
4.2	- Synthèse global de l'évolution de la ligne de rivage sur toute la période entre 1959 et 2022 :	50
4.3	-Conclusion de l'interprétation des résultats du Dsas :	54
4.4	- Représentation et interprétation des résultats du Surfer 13 :	54
5	Chapitre IV : Modélisation de la dynamique côtière par le Mike 21.....	58
5.1	- Résultats de simulation de l'état initial du site:	58
5.1.1	- Action des houles de direction Nord Ouest (315N°) :	59
5.1.1.1	- Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	59
5.1.1.2	VI.2.2- Courantologie (Hydrodynamic, HD) :	59

5.1.1.3	- Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	60
5.1.2	- Action des houles de direction Nord 360° :.....	62
5.1.2.1	-Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	62
5.1.2.2	- Courantologie (HydroDynamic, HD) :.....	62
5.1.2.3	-Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	63
5.1.3	-Action des houles de direction Nord Est 45° :.....	64
5.1.3.1	- Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	64
5.1.3.2	- Courantologie (HydroDynamic, HD) :.....	64
5.1.3.3	- Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	65
5.2	-Résultats de simulation état récent :.....	66
5.2.1	-Action des houles de direction Nord-Ouest (315°N) :.....	66
5.2.1.1	- Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	66
5.2.1.2	-Courantologie (HydroDynamic, HD) :.....	67
5.2.1.3	-Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	68
5.2.2	- Action des houles de direction Nord (N360°) :	68
5.2.2.1	-Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	68
5.2.2.2	-Courantologie (HydroDynamic, HD) :.....	69
5.2.2.3	-Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	70
5.2.3	-Action des houles de direction Nord-Est (N45°) :.....	70
5.2.3.1	- Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	70
5.2.3.2	-Courantologie (HydroDynamic, HD) :.....	71
5.2.3.3	-Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	72
5.3	- Comparaison entre l'état initial et l'état actuel sur la plage Flot Bleu :.....	73
5.3.1	- Comparaison avant/après selon l'impact de la houle de direction N315° :.....	73
5.3.1.1	- Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	73
5.3.1.2	-Courantologie, (HydroDynamic, HD) :.....	74
5.3.1.3	-Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	75
5.3.2	- Comparaison avant/après selon l'impact de la houle de direction N360° :.....	76
5.3.2.1	-Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	76
5.3.2.2	-Courantologie (Hydrodynamic, HD) :	77
5.3.2.3	-Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :.....	78
5.3.3	-Comparaison avant/après mise en place des brise lames pour la houle de direction Nord Est 45° :	79
5.3.3.1	-Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :	79

5.3.3.2	-Courantologie (HydroDynamic, HD) :.....	80
5.3.3.3	-Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :	81
6	Chapitre V : Evolution de la qualité des eaux de baignade	83
6.1	-Les principaux risques sanitaires dus à une pollution microbiologique des eaux de baignade :.....	83
6.2	-Les principaux risques sur la santé humaine occasionnés par une pollution physico-chimique des eaux de baignades :.....	85
6.2.1	- Matériaux de brise lames :	86
6.3	-Résultats de l'analyse du phytoplancton toxique :	86
6.4	-Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques :.....	87
6.4.1	-Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'année 2021 :... 88	
6.4.1.1	- Résultats de l'analyse physico-chimique prés-saison estivale de l'année 2021 : 89	
6.4.1.2	-Résultats de l'analyse physico-chimique pendant la saison estivale de l'année 2021 : 89	
6.4.2	-Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'année 2022 :... 90	
6.4.2.1	- Résultats de l'analyse physico-chimique prés-saison estivale de l'année 2022 : 91	
6.4.2.2	-Résultats de l'analyse physico-chimique pendant la saison estivale 2022 :.. 91	
6.5	-Bilan sur l'analyse des paramètres physico-chimiques sur les deux années :.....	92
6.6	-Résultats des analyses bactériologiques :.....	92
6.6.1	- Résultats de l'analyse bactériologique prés saison estivale en 2021 :.....	93
6.6.2	-Résultats de l'analyse bactériologique pendant la saison estivale de 2021 :	94
6.7	- Bilan de la qualité bactériologique des eaux de baignade en 2021 :.....	95
6.7.1	-Résultats de l'analyse bactériologique prés-saison estivale 2022 :.....	95
6.7.2	-Résultats de l'analyse bactériologique pendant la saison estivale de 2022 :	96
6.8	- Bilan de la qualité bactériologique des eaux de baignade de l'année 2022 :.....	97
6.9	-Conclusion :.....	98
6.10	-Interprétation des résultats de l'évolution de la température des eaux de la plage Flot Bleu : 99	
6.10.1	-Résultats de la simulation numérique par Mike21 pour une période calme (T=6s) 99	
6.10.1.1	- Evolution de la température des eaux pour la direction N°315 :.....	99
6.10.1.2	- Evolution de la température des eaux pour la direction N360° :.....	100
6.10.1.3	- Evolution de la température des eaux pour la direction N°45 :.....	101

6.10.2	- Résultats de la simulation numérique par Mike21 pour une période agitée (T=8s) :	102
6.10.2.1	- Evolution de la température des eaux pour la direction N°315 :	102
6.10.2.2	- Evolution de la température des eaux pour la direction N360° :	103
6.10.2.3	- Evolution de la température des eaux pour la direction N45° :	104
7	Chapitre VI : Analyse de la littoralisation.....	107
7.1	Impact du changement climatique sur la bande littorale :	107
7.2	Impact anthropique sur la zone littorale :	111
7.2.1	-Artificialisation de l'Oued Réghaia :	113
7.2.2	-Occupation de l'espace littoral :	114
7.2.3	- Etude de l'urbanisation:	118
7.2.4	-Pollution domestique :	120
7.3	- Bilan des solutions de la plage Flot Bleu :	121
	Conclusion générale :	122

Liste des abréviations et acronymes :

DSAS : Digital Shoreline Analysis System

EPR: End Point Rate

GIEC: Groupe Intergouvernemental d'Evaluation du Climat.

GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtières

HD: Hydrodynamic

Laboratoire HUPE : Etablissement public de l'Hygiène Urbaine et de la Protection de l'Environnement de la wilaya d'Alger.

LEM : Laboratoire d'Etude Maritime

LRR: Linear Rate of Regression

SIG: Système d'Information Géographique

ST: Sediment Transport

SW: SeaWave

UTM: Universal Transverse Mercator

WGS: World Geodesic System

1

Introduction Générale :

-Introduction générale :

La notion de trait de côte est à la fois évidente (séparation terre/mer) et éminemment mouvante puisqu'elle varie en fonction du temps, qu'elle qu'en soit l'échelle d'où la difficulté de définir le trait de côte ou comment « *représenter le variable dans sa variabilité, le fixer tout en laissant le mouvement être un mouvement* » (Heideger).

En d'autres termes, le littoral est de par sa nature un système variable selon des facteurs endogènes à ce dernier ; virulence et fréquence des tempêtes, régime des marées, changement climatique. Si l'on y rajoute les facteurs exogènes dans le principal est l'impact anthropique, le caractère variable n'en est qu'accentué, mais jusqu'à quel point et le changement survenu est-il irrémédiable ?

Notre zone d'étude se situe sur la bande littorale la plus chargée par l'occupation urbaine du territoire algérien du fait de son statut de capitale. Cet engouement urbanistique est en ascension exponentielle en accord avec l'augmentation démographique de ces dernières années. Cette pression sur la frange littorale va fragiliser le système côtier en diminuant les surfaces de dissipation de l'énergie hydrodynamique surtout en saison hivernale où les houles atteignent leur maximum de hauteur générant le phénomène de franchissement qui peut donner lieu à une inondation si l'on rajoute le fort taux de précipitations qui vont générer des crues dans les cours d'eau qui s'acheminent à travers le bassin versant. Ce dernier n'ayant plus de couvert végétal dû à l'occupation anarchique anthropique, qui aurait pu freiner les eaux des crues des cours d'eau, le débit des eaux conjuguée aux franchissements des vagues ne peut que conduire à une inondation de la bande côtière occasionnant des dommages matériels et humains.

La commune d'Ain Taya n'as pas échappé à ce phénomène. Le but de ce mémoire est d'identifier l'impact des pressions anthropiques générées de par la construction d'ouvrages de protection de type lourd qui vont influencer directement ou indirectement le régime des courants et le transit sédimentaire ayant pour conséquence une perturbation dans la dynamique naturelle d'érosion/accumulation de la plage et d'autre part, les conséquences du non respect du texte de loi littoral 02-02 , article 18 qui atteste que « Sans préjudice des dispositions légales en vigueur en matière de servitudes de non-aedificandi et sous réserve du cas des activités et des services pour lesquels la proximité immédiate de la mer est une nécessité, ces servitudes peuvent être portées à trois cents (300) mètres pour les motifs liés au caractère sensible du milieu côtier ».

La construction des ouvrages longitudinaux d'avant plage dits brise-lames qui ont pour but de protéger la côte de la virulence des vagues en brisant ces dernières avant leurs déferlements sur la plage, perturbe la dynamique sédimentaire de la côte, la géomorphologie de la plage, et les paramètres hydrodynamiques dont l'érosion, l'ensablement et la qualité des eaux aux abords des brise lames.

Pour analyser ce système complexe de par les variables qui le composent, nous allons suivre un cheminement sur une échelle spatio-temporelle large afin de permettre une visualisation du développement de notre zone d'étude en utilisant des outils de gestion du littoral dans une

optique de développement durable en suivant des méthodologies pertinentes avec des données récentes, et des outils technologiques.

Une recherche bibliographique à été consacrée pour amasser le plus d'informations possible sur les travaux et recherches effectués sur la zone d'étude (Ouvrages, Thèses de fin d'études, Articles Scientifiques,..) ainsi qu'une récolte de différentes données dans plusieurs établissement et organismes étroitement liés aux travaux de gestion du littoral (E.N.S.S.M.A.L, S.O.G.R.E.A.H, L.E.M, S.O.T.R.A.M.EST, O.N.M, D.T.P, ...)

La réalisation de ce mémoire s'est effectuée selon la structuration en forme de plan suivante :

Introduction

Chapitre I : Généralités sur la zone d'étude

Chapitre II : Matériel et Méthode

Chapitre III : Etude de l'évolution diachronique du trait de côte

Chapitre IV : Modélisation de la dynamique côtière par le Mike 21

Chapitre V : Evolution de la qualité des eaux de baignade

Chapitre VI : Analyse de la littoralisation

Conclusion.

Chapitre I : *Généralités sur la zone d'étude*

2 Chapitre I: Généralités sur la zone d'étude

Avant d'entamer l'étude d'impact, il est nécessaire de présenter la zone d'étude selon tous les aspects qui peuvent la définir, de sa géologie et hydrographie jusqu'à la description des ouvrages longitudinaux qui y figurent sur une échelle de temps large, car le but de cette étude est justement d'identifier les différents changements, qu'ils soient néfastes ou positifs, avant et après la mise en place des brise lames.

2.1 -Situation géographique de la zone d'étude :

Le site d'étude « plage Surcouf » se situe dans la commune d'Ain Taya, à une vingtaine de kilomètres à l'Est d'Alger, au niveau des latitudes $36^{\circ}47'34''$ à $36^{\circ}47'18''$ et des longitudes $3^{\circ}18'7''$ à $3^{\circ}18'47''$.

La zone d'étude s'étend sur un linéaire côtier d'environ 1Km. Elle est délimitée à l'Ouest par l'extrémité Est de la promenade de Tamaris et à l'Est par l'extrémité Ouest de la plage Décaplage. Cette délimitation est illustrée par les photos satellitaires (Google Earth) données ci-après.



Figure 2.1: Situation géographique de la zone d'étude à partir d'une image satellitaire (SAS Planet, 2022)

2.1.1 -Description de la zone d'étude :

Le site de Surcouf correspond à une avancée du littoral protégée par des bancs de rochers émergents.

A l'arrière de ces haut-fonds, une plage festonnée s'est formée mais la quantité de sable est faible sur les fonds principalement rocheux

Le long du haut de plage, et suivant la forme concave donnée par la mer, des constructions ont été réalisées trop près du bord de l'eau. De ce fait, les fluctuations de la plage, existantes entre l'hiver et l'été, ne peuvent se produire naturellement sans atteindre les aménagements et inquiéter les riverains (SOGREAH, 1984).

Par contre, le site balnéaire est très agréable, surtout pour la saison estivale, c'est pourquoi il semble absolument nécessaire de conserver la plage sans y construire des ouvrages trop importants.

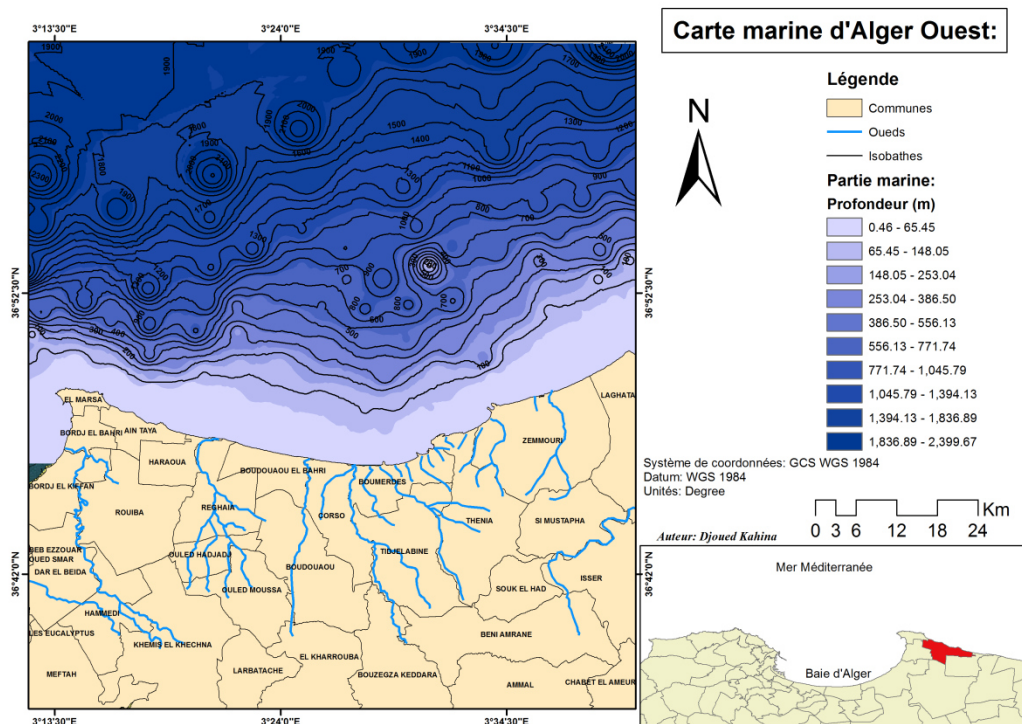


Figure 2.2: Carte marine et réseau hydrographique de la côte Est Algéroise

Les problèmes d'érosion de la plage se posent sur le front littoral d'une longueur approximative de 500m, entre la zone protégée par une barre rocheuse à l'Ouest et la plage Est.

Entre les rochers du large existe une passe principale qui permet le passage des houles, lesquelles provoquent le lessivage de la plage de sable située en face. C'est en cet endroit que la plage était très réduite et que les dégâts étaient importants avant la construction des ouvrages longitudinaux.

Etant donné la grande irrégularité des fonds et la présence de nombreux rochers émergés ou non, il est difficile d'évaluer la propagation et la force de la houle jusqu'au rivage.

Par ailleurs, ce rivage étant relativement abrité, il a été possible de construire des habitations, jusqu'au bord de mer, à des côtes très basses. De ce fait les houles de tempête constituent et constitueront de plus en plus une menace.

C'est pourquoi la solution envisagée pour y remédier a consisté à recréer une zone suffisamment abritée par des brise lames. Dans un premier temps ceux-ci protègent partiellement ou totalement des houles de tempête. Mais, étant donné l'existence d'une vaste plage sableuse à l'Est, il est probable que la zone abritée constituera un piège à sable et permettra la reconstitution des plages érodées.

Il est difficile, dans un cas comportant une bathymétrie aussi compliquée, de prévoir les volumes de sable qui pourront être fixés. En tout cas, la reconstitution d'une plage suffisamment large serait la meilleure protection naturelle pour les habitations menacées.

2.2 -Cadre géologique régionale :

La région d'étude fait partie du Tell Central. Elle est située au début de bombement du Sahel opposé au Synclinal Plio-Quaternaire de la Mitidja et l'empêche de faire contact direct avec la mer Méditerranée.

2.2.1 -Géologie du site d'étude :

Les formations dunaires du Sahel :

La bordure Nord du Sahel allant d'Ain Taya à Alma Marine (au niveau de Réghaia) est constituée de terrains d'âge Quaternaire. La superficie de cet affleurement est d'environ 70 km².

2.2.2 -Géologie de la zone d'étude :

La géologie de la zone d'étude est constituée par un substratum marneux du Plaisancien. Au-dessus des marnes, on trouve des sables dunaires fins, légèrement argileux par endroits, souvent cimentés à la base en un grès calcaire constituant de petites corniches. Il y a également de petits niveaux de calcaires coquilliers et de poudingues. L'épaisseur de cet ensemble n'excède pas 30m, elle est fonction de la topographie actuelle et de celle du toit des marnes.

D'après la carte géologique d'Alger N° 21 au 1/50 000^{ème}, on peut s'attendre à trouver sur le site d'étude, sous un couvert végétal ou un remblais de surface les formations géologiques.

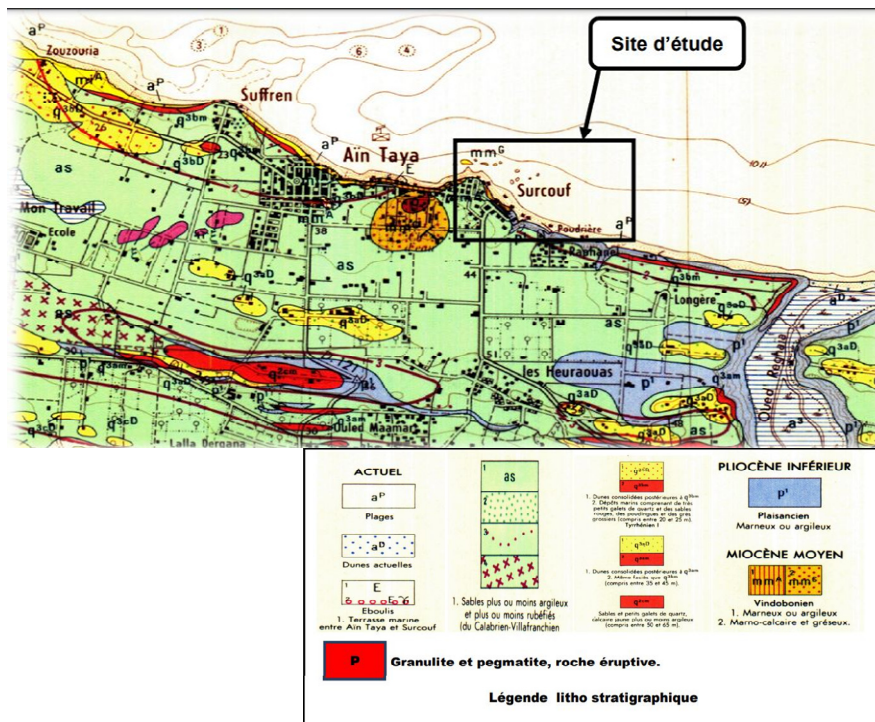


Figure 2.3: Extrait de la carte géologique d'Alger N°21, réalisé par A. AYME (1948-1962) publiée en 1964.

Du plus récent au plus ancien, ces formations sont :

1. Terrain actuel et quaternaire :

- a^P : Formation actuelle des plages
- a^D : Formation des dunes actuelles
- E : Eboulis de pente, terrasse marine
- a^S : Sable plus ou moins argileux et rubéfiés (dunes consolidées) du Calabrien-Villafanchien.

2. Terrain tertiaire supérieur (neogene) :

- P^1 : Marneux ou argileux de l'époque Pliocène et l'étage Plaisancien, ces terrains sont visibles au niveau des falaises entre Surcouf et Oued Réghaia.
- MMA : Marneux ou argileux de l'époque Miocène et l'étage Vindobonien, ce terrain forme la falaise entre Ain Taya et Surcouf.
- MMC : Marneux-calcaire et gréseux de l'époque Miocène et l'étage Vindobonien, ce terrain forme une grande patate au niveau de la route qui mène de Surcouf vers Ain Taya, juste au niveau de la polyclinique (partie limite Ouest).

3. Roche éruptive :

- p : Granulite et pegmatite, à mica blanc, roches anciennes, dont les principaux filons ont été indiqués d'une manière schématique, dans la zone des gneiss que ces roches pénètrent en apophyses multiples ; les pegmatites offrent parfois la structure hébraïque, les cristaux de tourmaline y sont fréquent. Cette formation coupe marneux-calcaire du Miocène.

Le site d'étude est constitué sur le plan géologique de :

- Un substratum marneux ondulé et mamelonné, d'âge Miocène et Pliocène inférieur, la direction des bancs est de Nord Ouest – Sud Est, le pendage est supérieur à 45° vers le Nord Est (direction de la mer), cette direction du pendage dans cette falaise est considérée comme défavorable.
- Le substratum est surmonté en discordance (discontinuité spatiotemporelle) par des terrains d'âge quaternaires détritiques et continental, de nature et épaisseur variables d'une zone à une autre.

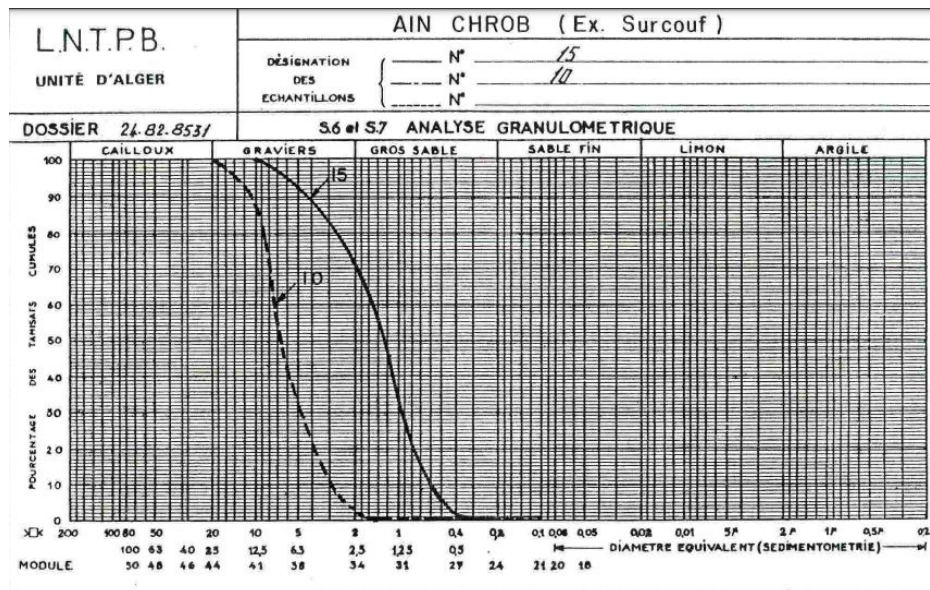


Figure 2.4: Analyse granulométrique des sédiments de la plage de Surcouf (SOGREAH, 1982).

Nature et répartition des sédiments :

- Fond rocheux ; l'action des houles et des courants est alors sans effet réel.
- Blocs de grosse taille (éboulis de falaise), galets, graviers ; ce type de matériau n'est déplacé qu'en bordure du littoral (zone de déferlement) où dans les cours d'eau et leurs débouchés en mer en période de débits soutenus.
- Sables plus ou moins grossier que l'on peut trouver jusqu'à des fonds de -25m en Méditerranée.
- Vases dans lesquelles on englobe les limons, boues, argiles, que l'on trouve ici dans les fonds marins au large des zones sableuses.

2.3 –Hydrologie de la zone d'étude :

D'orientation Sud-Nord, les bassins versants de la baie d'Alger sont drainés par un réseau hydrographique dense dont les quantités de précipitations ruisselées sont acheminées vers la mer par trois principaux oueds (El Harrach_ El Hamiz_ Réghaia).

L'oued Réghaia est le principal oued qui débouche directement dans le lac, il est aussi le plus important avec une longueur de 5,5Km et une profondeur de 17m. Son embouchure qui

se déverse en mer permet un échange de flux en apports solides et liquides entre la mer et le lac Réghaia. Ces échanges impactent l'évolution du transport sédimentaire et la quantité de sédiments charriés sur la bande littorale, c'est pour cela que l'influence de l'oued Réghaia sur la dynamique côtière de la zone d'étude est un aspect non négligeable.

2.3.1 Apport liquide de l'Oued Réghaia :

Ces données provenant de l'Agence National des Sources Hydriques de Blida ont été mesurées au niveau de la station hydrométrique de Réghaia entre 1986 et 1992. L'apport liquide moyen annuel était de 9.2 Millions de mètre cube (HM³) avec un minimum de 4,63 HM³ et un maximum de 17.42 HM³ (Bouakline, 2009). L'origine de cet apport incluait les eaux de ruissellement et les rejets domestiques et industriels (Zone industrielle de Réghaia comptant 29 unités industrielles).

Tableau 2.1: Distribution moyenne et mensuelle des apports liquides entre 1986 et 1992 (Bouakline, 2009)

	Sept	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Aoû
Q_{max} (m³/s)	0.796	1.036	1.042	3.038	2.335	2.717	1.205	2.104	1.423	0.676	0.523	0.338
Q_{min} (m³/s)	0.206	0.094	0.143	0.094	0.058	0.152	0.174	0.179	0.112	0.121	0.124	0.171
Apport HM³	0.887	0.764	0.646	0.770	0.586	0.866	0.949	1.002	0.735	0.621	0.748	0.628

2.3.2 –Apport solide de l'Oued Réghaia :

L'ensemble de la charge solide, provenant de du matériel érodé sur le bassin versant, lessivé par les pluies, déposés dans le lac, sont acheminés par le cours d'eau vers la mer, constituant un élément essentiel dans l'alimentation en sédiments du littoral. Cependant, depuis 1930, une digue transversale séparant partiellement le lac de l'oued Réghaia à obstrué l'écoulement naturel du cours d'eau, ce qui a pour conséquence une diminution dans la quantité des apports solides pourvus en mer.

2.4 -Initiation aux ouvrages de protection :

Les ouvrages destinés à la protection d'une côte contre l'action destructrice de la mer agissent soit par leurs poids, parce qu'ils détruisent une partie de l'énergie de la houle, soit parce qu'ils modifient dans un sens favorable les tendances hydrauliques le long de la côte.

Tableau 2.2: Avantages et inconvénients des ouvrages de protection du littoral en enrochement (CETMEF, 2005).

Avantages	
Durabilité	La plus part des enrochements résistent bien à l'usure et à l'attrition et conviennent parfaitement à l'environnement côtier.
Absorption de la houle	Ces ouvrages sont perméables et ont généralement des parements à faible inclinaison, ils absorbent donc aisément l'énergie de la houle et minimisent les conséquences néfastes de l'affouillement causé par les surfaces verticales réfléchissantes des murs chasse-mer et autres ouvrages.
Flexibilité	Ils sont faibles à modifier afin de tenir compte des changements de conditions hydrauliques.
Rentabilité	Ils peuvent être économiques, par exemple en utilisant des matériaux disponibles localement.
Impact visuel	Ils sont souvent considérés comme visuellement acceptable par comparaison avec d'autres formes d'ouvrages côtiers, tel que les grands murs de haut de plage ou les revêtements en béton en escalier.
Facilité de construction	Même avec des équipements limités, des ressources et des compétences professionnels restreintes, il est possible de construire des ouvrages qui fonctionnent correctement.
Tassement	Ces ouvrages flexibles peuvent s'adapter aux tassements et ne sont que modérément endommagés si les conditions de dimensionnement sont dépassées.
Maintenance	Les interventions de réparation sont relativement simples et n'exigent généralement pas la mobilisation d'équipements très spécialisés. Si les dommages sont légers, l'intervention de réparation peut consister en remplacement d'enrochements déplacés.
Inconvénients	
Sécurité	L'accès aux ouvrages est une source de préoccupation car il existe un risque pour le public de chuter entre les vides et d'y rester coincé.
Navigation	Les longs épis peuvent gêner la navigation des petites embarcations de loisirs et de navires de pêche. Il est parfois nécessaire de signaler les épis et les digues avec des éclairages ou des balises de marquage appropriés. Les ouvrages en enrochement immergés peuvent constituer un danger pour la navigation s'ils se trouvent à proximité des routes maritimes ou de zones de loisir très fréquentées.
Empreinte sur le littoral	Les revêtements et les épis en enrochement occupent plus de littoral que les murs de haut de plage verticaux et les épis en bois. Cette caractéristique peut être importante si le littoral est classé. Les limitations d'accès dues à la hauteur de plage nécessaire pour la maintenance rendent parfois les ouvrages en enrochement inappropriés à certains emplacements.

2.4.1 - Les murs et cordons d'enrochement :

Constituent des obstacles pour l'attaque frontale des vagues dont les assauts sont alors contenus. La mer ne peut plus avancer. Le trait de côte étant ainsi fixé, les aménagements de front de mer ne sont plus menacés d'endommagement par le recul du rivage, du moins tant que l'état des structures de protection leur permet d'être efficaces.

2.4.2 -Brise Lames :

Les brise lames ont été utilisés avec un succès maximal sur les côtes où le marnage est négligeable ou faible. Deux éléments contribuent au transport sédimentaire :

- Le transport dû au déferlement de la houle à l'oblique du trait de côte ;
- Le transport par les courants qui découlent des différences de hauteurs de houle.

Dans le cas d'un brise-lames, la différence de hauteurs de houle crée un courant à l'arrière de l'ouvrage, quelle que soit la direction de la houle incidente. Ce courant, associé à des hauteurs de houle réduites, entraîne le dépôt de matériaux derrière les brise lames.

En l'absence d'autres influences, les sédiments seront transportés à l'arrière de l'ouvrage et formeront un **tombolo** ou un **salient**, comme cela est illustré dans la figure4. Selon les dimensions de l'ouvrage et sa distance au large par rapport à la longueur d'onde de la houle incidente (et l'intervalle entre les ouvrages voisins s'il y en a plus d'un), un tombolo peut se rattacher (ou pas) à l'ouvrage (CETMEF,2005)

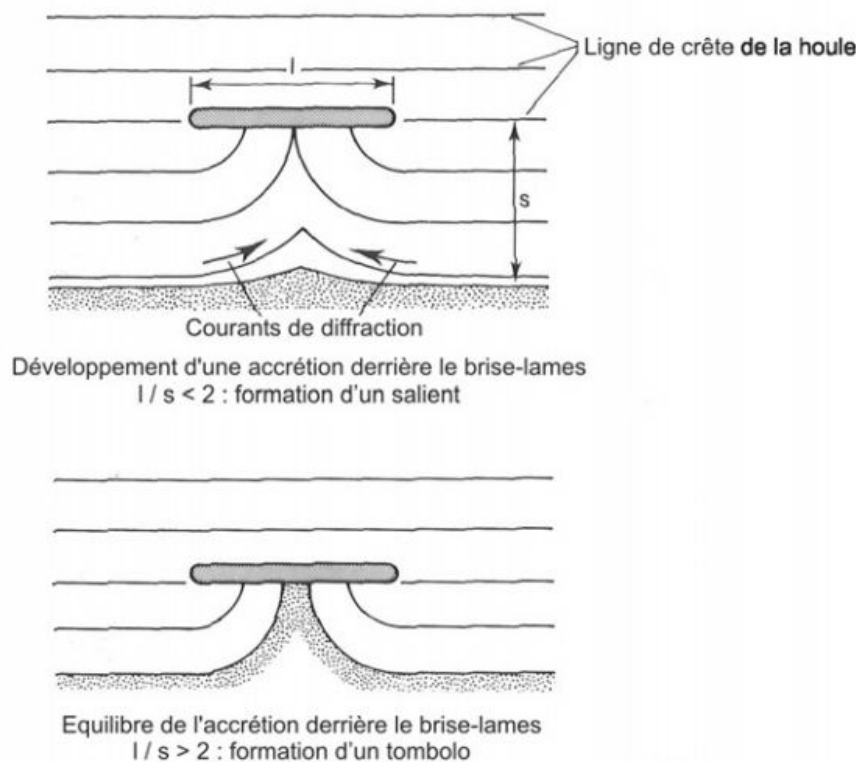


Figure 2.5: Brise lames, formation de tombolo et saillies, (CETMEF, 2005)

Il peut être intéressant ou non de créer un tombolo derrière l'ouvrage. Le choix se fait cas par cas :

- Le transport longitudinal de sédiments est nécessaire pour éviter l'érosion en aval _ la création d'un tombolo n'est pas conseillée ;
- Une grande plage d'agrément est nécessaire derrière les brise lames_ si cela est le cas, les tombolos peuvent se former ;

- Le littoral nécessite une protection_ si cela est le cas, les tombolos peuvent se former.

Si le brise lames est positionné de telle manière qu'un tombolo peut se former, il faut tenir compte des problématiques de sécurité du public, puisque ce dernier aura accès sans restriction à l'ouvrage.

Un brise lames doit être situé approximativement au début de la zone de déferlement. Il pourra ainsi influencer la première moitié inférieure de la zone active du littoral. En règle générale, il doit être situé à au moins trois longueurs d'onde de la houle du trait de côte, sur la base d'une longueur d'onde calculée à un point situé à environ une longueur d'onde de la ligne de déferlement (CETMEF, 2005). La longueur et l'espacement des brise lames va dépendre de la forme requise pour la plage. La formation de tombolos peut présenter un intérêt si l'on souhaite obtenir une plage de poche, auquel cas il est possible de les associer à des seuils. Dans d'autres cas, il peut être souhaitable que le profil de la plage subisse moins de modifications et qu'il y est moins d'interruptions du transport longitudinal, auquel cas la longueur des brise lames sera à peu près égale à leurs distance à la côte.

L'espacement entre les brises lames dépend de la réduction nécessaire de l'énergie de la houle à la côte, pour protéger le littoral ou éviter la perte du sédiment. Cette diminution de l'énergie est influencée non seulement par l'espacement (ou par la taille des ouvertures), mais également par la hauteur de crête des brise lames. Ainsi, les brise lames à la crête élevée limiteront de manière considérable l'action de la houle derrière l'ouvrage, ce qui peut encourager la formation de tombolos du fait de la diminution de l'énergie – en supposant que le transit littoral soit peu important.

L'impact des ouvrages en enrochement tel que le brise lames peut bien souvent dépasser tout ce que l'on peut imaginer de prime abord comme cité dans les éléments qui suivent :

- Un nouvel ouvrage en enrochement peut affecter la flotte de pêche locale en ce qui concerne l'accès aux zones de pêche et peut être considéré comme un danger pour la navigation dans les eaux situées à proximité de l'ouvrage.
- Les embarcations de loisir peuvent être affectées de la même manière que les bateaux de pêche dans la mesure où les variations de courants, les obstacles sous-marins (y compris les digues immergées), les plages suspendues et les limitations d'accès peuvent présenter des risques pour la navigation.
- La sécurité des zones de loisir est souvent un problème crucial lorsque les ouvrages sont situés près des zones très fréquentées par le public. Il y a souvent un risque (perçu) que des personnes grimper sur ce type d'ouvrage ne soient piégées dans les vides entre les blocs d'enrochement.
- La navigation est un problème majeur, en particulier lorsqu'on construit des brise lames de grande taille. Les cartes marines doivent être mise à jour et les ouvrages doivent porter la signalisation adéquate.
- L'impact de la montée du niveau de la mer et des changements climatiques doit être étudié. Différentes valeurs de la montée du niveau l'eau sont publiées dans le monde et le maître d'œuvre devra s'y référer pour déterminer les données à prendre en

compte dans les pays et aux emplacements envisagées. La hausse du niveau de l'eau implique aussi que l'ouvrage sera soumis à une houle plus importante vers la fin de sa durée de vie. Il faut en tenir compte lors du calcul du franchissement et de la stabilité.

- Les classifications environnementales déterminent souvent le type d'ouvrage à construire. Les littoraux sont souvent classés en vertu de différentes législations et ces restrictions spécifiques doivent être étudiées dès le début du processus.

Au niveau de notre zone d'étude dans le littoral du quartier Surcouf, la limite Ouest de la plage Flot Bleu est protégée naturellement par des bancs de rochers émergents, à partir de ces rochers des brises lames ont été aménagés pour lesquelles nous allons présenter les caractéristiques de réalisation :

Les brise lames sont au nombre de quatre et sont situés à une distance de la côte qui varie entre 70 et 120m.

Les deux brise lames situés à l'Ouest protègent la plage sur un linéaire côtier de 300m environ.

Les deux autres brise lames situés à l'Est permettent la protection et l'engraissement de la plage sur sa partie Est.

Les quatre brise lames étant situés sur des profondeurs relativement équivalentes et soumis à des houles identiques ont une même section type.

Leurs longueurs respectives d'Ouest en Est, sont les suivantes : 70m, 100m, 60m et 60m.

Pour ne pas nuire à l'aspect naturel et visuel du site, les ouvrages ont été construits avec une hauteur de couronnement la plus basse possible selon les modalités de réalisation. La cote la plus basse admise est (+1,15m) pour le noyau en tout venant. A partir de là, les ouvrages seront franchissables en tempête exceptionnelle mais lors de leurs conception ce problème aura été pris en compte par le maître d'œuvre.

2.5 -Conditions océanographiques :

2.5.1 -La marée et la variation du niveau de la mer :

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

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

En moyenne, la marée de pleine lune est de 25 à 30cm (marée de vives eaux) et celle de la nouvelle lune de 5 à 15cm (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 effectuer des fluctuations bien supérieures à la marée astronomique ; pour l'Algérie, ils peuvent provoquer des dénivellations qui peuvent atteindre 1m et masquer l'effet des marées.

A cela, il convient de considérer 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 (SOGREAH, 2013).

2.5.2 -Les courants :

Parmi les facteurs pouvant intervenir dans l'évolution et la morphologie du littoral algérien, on peut citer :

- *Courant de 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 200m. Il est encore très sensible au large de l'Algérois (vitesse = 0,7 nœud, soit 0,3 à 0,4 m/s) (SOGREAH, 2013).

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.

- *Courants dû à la marée ou induits par le vent :*

Les courants de marée, du fait du faible marnage des marées, sont négligeables voir même inexistantes.

Du fait de l'intensité plus tôt 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 (SOGREAH, 2013).

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 vent dominants venant du secteur Est à Est Nord-Est, vont donc avoir tendance à réduire ou annuler la dérive vers l'Est.

- *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 plus-tôt une direction Est-Ouest.

Les courants de houle sont localisés dans la zone comprise entre le déferlement et la côte, lorsque la côte 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 (rip currents), ces courants traversent la zone de déferlement et peuvent être importants et dépasser 1 m/s (2 nœuds).

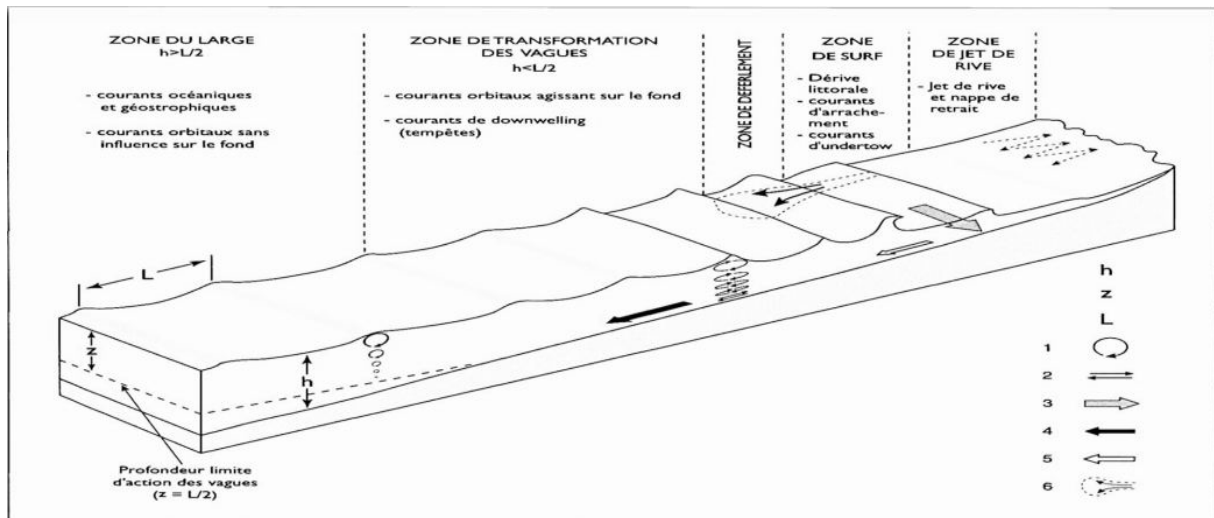


Figure 2.6: Les différentes zones d'action des vagues et les principaux courants pouvant agir près des côtes (Einsele, 1992).

h : profondeur ; z : distance sous la surface ; L : longueur d'onde des vagues ; **1** : courant orbital ; **2** : courant oscillatoire (sur le fond) ; **3** : dérive littorale ; **4** : courant de downwelling ; **5** : courant d'undertow ; **6** : courant d'arrachement.

2.5.3 -Les Houles :

Le site est exposé à toutes les houles en provenance d'un secteur au large compris entre $N295^\circ$ et $N75^\circ$.

Les caractéristiques statistiques de la houle à la côte pour toutes les directions confondues sont présentes dans le tableau suivant :

Tableau 2.3: Tableau des caractéristiques de la houle à la côte (LEM/SOGREAH, 2013)

CARACTERISTIQUES DE LA HOULE A LA COTE

Houle	Temps de retour associé (ans)	Amplitude (m)
Biennale	2	6.25
Quinquennale	5	7.20
Décennale	10	7.90
Vingtennale	20	8.50
Cinquantennale	50	9.40

2.6 -Géomorphologie du site d'étude subdivisée en trois zones :

Selon plusieurs visites de terrain effectuées par le laboratoire d'étude maritime pour déterminer l'état des lieux de la zone d'étude sur le plan éboulement et glissement, le site d'étude a été subdivisé en trois zones (figure 2.7). Le classement de ces zones est basé en fonction de l'état de dégradation des hauts talus de la falaise et les risques qu'ils peuvent engendrer sur l'effondrement des habitations et les pertes de vies humaines. Ce classement, est établi par ordre décroissant d'éboulement et de risque de glissement.

-Zone III : Zone classée à haut risque :

Il s'agit de la partie Ouest du site d'étude (coté d'Ain Taya). Cette zone a déjà connu plusieurs glissements dans le temps avant même la construction des habitations. Ces glissements se sont traduis par des éboulis de pente comme mentionnés sur la carte géologique d'Alger N21 (figure 2.3), les levés géologiques ont été effectués entre 1948 et 1962.

On observe également des éboulements et glissements récents survenus après la construction des habitations. Ces derniers sont illustrés par la disparition de quelques terrasses et clôtures des habitations construites aux abords des falaises. Ce phénomène d'instabilité est causé et aggravé par l'intervention des riverains par effets d'entraînement.

Cette zone est caractérisée par une falaise abrupte qui se découpe en un haut talus et bas talus :

A. Bas Talus :

Situé au niveau du rivage, on y observe des éboulis de pente avec une variation dans la dimension des blocs et dans le degré d'altération de ces derniers ce qui démontre que cette zone a subit plusieurs glissements successifs dans le temps. La nature des blocs

est du sable grossier sain et altéré, des blocs de granulit et des sables argileux non-consolidés.

B. Haut Talus :

La géologie de cette falaise est constituée par des sables plus ou moins argileux, par des marnes argileuses non consolidées, par du sable grossier plus ou moins consolidé (poudings) qui présente des traces de dissolution et fragmentation en blocs, ainsi qu'un conglomérat de base. Cette formation du quaternaire détritique et continental d'âge Tyrrhénien est en discordance sur les marnes du Miocène moyen (MMA).

-Zone II : Classée à risque dans l'avenir proche :

C'est la partie Est du site d'étude, localisée entre le centre ville de Surcouf et la limite Est du projet. Deux glissements majeurs sont visibles du haut talus jusqu'au bas talus de la falaise, le premier est situé juste après le centre ville de Surcouf au niveau du lotissement Amar Boudhar. Quand au deuxième, il est situé à la limite extrême Est du site.

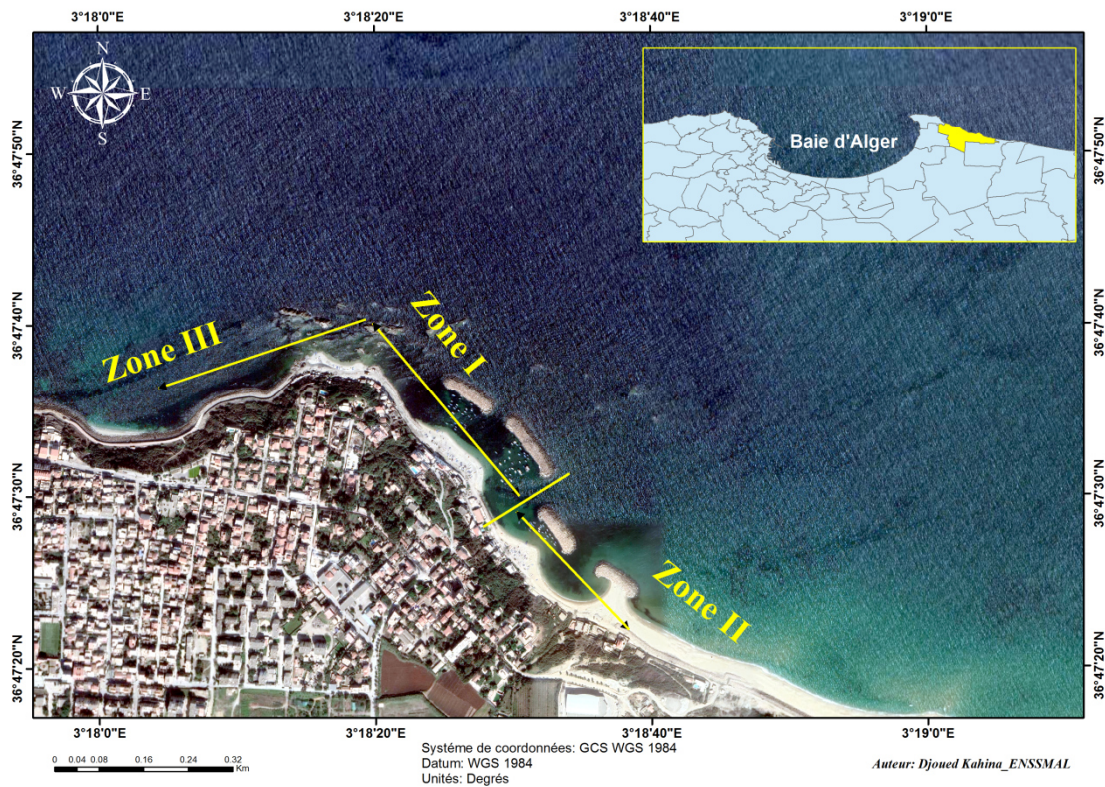


Figure 2.7: Image satellitaire du site d'étude subdivisé en trois zones selon la géomorphologie des terrains.

Cette zone est caractérisée par une falaise à pente plus ou moins douce, constituée géologiquement parlant de sables plus ou moins argileux et plus rubéfiés du Calabrien Villafranchien. Cette formation est discordante sur les marnes et argiles du Plaisencien (Pliocène inférieur).

-Zone I : Zone classée plus ou moins stable :

C'est la partie centrale du site, située entre les deux autres zones. Aucun glissement important n'est constaté à part des glissements ponctuels au niveau de quelques habitations.

Cette zone est caractérisée par une falaise à pente douce, plus ou moins stable par rapport au reste du site, les habitations sont construites sur la marne du substratum. La formation du quaternaire détritique commence à s'amincir dans cette zone et disparaît complètement vers le centre ville de Surcouf.

La stabilité momentanée de cette zone est liée à sa situation géographique par rapport aux affleurements rocheux à l'intérieur de la mer (marneux, calcaire et gréseux du Miocène inférieur, MMC). Ces affleurements rocheux ont servi comme une barrière de protection contre l'érosion marine, car la ligne de rivage est parallèle à la morphologie de la falaise. L'énergie des vagues est dissipée avant qu'elle n'atteigne le bas de talus qui est constitué d'une marne fissurée et altérée sur toute sa totalité.

2.6.1 -Les coupes géologiques de la falaise synthétisées comme suit :

- Au niveau de la zone III, la formation de quaternaire est détritique (sable, grès et conglomérat), la direction de cette série est d'Est-Ouest et le pendage est presque horizontal.(figure 2.8)
- Au niveau de la zone II, la série de quaternaire est marneuse argileuse.
- La série du quaternaire est inexistante au niveau de la zone I

2.7 -Bilan de l'étude géologique et géomorphologique :

- Il ressort que l'instabilité du site a été favorisée par la géomorphologie des falaises, la nature géologique du substratum et les terrains du quaternaire ; à ces paramètres naturels, on peut ajouter
- l'action des riverains telle que la réalisation de murs de clôture et d'accès, de piscines et de terrasses aux abords des falaises. C'est ce qui a généré et accentué certains phénomènes de glissement et d'éboulement.
- La nature géologique du substratum est marneuse dont la composition minéralogique (ciment et gain) est constituée essentiellement de 30 à 70% de carbonates (Ca CO_3).
- « Le phénomène de l'altération, c'est la modification et l'altération des propriétés physico-chimiques des minéraux et donc des roches par les agents extérieurs, essentiellement atmosphériques et l'eau (superficielle et souterraine). »

Dans notre site d'étude, la marne est fissurée et exposée en permanence à l'eau (la nappe du quaternaire, les eaux de pluie, l'assainissement illicite et l'eau de mer). La marne qui est fragilisée par l'altération chimique est facilement détruite par les actions d'érosion marine (altération mécanique).

Les formations du quaternaire (Tyrrhéniennes) en discordance sur le substratum marneux sont constituée par un matériau sédimentaire majoritairement détritique et potentiellement liquéfiable au moment de son dépôt. La stratification de ces terrasses est interrompue par des figures de déformation synsédimentaires ou sismicité.

2.7.1 -Pour la zone III :

Le phénomène d'instabilité permanent et de destruction de la falaise de Surcouf est classique dans le littoral algérois. Après l'attaque des vagues sur le bas de la falaise, les différentes étapes de l'érosion mécanique et chimique, qui sont responsables de la destruction et de l'instabilité de la falaise, sont schématisés dans la (figure1.9). Ce cycle classique de destruction est récurrent dans le temps, il peut se produire dans l'immédiat, après la dissolution définitive de la matrice carbonatée, un autre cycle d'éboulis de pente qui sont visibles en bas de talus.

2.7.2 -Pour la zone II :

Le glissement est provoqué par la circulation des eaux de la nappe du quaternaire et les infiltrations des eaux superficielles (pluviales).

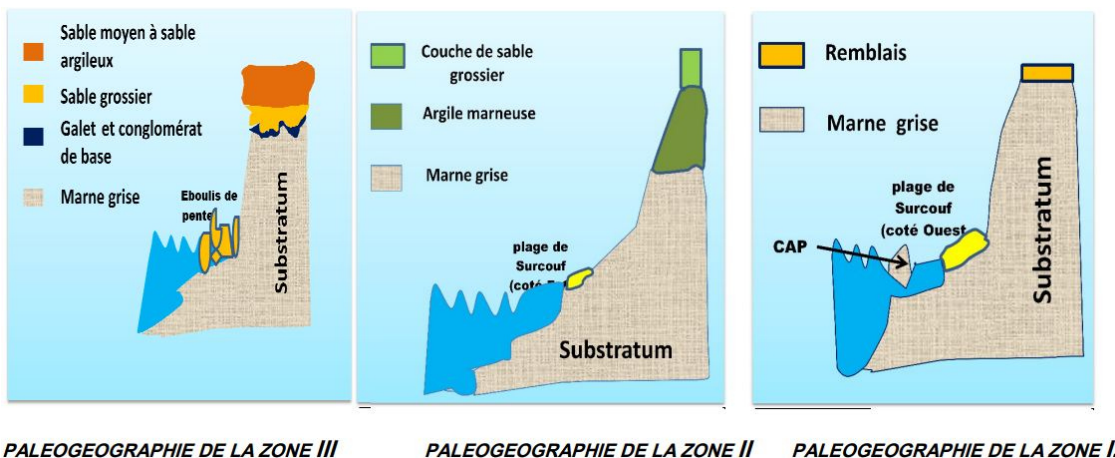


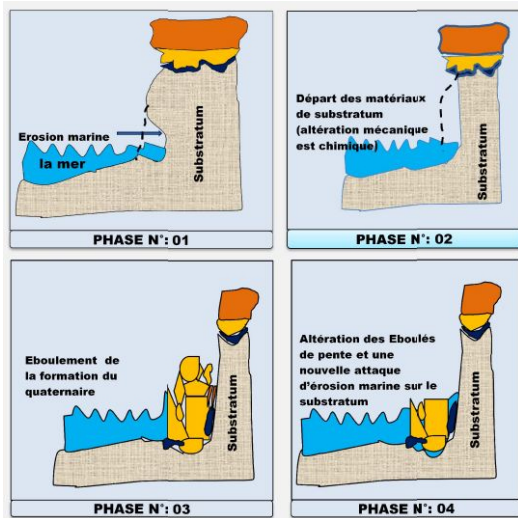
Figure 2.8: Schémas des coupes paléogéographiques des trois zones du site d'étude (LEM/SOGREAH, 2013)

Cette circulation se fait à travers :

- Les argiles marneuses du Plaisancien (Pliocène inférieur).
- La discordance qui se trouve entre la limite des argiles marneuses du plaisancien et les formations marneuses ou argileuses et marno-calcaires et gréseuses du Vindobonien (Miocène moyen).

2.7.3 Pour la zone I :

Cette zone est considérée plus ou moins stable dans l'immédiat (absence des formations du quaternaire).



Mais la circulation et la présence d'eau à travers les fissures, peut transformer le substratum marneux qui est une roche dure en une roche très fragile et plastique.

Figure 2.9: Schéma de destruction de la falaise dans la zone III par érosion marine (LEM/SOGREAH, 2013).

2.8 -Sismicité :

Le site d'étude est situé dans la zone sismique N° III, où la sismicité est la plus élevée du territoire national. Ce site rassemble malheureusement toutes les conditions défavorables ou pénalisantes pour les constructions qui sont citées dans le règlement parasismique algérien RPA 1999 version 2003, à savoir :

- Présence de failles reconnues actives.
- Zones suspectées de liquéfaction.
- Terrains instables :
 - Pentes instables, abords de falaises, rives et berges sujettes à affouillement.
 - Terrains tassant gorgés d'eau, mal drainés.
 - Terrains susceptibles de s'effondrer sous l'effet des secousses.
 - Présence de cavités souterraines.
 - Présence de remblais non compacté.
- Topographie superficielle accidentée :
 - Crêtes, pitons rocheux
 - Abords de changement de pente important
- Présence de formations géologiques différentes (terrain Quaternaire en discordance sur des terrains du Pliocène inférieur et Miocène moyen).

Le site d'étude est classé comme indiqué plus haut dans la zone de séismicité élevée, un des exemples est le tremblement de terre enregistré au niveau de la commune d'Ain Taya en 2003 qui a conduit à l'interruption des travaux de réalisation des ouvrages de protection.

La zone sismique III où est localisée notre zone d'étude, est caractérisée par une période de retour de 30 à 40 ans et un séisme d'une magnitude parfois supérieure à 6 sur l'échelle de Richter, entraînant des dégâts importants avec des accélérations sismiques élevées.

Chapitre II : *Matériel et Méthode*

3 Chapitre II : Matériel et méthode

3.1 - Méthodologie de l'évolution diachronique du trait de côte :

3.1.1 - Aperçu du logiciel ArcGIS 10.3 (Système d'Information Géographique) :

Arc-Gis est un système complet qui permet de collecter, organiser, gérer, analyser, communiquer et diffuser des informations géographiques.

Différentes couches d'informations spatiales peuvent être manipulées offrant la possibilité d'analyser une ou plusieurs couches sous le contrôle des autres. Le seul lien entre ces différentes couches est le lien spatial, c'est-à-dire, l'appartenance au même espace géographique et ayant le même système de coordonnées (Asbai, 2013).

Il représente une infrastructure pour la création de cartes qui peuvent être utilisées dans un large éventail d'applications, incluant la planification et l'analyse, la gestion d'actifs, la sensibilisation opérationnelle, les opérations sur le terrain telles que l'inspection mobile et le déploiement d'urgence, les études de marché, la gestion des ressources, la logistique, l'éducation et la sensibilisation.

Il est prisé par les professionnels pour sa capacité à résoudre les problèmes, faire un meilleur usage des ressources, anticiper et gérer les changements et prendre de meilleures décisions.

Il est constitué de plusieurs extensions dont celles-ci qui ont été utilisées pour cette analyse :

3.1.2 - Interface d'ArcMap :

C'est l'application principale d'ArcGis qui permet de créer et modifier des jeux de données de différente nature (Raster, Vecteur). C'est avec son interface qui permet la superposition de couches de données ayant la même référence spatiale, que les cartes sont réalisées.

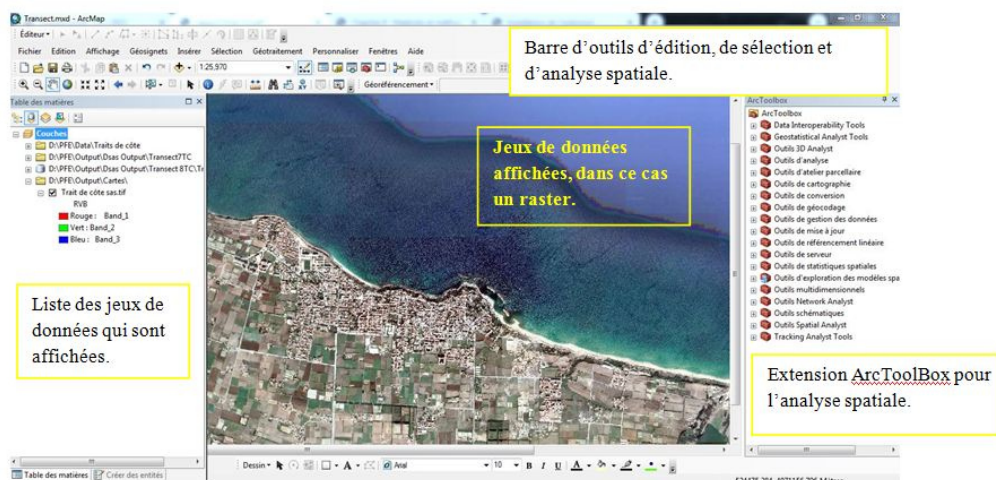


Figure 3.1: Certaines fonctionnalités de l'extension Arc-Map du logiciel Arc-Gis 10.3

3.1.3 - Interface ArcCatalog :

Cette interface organise et hiérarchise les documents et opérations effectuées sur ArcGis. C'est un classeur de dossier rangé par nature du document (Input/Output), sa localisation sur votre ordinateur, offrant les différentes fonctionnalités pour transformer ou créer de nouvelles entités dans votre fenêtre de travail.

Le type d'information qui peut être pris en charge par ArcCatalog sont des bases de données dites 'Géodatabase', contenant des classes d'entités et des fichiers de forme soit raster ou vecteur constituant un jeu de données multiple.

3.1.4 -Interface Dsas4.3 (Digital Shoreline Analysis System):

Ce système d'analyse digitale du trait de côte, est une extension gratuite d'ArcGis, qui étudie l'évolution de la bande côtière en calculant des statistiques sur le taux de changement pour une série temporelle de vecteurs de traits de côte. Développé depuis les années 1990 par l'US Geological Survey, Dsas fournit une méthode normalisée qu'on peut répéter pour le calcul de l'évolution statistique tout en analysant les changements passés, présents et futurs du littoral (Thieler et al, 2009).

Le calcul du taux d'évolution du trait de côte nécessite au préalable la mise en place d'au moins deux traits de côte numérisés à différentes dates. Le principe général de l'outil DSAS est de mesurer les écarts entre les traits de côte d'une même série et de calculer les statistiques des taux d'évolution (en m/an). Pour cela, l'exploitation de l'outil demande au préalable une mise en forme rigoureuse des données dans une géodatabase personnalisée, la création d'une ligne de base et de transects équidistants, une estimation de l'incertitude liée à la méthode ainsi que le choix des indices relatifs à l'évolution du trait de côte (Juigner et al., 2012 ; Crowell et al., 1994 ; Faye et al., 2011). Lorsque tous les paramètres d'entrée sont correctement renseignés, le DSAS génère automatiquement les transects selon le pas de mesure choisi. Les transects, perpendiculaires aux linéaires côtiers, permettent de mesurer les écarts entre les traits de côte. C'est sur cette base que les taux moyens de déplacement des traits de côte sont calculés sur chaque transect.

À partir de ce moment, il est nécessaire de créer une géodatabase c'est-à-dire un environnement qui favorise le calcul statistique. Il s'agit notamment de créer deux entités : une première entité contenant une ou plusieurs lignes de référence nommées baseline. Celle-ci se situe en retrait du trait de côte, et les transects générés lui sont perpendiculaires. On a une seconde entité constituée de traits de côte déjà numérisés sur ArcMap nommée shorelines. Ces deux entités sont incluses dans la zone tampon (buffer shoreline) qui permet de stabiliser l'espace linéaire dans lequel les traits de côte ont été numérisés.

3.1.5 -Méthodologie du DSAS :

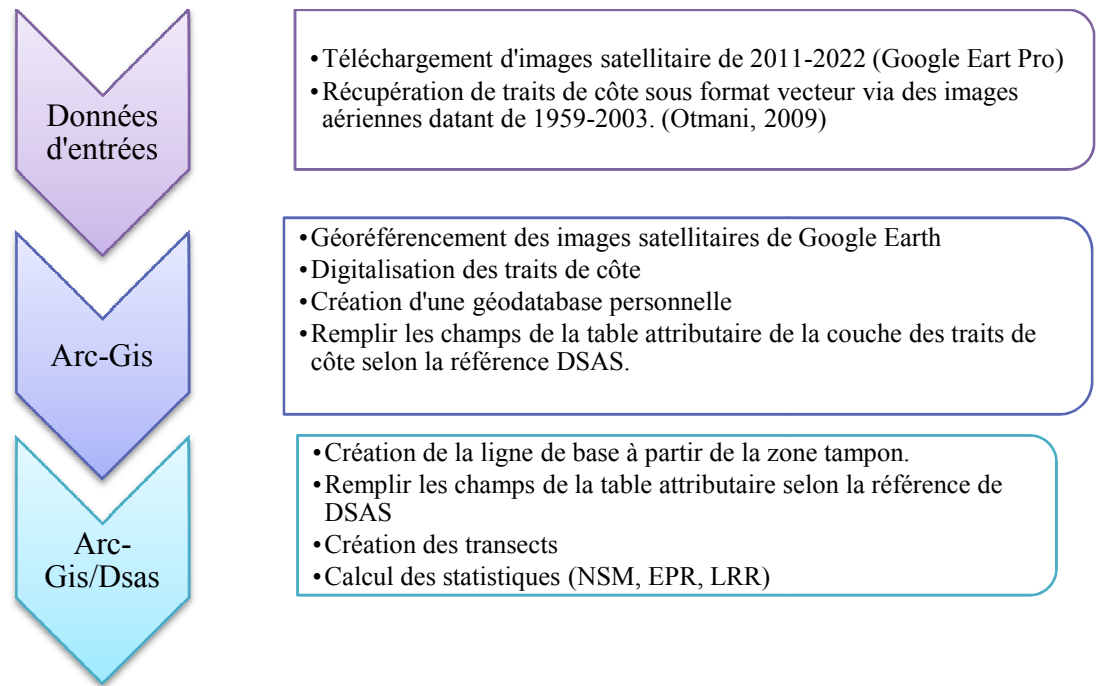


Figure 3.2: Méthodologie de travail sur l'évolution du trait de côte.

Plus de détails sur la méthodologie nécessaire pour arriver à l'étape de calcul des statistiques :

- **Numérisation de la ligne instantanée du rivage :**

La numérisation de la ligne instantanée de rivage a d'abord nécessité un travail d'identification et d'extraction des marqueurs pertinents de trait de côte. Ce travail peut se faire manuellement sur les images satellitaires. Les marqueurs de trait de côte peuvent être directement visibles sur l'image si celle-ci a une haute résolution comme c'est le cas de l'imagerie SAS.Planet utilisée dans cette étude. C'est la raison pour laquelle la photo-interprétation et la photogrammétrie sont les techniques les plus utilisées pour extraire les lignes de référence (Boak et Tunner, 2005). Par ailleurs, la photo-interprétation assistée par ordinateur couplée à un SIG présente un avantage de coût en matériel (Juigner et al., 2012). Dans cette étude, la version 10.3 d'ArcGIS a permis d'effectuer ce travail à travers l'interface Arcmap.

- **Création d'une géodatabase personnelle :**

Dans la fenêtre ArcCatalog, il faut créer une nouvelle géodatabase personnelle qui va contenir tous les vecteurs et output générés dans le but de générer les transect par l'outil DSAS. Si un des vecteurs générés n'est pas homologué à la géodatabase, le DSAS le détectera et signalera un message d'erreur.

- **Création du vecteur shorelines (Traits de côte) :**

Il s'agit de combiner tous les vecteurs de traits de côte digitalisés, dans un seul vecteur contenant une table attributaire avec un nombre et une nature de champs bien spécifiques. Ce vecteur contenant des traits de côte de différentes dates, sans oublier de renseigner l'incertitude des traits de côte, lié à la résolution de l'image d'où le trait de côte a été digitalisé, ou à des erreurs lors des levés in-situ. L'estimation de ces risques d'erreurs doit conduire à l'élaboration d'une marge d'erreur qui sera prise en compte dans l'interprétation des résultats (Durand, 2002 ; Gibbs et al., 2015 ; Gould et al., 2015). C'est la raison pour laquelle les erreurs les plus récurrentes en cinématique du littoral, particulièrement en ce qui concerne l'analyse du trait de côte, sont principalement les erreurs de positionnement et les erreurs techniques.

La marge d'erreur par rapport aux traits de côte obtenus des images aériennes de 1959-2003 est de l'ordre de ± 30 centimètres par DGPS, alors que celle correspondante aux traits de côte allant de 2011-2022 provenant des images satellitaires de Google Earth Pro est de l'ordre de ± 5 mètres, ce qui pose des limites dans l'interprétation des résultats.

- **Création du vecteur Baseline (Ligne de base) :**

C'est une ligne fictive créée à partir d'une zone tampon, dont la tendance générale est parallèle à la ligne de rivage. Elle servira comme ligne de référence pour les transects, à partir de laquelle ils établiront les différences de positionnement entre les traits de côte les plus anciens et les plus récents et autres opérations de calcul.

Une fois ces trois opérations effectuées, on peut lancer la réalisation de nos transects par l'extension DSAS, puis lancer le calcul des statistiques qui vont nous renseigner sur :

- **NSM (Net Shoreline Movement) :** Le mouvement net du littoral signale une distance, pas un taux. Le NSM est associé aux dates de seulement deux rives. Il prend compte de la distance totale entre les rivages les plus anciens et les plus jeunes pour chaque profil (Faye, 2012).
- **SCE (Shoreline Change Envelope) :** Le SCE est la distance entre le trait de côte le plus éloigné et le plus proche de la ligne de base à chaque transect. Cela représente la variation totale de mouvement de rivage pour toutes les positions du rivage disponibles et n'est pas lié à leurs dates. (Himmelstoss, 2009).
- **EPR (End Point Rate) :** calcule le rapport de la distance entre le trait de côte correspondant à la date la plus ancienne et à la date la plus récente (mètre/an). Ainsi, lorsqu'on dispose uniquement de deux traits de côte, l'EPR reste un bon indice pour évaluer la cinématique (Moore, 2000 ; Thieler et al., 2009 ; Himmelstoss, 2009). C'est pourquoi il a été utilisé pour calculer les variations entre chaque couple de traits de côte.
- **LRR (Linear Regression Rate) :** est l'indice qui permet d'estimer l'évolution de chaque segment sur l'ensemble de la période considérée (1959_2022). Le nombre

d'individus de la série statistique est celui du nombre de traits de côte. Si ce nombre est faible comme pour l'EPR, cela pose le problème de la pertinence et de la robustesse des résultats. Ainsi, calculant le taux d'évolution annuelle de la ligne de référence le long de chaque transect, le LRR est donc plus pertinent lorsqu'on analyse la cinématique littorale pour plus de deux dates. En effet, la méthode de calcul tient compte de la distance évolutive du trait de côte sur toute la période considérée (Djagoua et al., 2016 ; Faye et al., 2011).

3.2 - Interface du logiciel Surfer :

Le logiciel Surfer : Conçu par Golden Software, nous permet de réaliser des Modèles Numériques de Terrain (MNT) issus des données récoltées sur le Terrain via De GPS ou bien en ce basant sur une carte préétablie.

Le principe du Surfer est le suivant: le logiciel permet de créer des Grilles qui vont interpoler les données irrégulières de nos points x, y, z afin de les ordonner. C'est à partir de ces grilles que l'on pourra créer plusieurs types de cartes: Basemap, contour map, 3D surface, vector et bien d'autres.

Les étapes suivies pour la création d'un modèle numérique en terrain :

- a. Digitaliser les courbes de niveau d'une carte marine sur le logiciel Arc-Gis, et s'assurer que les données sont enregistrées sous un format CSV.
- b. On génère une nouvelle grille en ajoutant nos données bathymétriques.
- c. La génération de la grille de données s'accompagne toujours d'un rapport qui détaille les spécificités des données.
- d. A partir de la grille, tous les types de cartes peuvent être générés comme le modèle de carte 3D Surface.

3.3 - Etude hydrodynamique :

Pour simuler le processus d'accrétion et d'érosion dans la plage de Surcouf, on doit faire appel à l'application de modèles mathématiques et numériques.

Les phénomènes en jeu étant très complexes, des outils ont été développés pour améliorer la connaissance des processus hydrodynamiques et sédimentologiques et pouvoir mieux étudier la conception et les impacts des aménagements maritimes. Les modèles constituent l'essentiel de ces outils.

Le modèle numérique nous permet d'illustrer les houles, le courant dû aux vagues et les modes de transport du littoral. Le modèle morphodynamique repose sur un couplage des modèles de propagation de la houle, du modèle de circulation et du modèle de transport sédimentaire dans Mike21 (Than, 2015).

Les modèles numériques reposent sur la description des phénomènes physiques à l'aide (De systèmes) d'équations mathématiques. Celles-ci sont ensuite résolues numériquement, pour chaque paramètre étudié, par un programme informatique. Un modèle numérique ne prend en compte qu'un nombre limité de phénomènes (Marée, courant, houle, run-up, franchissement de la houle et morphologie). Seul le respect des critères suivants permet d'obtenir des résultats fiables (CETMEF, 2009) :

- a) La description mathématique des phénomènes étudiés (Equations, géométrie, bathymétrie, paramètres physiques, conditions initiales, conditions aux limites) doit être suffisamment précise ;
- b) La précision numérique doit être suffisante (Pour limiter les différences entre les équations mathématiques et les équations discrétisées) ;
- c) Le post-traitement et l'interprétation des résultats doivent être exacts ;
- d) Le modèle numérique doit avoir été calibré correctement ;
- e) Le modèle numérique doit avoir fait l'objet d'une validation suffisante.

3.3.1 - Matériel utilisé :

3.3.1.1 - Description du logiciel de calcul Mike Zéro :

MIKE Zéro est le nom commun des implémentations Windows de Danish Hydraulics Institut (DHI) intégrant l'interface utilisateur graphique pour la mise en place des simulations, la pré-analyse et le post-traitement, la présentation et la visualisation dans un environnement de projet orienté (DHI, 2014).

3.3.1.2 - Description du logiciel de calcul Mike 21 :

MIKE 21 est un système logiciel développé par le DHI et reposant sur un maillage structuré (grille rectangulaire ou curviligne) ou, pour certain modules, sur un maillage non structuré.

Le modèle MIKE est bidimensionnel horizontal, utilisant une méthode de volumes finis. Il a trois principaux modules tels que l'hydrodynamique (HD), le spectre de la houle (SW), et le transport sédimentaire (ST) (Than, 2015).

A. Le modèle spectral de la houle (SW) :

Le modèle d'analyse spectrale de la houle, est l'un des outils de modélisation numérique pour l'étude de modèle spectral vent-vague. Le modèle est basé sur une grille à maillage flexible et est particulièrement applicable pour l'analyse des vagues simultanées à la fois à l'échelle régionale et locale. Le maillage flexible permet une résolution spatiale grossière pour la zone au large et une haute résolution en eau peu profonde et sur le littoral. Le modèle SW simule la croissance des vagues par l'action du vent, l'interaction non-linéaire vague-vague, la dissipation due au '*white-capping*', la dissipation due au frottement de fond, la dissipation due

au déferlement de la vague, la réfraction de la houle par les changements de profondeur, l'interaction vague-courant et l'effet de profondeur d'eau variant dans le temps (DHI, 2014).

L'équation de base : l'équation de base de ce modèle est l'équation de conservation de l'action de vague. (Komen, et al, 1996)

L'équation de conservation pour l'action des vagues peut être écrite comme :

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}N) = \frac{S}{\sigma} \dots \dots \dots (1)$$

Avec : $(\vec{x}, \sigma, \theta,)$ densité d'action,

t le temps,

$\vec{x} = (x, y)$ les coordonnées cartésiennes,

$\vec{v} = (c_x, c_y, c_\sigma, c_\theta)$ Est la vitesse de propagation d'un groupe de vagues dans l'espace de phase à quatre dimensions,

Et S est le terme source pour l'équation de l'équilibre énergétique.

∇ Est l'opérateur différentiel à quatre dimensions dans l'espace x, y, σ , θ .

Les quatre vitesses de propagation caractéristiques sont données par :

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}g + \vec{U} \dots \dots \dots (2)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial d} \left[\frac{\partial d}{\partial t} + \vec{U} \cdot \nabla \vec{x} d \right] - Cg \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \dots \dots \dots (3)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left[\frac{\sigma}{\partial d} \frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k} \cdot \frac{\partial \vec{U}}{\partial m} \right] \dots \dots \dots (4)$$

Ici, S est la coordonnée de l'espace dans la direction de l'onde θ , et m est une coordonnée perpendiculaire à S . ∇_X est l'opérateur différentiel bidimensionnel dans l'espace x, y. (DHI, 2014)

B. Le modèle hydrodynamique (HD) :

Simule les variations du niveau d'eau et des écoulements en réponse à divers types de forçages. Ce modèle est utilisé principalement pour simuler de nombreux phénomènes hydrauliques dont la marée, les courants induits par le vent et la houle ainsi que les surcotes. Les courants sont calculés à partir des contraintes de radiation issues du modèle SW. Le niveau d'eau aux frontières latérales est modifié localement afin de prendre en compte la surélévation du plan d'eau dans la zone de déferlement. Les gradients de contraintes de

radiations vont être à l'origine de la surélévation du plan d'eau dans la zone de déferlement et des courants de dérive littorale.

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

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial t} \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{(p^2 + q^2)}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - fV V_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p\alpha) = 0 \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{(p^2 + q^2)}}{C^2 \cdot h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fV V_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p\alpha) = 0 \dots \dots \dots (7)$$

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

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

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

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

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

(x, y) : Coefficient de Chezy ($m^{1/2}/s$).

g : L'accélération de la pesanteur (m/s^2).

(V) : Facteur de frottement de vent.

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

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

$P_a(x, y, t)$: Pression atmosphérique (kg/m^2).

ρ_w : Masse volumique de l'eau (kg/m^3).

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

C. Le modèle de transport sédimentaire (ST) :

Simule le transport du sable sur le fond et en suspension sous l'action combinée des courants et de la houle. Dans la zone de déferlement, les courants de retour sont inclus. Le modèle est

déterministe et demande un minimum de calage. Les taux initiaux de sédimentation/érosion sont calculés à l'aide de l'équation de conservation de la masse sédimentaire. Ce modèle est utilisé pour l'optimisation morphologique des ouvrages portuaires, l'impact de protection côtière et la stabilité des estuaires.

On est amené à résoudre cette équation de transport-diffusion pour calculer la concentration des sédiments transportés.

$$\partial C \partial t + \text{div}((\mathbf{U} + \mathbf{W}s)C) = \text{div}(\gamma t * \nabla C) \dots\dots\dots (8)$$

Avec : \mathbf{U} : Étant le champ de vitesse 3D ;

$\mathbf{W}s$: vecteur vitesse de chute des particules dirigé vers le bas ;

γt : le coefficient de diffusivité turbulente des sédiments. (DHI, 2014)

Un maillage triangulaire flexible qui offre une flexibilité maximale pour adapter la résolution au domaine de calcul a été utilisé (figure 3.3).

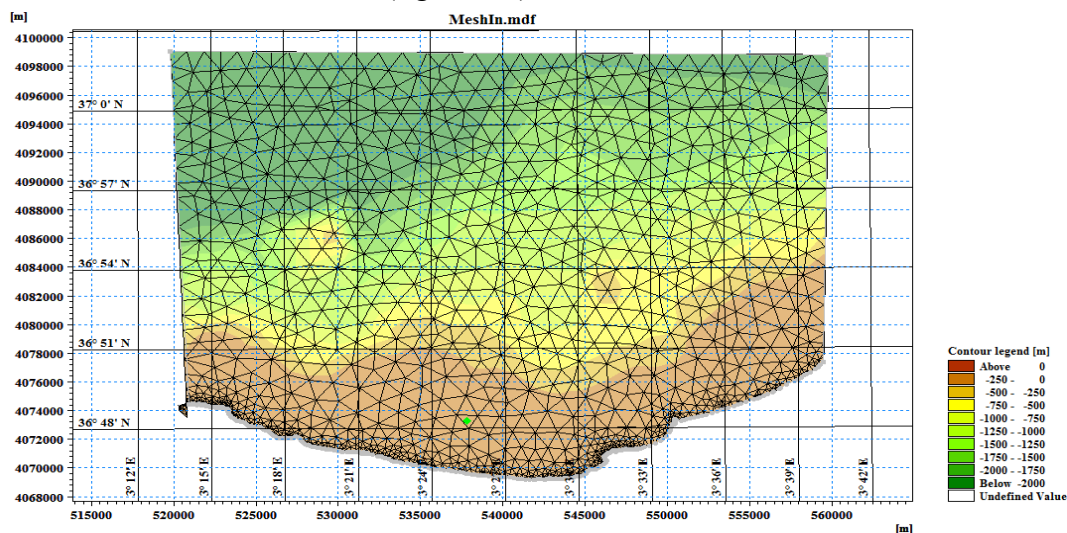


Figure 3.3: Maillage triangulaire flexible adaptée au domaine de calcul.

3.3.2 - Méthode adoptée :

Pour cerner l'impact de la réalisation des ouvrages de protection de la commune d'Ain Taya sur l'hydrodynamisme de la zone d'étude et ses abords environnants, nous avons adopté la démarche suivante :

- L'examen de l'état initial, où l'on tente de reproduire numériquement les phénomènes hydro-sédimentaires régnant sur le site.
- L'examen de l'état en présence des brises lames où l'on tente également de reproduire numériquement les phénomènes hydro-sédimentaires régnant sur le site.

Cet examen consiste à restituer successivement le champ de la houle, les courants induits, la capacité théorique de transport solide pour les directions 45°N, 360°N et 315°N pour chaque état considéré.

- La comparaison des résultats de ces simulations numériques afin de voir le comportement hydro-sédimentaire avant et après la réalisation des aménagements.

3.3.3 - Domaine de calcul :

Le domaine de calcul est centré sur la zone d'aménagement des brises lames au niveau de la plage Surcouf et ses abords immédiats. Il délimite une aire importante afin que les conditions aux limites soient en accord avec les phénomènes physiques en présence (caractéristiques de la houle au large et les courants littoraux induits).

3.3.3.1 - Données bathymétriques :

La bathymétrie utilisée pour cette étude est celle issue de la digitalisation de la carte marine S.H.F.N (Service Hydrographique des Forces Navales) de la côte de Boumerdes, qui s'étend de Ras Tedles à l'ouest jusqu'à Ras Matifou à l'est, issue de la campagne bathymétrique de 1867-1868 et de 1921-1922, ainsi que les données bathymétriques obtenues par le LEM en 2017.

L'interpolation de ces données issues de différentes sources nous a permis d'établir la carte bathymétrique de la zone d'étude (figure 3.4).

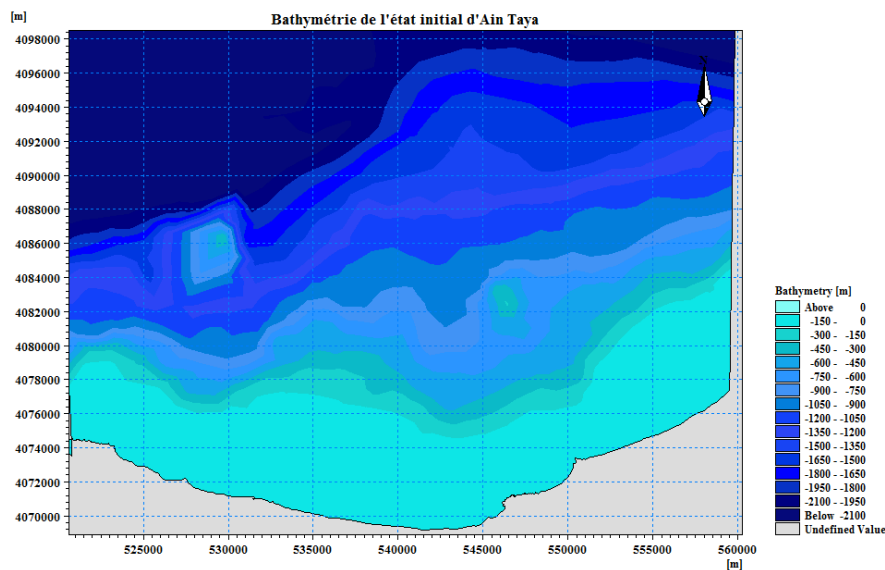


Figure 3.4: Bathymétrie de la commune littoral d'Ain Taya, réalisée à par des un fichier XYZ de la bathymétrie réalisé par un relevé terrain par le LEM en 2017.

3.3.3.2 - Données sédimentologiques :

Les données sédimentologiques utilisées sont les résultats de l'analyse granulométrique réalisée par SOGREAH en 1983 intitulé :

R_351181 R5 Protection du rivage de la wilaya d'El Djazair, mission : Expertise sédimentologique.

Les résultats de cette expertise sédimentologique ont été utilisés comme données d'entrée dans notre modèle de calcul de transport sédimentaire ST de la suite logicielle de Mike 21 FM.

Un sable plus-tôt grossier au niveau du rivage avec un D_{50} allant de 3à 5mm et qui s'affine vers le large $D_{50}=0.8mm$.

3.3.3.3 - Données de houle :

La figure 3.5 présentée ci-après démontre les directions de houles dominantes pouvant atteindre le site d'étude.

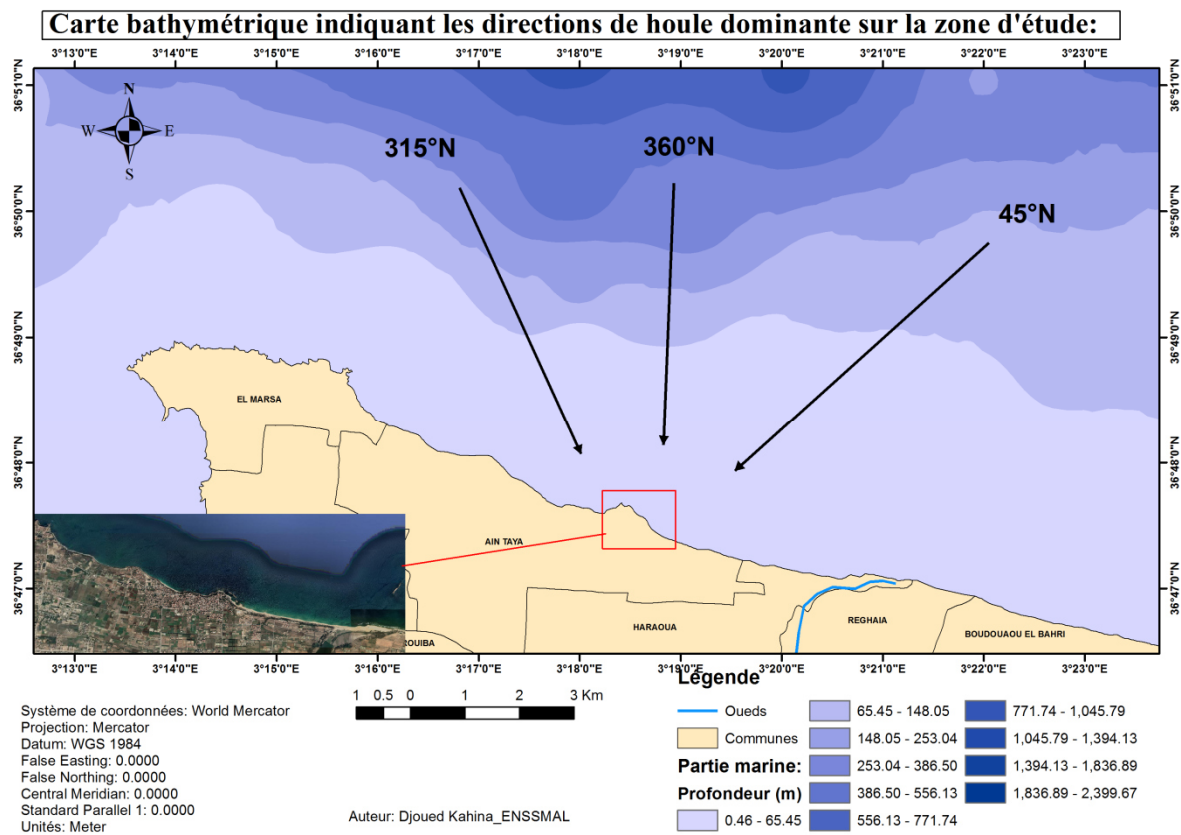


Figure 3.5: Directions des houles dominantes atteignant la commune littorale d'Ain Taya.

Les caractéristiques de la houle considérée pour cette étude sont synthétisées dans le tableau N° 3.1 ci après.

Tableau 3.1: Caractéristiques de la houle au large (LEM, 2017).

Direction	Période (Secondes)	Hauteur Significative (mètres)
315°N	8	2.64
360°N	8	2.67
45°N	8	2.56

Récapitulatif de la méthodologie de la simulation via Mike 21 :

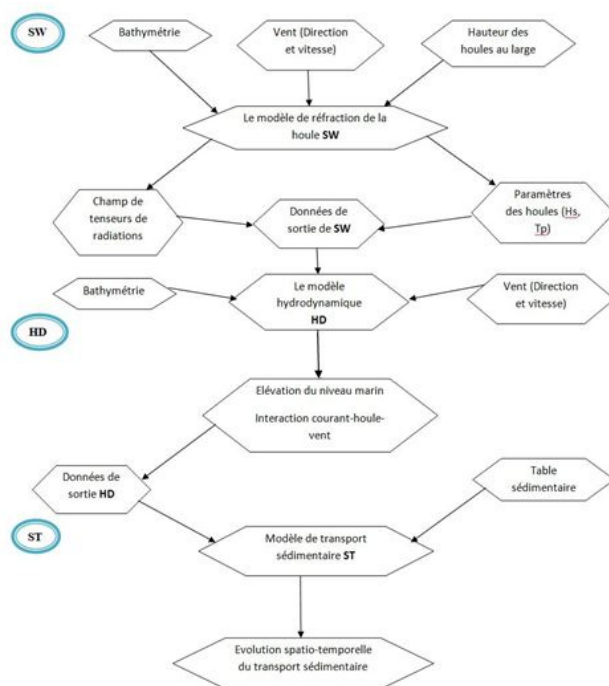


Figure 3.6: Méthodologie de travail pour la simulation des courants de la houle (Madi, Meciaf. 2017)

3.4 - Méthodologie de simulation de la qualité des eaux de baignade:

Dû au manque de données sur les paramètres physico-chimiques et bactériologiques des eaux de la plage Surcouf, nous avons eu recours au modèle numérique Mike 21 HD FM, afin de déterminer si les eaux sont stagnantes et représentent donc une menace pour les baigneurs de la commune d'Ain Taya.

3.4.1 - Technique adoptée :

MIKE 21 HD FM est un nouveau système de modélisation basée sur une approche de maillage flexible. Le système de modélisation a été développé pour les applications dans les environnements d'océanographie, côtiers et estuariens.

Le module hydrodynamique est basé sur la résolution numérique des équations bidimensionnelle en eau peu profonde (shallow water equations). Ainsi, le modèle se compose des équations de continuité, de conservation de la quantité de mouvement, de la température, de la salinité et de la densité.

Pour bien mettre en évidence les problèmes de recirculation derrière les ouvrages longitudinaux, nous allons considérer, dans un premier temps, que la température de l'eau derrière les brises lames est plus élevée que celle à l'extérieur. Le modèle Mike 21 HD FM va simuler, d'une part, les courants engendrés par la houle et d'autre part les courants engendrés par le gradient de température. Les résultats fournis par le modèle permettent de voir la variation de la température de l'eau derrière les ouvrages de protection durant le temps de simulation choisi.

Nous allons ainsi modéliser l'état des eaux de notre zone d'étude, avant la mise en place des brises lames, et après leurs construction en comparant les résultats obtenues pour déterminer si la mise en place des ouvrages de protection a eu un impact positif ou négatif sur la qualité des eaux de baignade.

3.4.1.1 - Données de houle :

Nous allons considérer les directions de houle qui semblent les plus défavorables à la circulation des eaux derrière les brise lames.

Tableau 3.2: Données entrantes pour la simulation du modèle Mike 21 HD FM.

Cas	Direction	Hauteur significative (m)	Période (s)	Etat de la mer
1	45°	1.09	6	Calme
2	45°	2.56	8	Agitée
1	360°	1.00	6	Calme
2	360°	2.67	8	Agitée
1	315°	1.10	6	Calme
2	315°	2.64	8	Agitée

En choisissant le modèle Mike 21 HD FM, voici ce que l'on obtient comme fenêtre :

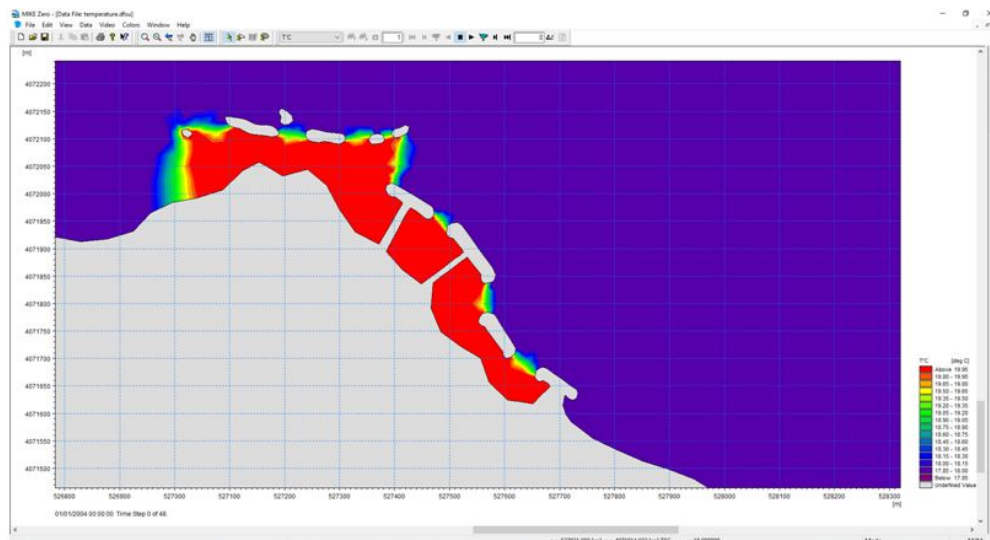


Figure 3.7: Modèle de simulation de la température des eaux à $t=0s$.

3.5 - Analyse de la littoralisation :

La croissance démographique et la pression qu'elle génère sur les littoraux est une des principales sources de rétro impacts, sur l'environnement côtier et sur la qualité de vie à proximité des côtes.

Nous avons opté pour l'évaluation de l'aléa de submersion à partir de la détermination de l'altimétrie de la côte Est algéroise où se situe la commune d'Ain Taya, à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT), téléchargé à partir du site Open Source USGS (Site et type du MNT)

Nous avons pu réaliser une carte hypsométrique en effectuant une étude sur la morphométrie du terrain à partir du Logiciel Arc-Gis 10.3, qui nous a permis d'extraire les altitudes de la zone d'étude à partir du MNT correspondant. Cependant, ce dernier a une résolution de l'ordre de +30m, ce qui est à prendre en considération dans l'interprétation des résultats.

Nous avons aussi utilisé l'extension Arc-Scene du logiciel Arc-Gis qui nous a permis de réaliser une simulation d'un scénario d'élévation du niveau de la mer, en y attribuant à ce dernier des hauteurs qui augmentent en un temps très court.

La partie littoralisation a été traitée par un recensement total du nombre d'habitations et de la surface occupée par l'homme sur la commune littorale. Ce traitement a été réalisé grâce à une digitalisation d'une image satellitaire à haute résolution (Zoom +50cm) datant de 2022 et provenant du site open source SAS-Planet, qui a permis l'identification et donc la digitalisation de chaque construction pour obtenir un fichier forme habitat contenant le type de construction et l'action à entreprendre par rapport à sa localisation selon le texte de loi littoral 02-02.

**Chapitre III : *Etude diachronique
de l'évolution du trait de côte.***

4 Chapitre III: Etude diachronique de l'évolution du trait de côte

Les variations du niveau de la mer peuvent être à l'origine de transgressions et de régressions qui ont une influence primordiale sur la morphologie et l'évolution des littoraux. Il y a transgression quand une ligne de rivage s'avance au-delà de sa position antérieure en direction de la terre et régression quand une ligne de rivage se retire en-deçà de sa position antérieure en direction de la mer. La première est favorisée par une élévation du niveau marin, la seconde par une baisse. Mais il faut aussi tenir compte d'autres caractéristiques du milieu littoral : forces en action, fourniture en sédiments, pente de l'avant-côte, autant de facteurs dont l'action conjuguée s'exprime par une résultante, soit en faveur de l'érosion, soit en faveur de l'accumulation (Paskoff, 1994).

Pour pouvoir analyser la tendance évolutive diachronique de notre zone d'étude, il est nécessaire de collecter des données sur une échelle de temps large, pour pouvoir embrasser la complexité du phénomène, ainsi qu'identifier les nouveaux facteurs influant de manière réversible ou pas, selon le degré d'influence, sur la dynamique côtière d'érosion/accrétion.



Figure 4.1: Images satellitaires de notre zone d'étude à des années de différences (2011-2018-2020-2022), obtenues à partir de Google Earth Pro du littoral Est de la commune d'Ain Taya.

La représentation des résultats est faite sur la base de deux échelles temporelles. La première correspond à l'écart entre deux dates (deux traits de côte) et la seconde présentation correspond à l'échelle globale qui prend en compte tous les traits de côte (1959, 1972, 1980, 1999, 2003, 2011, 2014, 2016, 2018, 2020 et 2022.)



Figure 4.2: Les différents traits de côte entre 1959 et 2022 à partir de la plage Flot Bleu jusqu'à la plage El Kadous.

4.1 - Présentation et interprétation des résultats obtenus du Dsas :

L'analyse des résultats cartographiques issus de la cinématique est considérée par Pennober (1999) comme l'étude des formes indépendantes des forces qui en sont les causes.

Pour bien apprécier la dynamique hydro-sédimentaire qui se traduit par les phénomènes d'accrétion/érosion sur une échelle spatio-temporelle, le support des statistiques de l'indicateur EPR ont été projetés pour l'élaboration de cartes représentatives des tendances selon les périodes suivantes :

4.1.1 - Evolution de la ligne de rivage entre 1959 et 1972 :

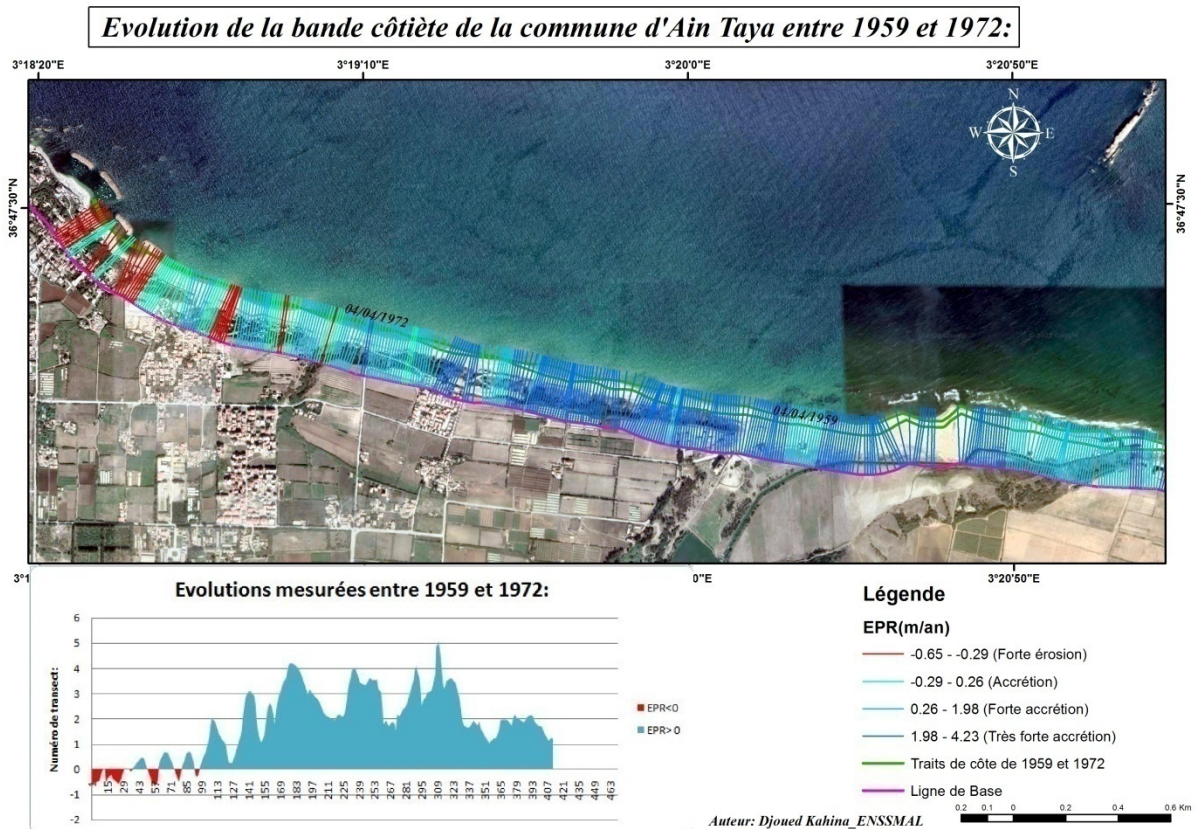


Figure 4.3: Evolution du trait de côte entre 1959 et 1972 estimée par l’outil DSAS.

La période entre 1959 et 1972, montre une tendance à l’accrétion en partant de la plage El Kadous à l’est jusqu’à la plage d’Ain Taya à l’ouest avec un maximum d’accumulation de l’ordre de 5,08 m/an.

De la plage d’Ain Taya jusqu’à la plage de Surcouf à l’extrême ouest de notre zone d’étude, la tendance est à l’érosion, même si le profil est irrégulier avec une variation de 0,75 à -0,65 (m/an). Cela s’explique par l’orientation de la plage qui fait face au régime des houles dominantes venant du Nord Ouest. Il est à noter que les ouvrages de protection n’existaient pas encore dans cette période.

En général, la moyenne de variation de ce littoral sableux est de l’ordre de 1,83 m/an pour la période entre 1959 et 1972.

4.1.2 - Evolution de la ligne de rivage entre 1972 et 1980 :

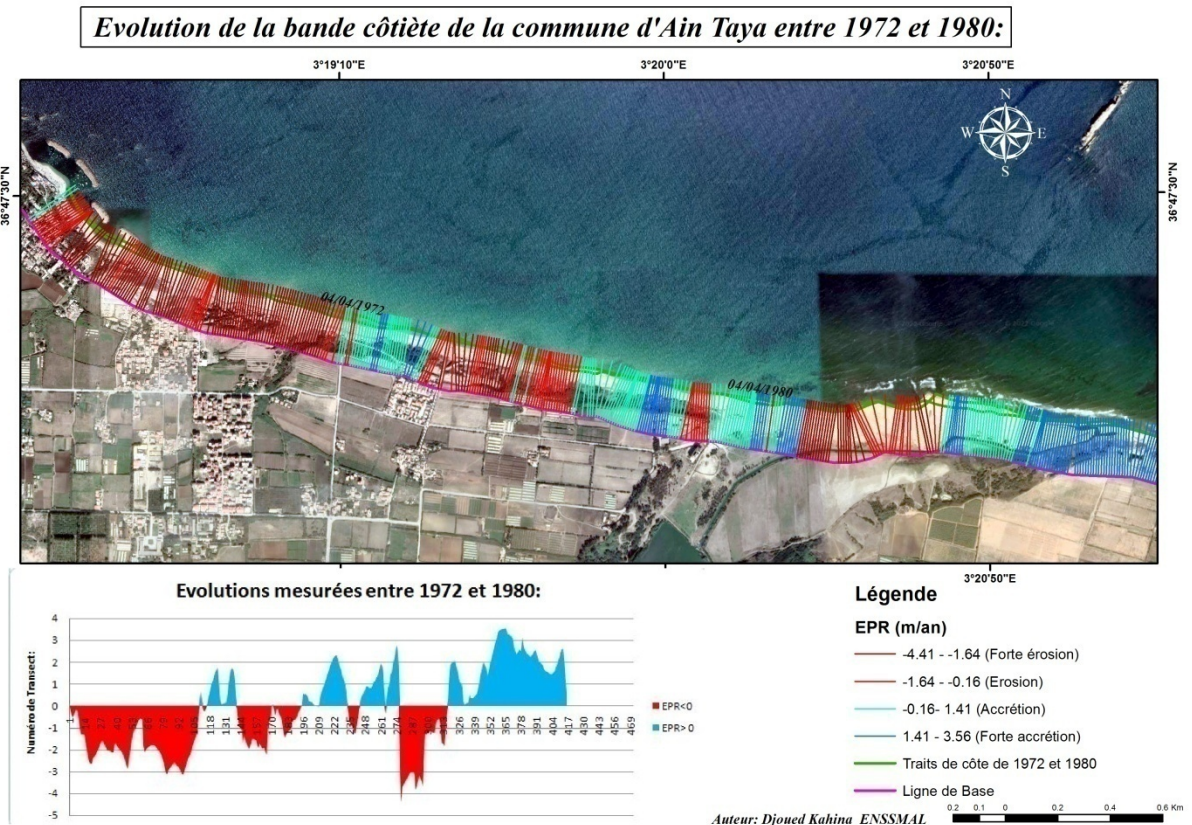


Figure 4.4: Evolution du trait de côte entre 1972 et 1980 mesurée par l'outil DSAS.

Cette période comprise entre 1972 et 1980 est caractérisée par une variation du trait de côte plus irrégulière avec un maximum d'accumulation de l'ordre de 3,56 m/an, et un maximum d'érosion de l'ordre de -4,41 m/an.

Nous remarquons que ces valeurs extrêmes d'érosion littoral s'étendent de la plage El Kadous jusqu'à la plage les Canadiennes dans la commune d'Ain Taya.

Alors que dans la partie centrale qui se situe entre la plage les Canadiennes et la plage Ain Taya, les écarts entre les taux d'accumulation versus érosion, ne sont pas si éloignés les uns des autres.

Quant à la partie Ouest partant de la plage Ain Taya jusqu'à celle de Surcouf, la tendance générale est à l'érosion avec un recul de près de -3 m/an ce qui se rapproche de l'extrême taux d'érosion cité plus haut.

4.1.3 - Evolution de la ligne de rivage entre 1980 et 1999 :

Evolution de la bande côtière de la commune d'Ain Taya entre 1980 et 1999:

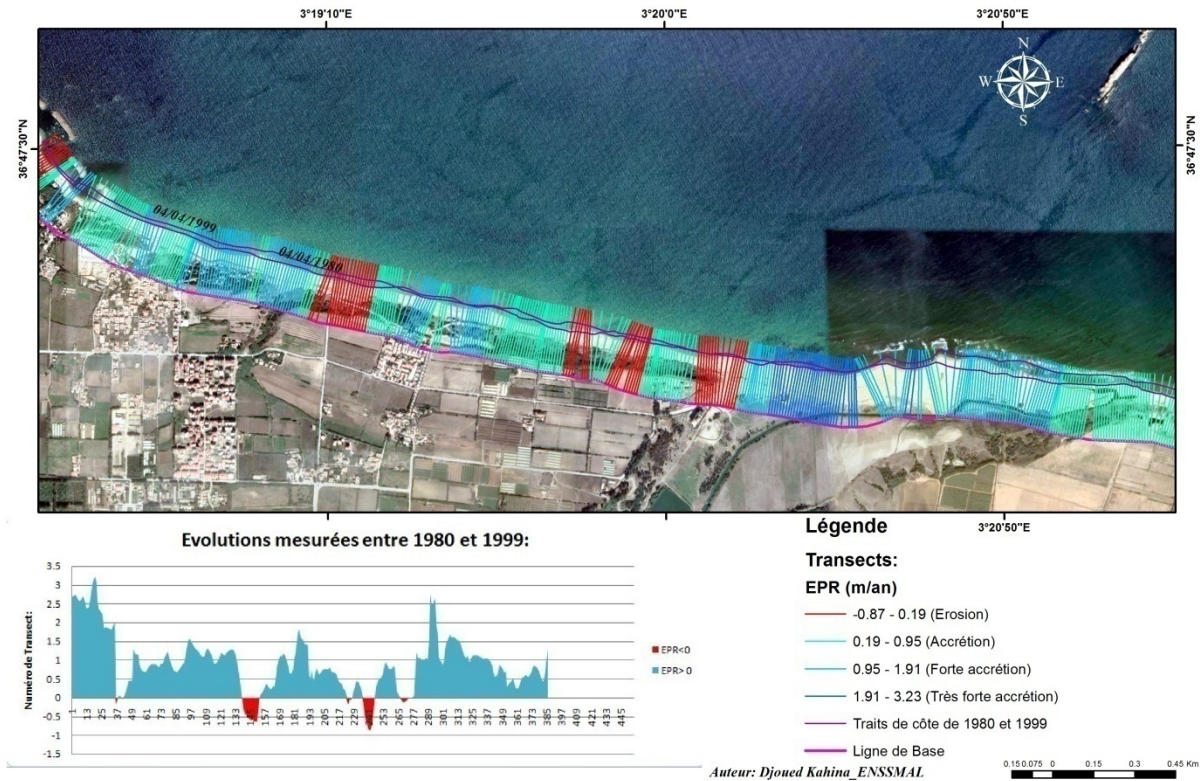


Figure 4.5: Evolution côtière entre 1980 et 1999 mesurée par l'outil DSAS.

L'avancée générale du trait de côte sur toute sa longueur, saute aux yeux pour cette période comprise entre 1980 et 1999.

A part quelques exceptions comme pour le transect numéro 145, situé dans la plage d'Ain Taya avec un taux d'érosion de l'ordre de $-0,56$ m/an et le transect numéro 241 situé dans la plage les Cannadiennes avec un recul de $-0,59$ m/an. Ces deux valeurs sont assez faible par rapport à la tendance général avec une avancée du trait de côte sur la mer atteignant les 3m/an au niveau du pic dans la plage de Surcouf.

Cela peut s'expliquer par un transit sédimentaire alimentant la partie ouest de la zone d'étude, et les apports sédimentaires de l'oued Réghaia alimentant la partie Est de la zone d'étude. Une étude plus poussée sur les variations des débits solides de l'oued Réghaia à travers une échelle de temps annuelle, serait souhaitable pour une détermination de la quantité de flux sédimentaire charrié.

4.1.4 - Evolution de la ligne de rivage entre 1999 et 2003 :

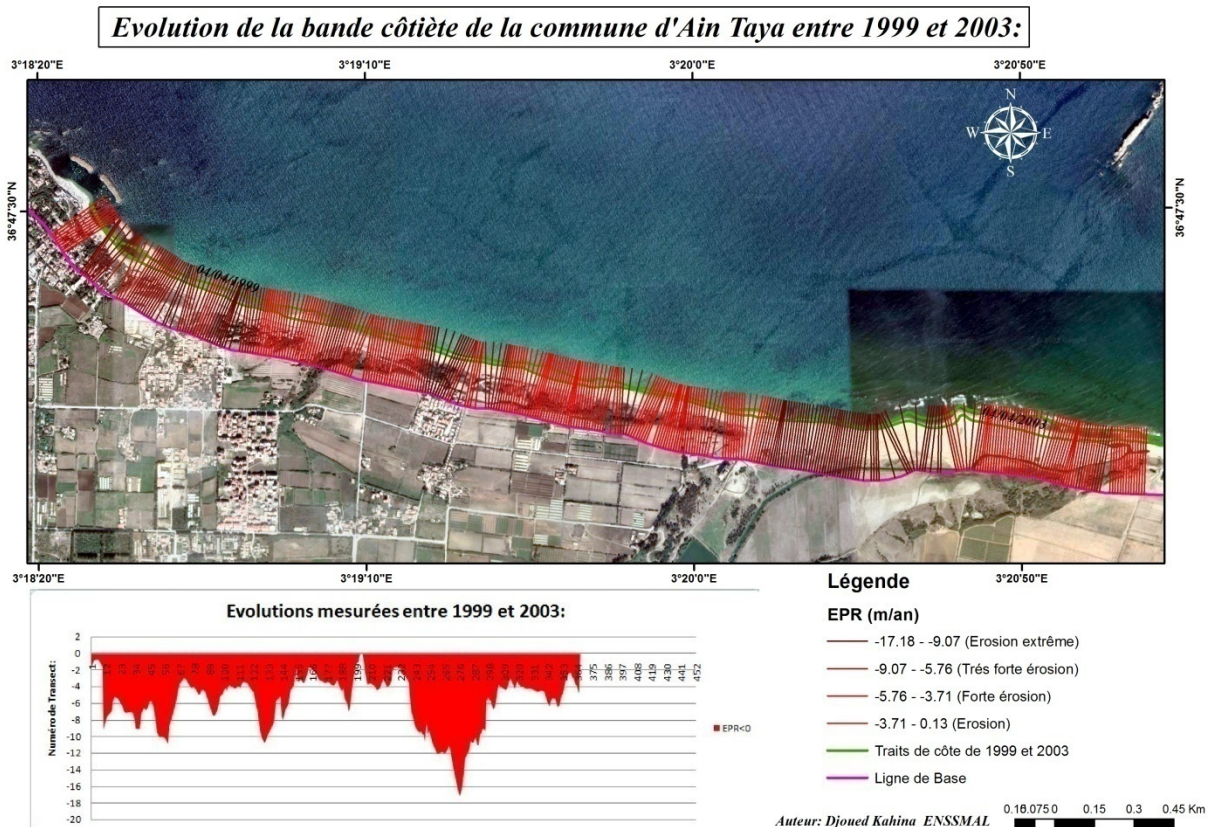


Figure 4.6: Evolution du trait de côte entre 1999 et 2003 mesurée par l'outil DSAS.

La situation du rivage entre 1999 et 2003 semble représenter l'exact opposé de l'évolution du rivage dans la période qui le précède allant de 1980 à 1999.

La tendance générale est clairement celle du recul du trait de côte, et de l'avancée de la mer sur la terre avec une moyenne de recul de l'ordre de -6 m/an, ce qui est considérable pour une moyenne d'évolution du rivage.

Le recul max qui est de l'ordre de -17,18 m/an se situe au niveau de la plage d'El Kadous.

On peut supposer que la cause de cette érosion généralisée sur notre bande côtière une conséquence de l'un des effets du changement climatique, par l'élévation du niveau de la mer dû à l'expansion thermique qui est plus ressentie au niveau de la mer méditerranée de par sa configuration quasi-fermée et la profondeur plus faible de son bassin occidental par rapport à l'oriental.

4.1.5 - Evolution côtière de la ligne de rivage entre 2003 et 2011 :

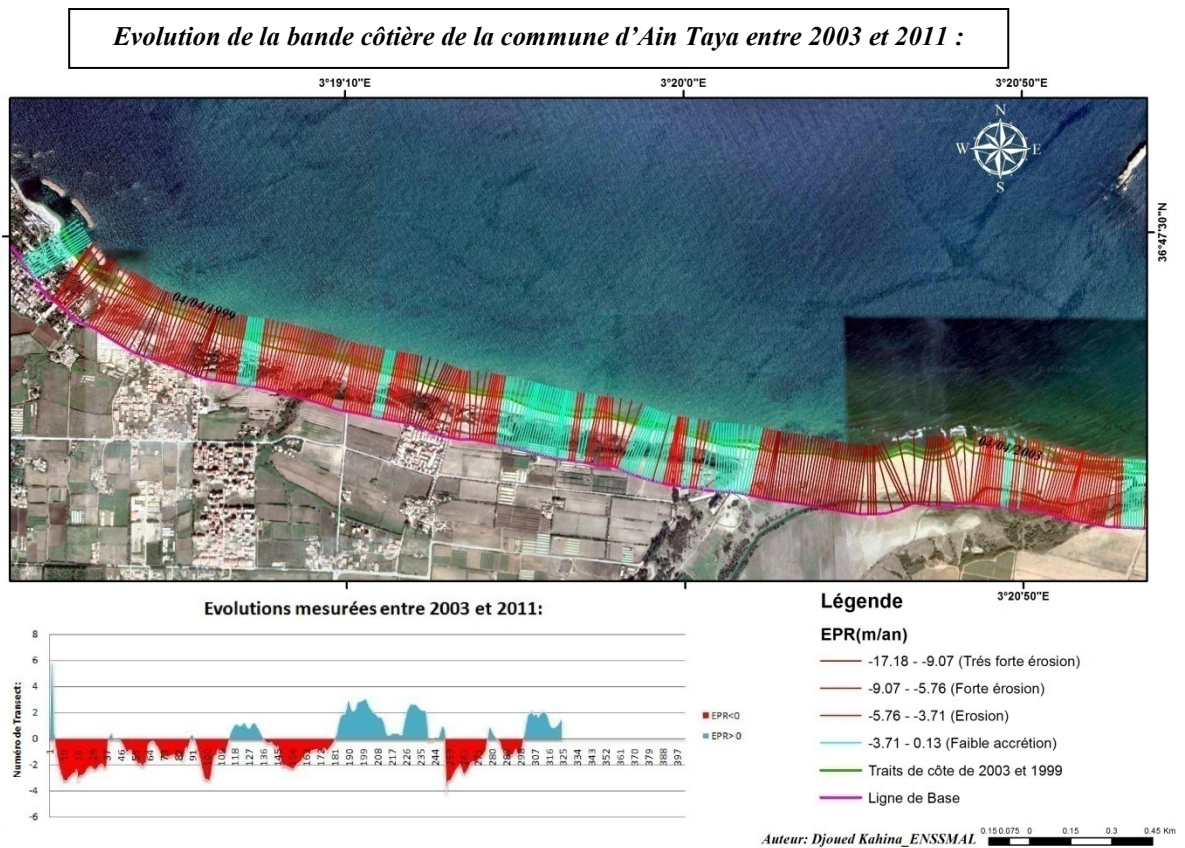


Figure 4.7: Evolution du trait de côte entre 2003 et 2011 mesurée par l'outil DSAS.

L'évolution de la bande côtière dans cette période semble complètement différente des représentations, plus tôt extrêmes, qui la précèdent où la tendance générale était soit un engraissement total pour la période de 1980 à 1999, et à une érosion total pour la période qui la suit de 1999 vers 2003.

Nous observons que l'évolution est très irrégulière pour cette période de 2003 à 2011, avec un recul max de -4,19 m/an mesuré sur le transect numéro 253 situé à l'est au niveau de la plage El Kadous, et un engraissement maximum d'environ 3m/an au niveau de la plage les Canadiennes.

Cependant, une valeur extrême d'accrétion, de l'ordre de 6 m/an mesuré sur le premier transect situé à l'ouest au niveau de la plage de Surcouf, cette valeur nous renseigne sur une accumulation qui n'a pas une origine naturelle mais anthropique, car selon nos recherches, les travaux de construction des deux premiers brise lames en allant d'ouest en est, ont débuté en 2003 où à eu lieu un chargement de sable et autre matériaux de construction générant de ce fait, un apport sédimentaire anthropique.

4.1.6 - Evolution de la ligne de rivage entre 2011 et 2014 :

Evolution de la bande côtière de la commune d'Ain Taya entre 2011 et 2014:

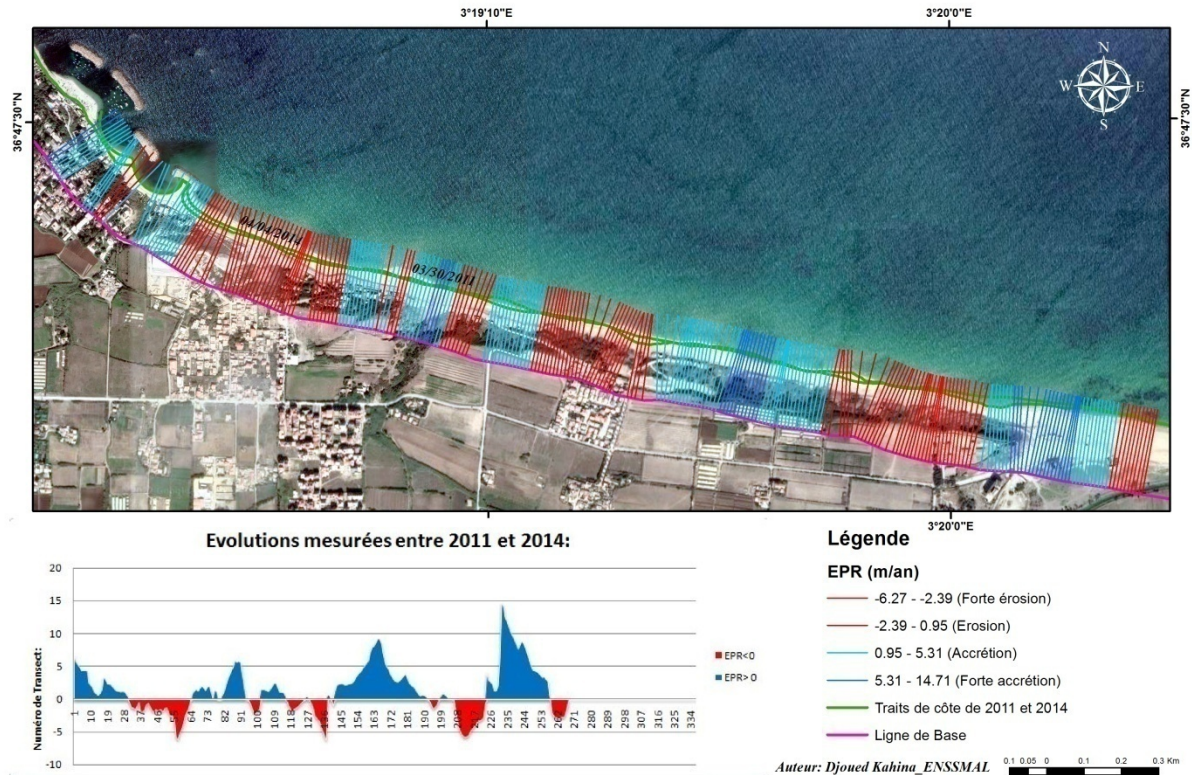


Figure 4.8: Evolution du trait de côte entre 2011 et 2014 mesurée par l'outil DSAS.

Cette période semble caractériser notre bande côtière par une tendance à l'engrèvement surtout au niveau des deux plages adjacentes qui sont Déca plage et les canadiennes avec une valeur maximale d'accrétion qui atteint les 14,71 m/an.

Cependant, il y a toujours des zones plus vulnérables que d'autres aux attaques du front marin et cela ce visualise par l'érosion surtout au niveau de la plage Surcouf avec des valeurs de recul de la ligne de rivage entre (-2,39) jusqu'à (-6,27) m/an.

Dans l'ensemble, cette évolution morpho-dynamique de notre trait de côte sur une période de 3ans semble indiquer des changements dans les taux d'accrétion/érosion d'une moyenne de 1,32 m/an, ce qui semble assez rapide comparée aux échelles de temps utilisées pour les périodes initiales, mais avec un bilan beaucoup plus équilibrée que celui d'un total d'accrétion et vice versa.

4.1.7 - Evolution de la ligne de rivage entre 2014 et 2016 :

Evolution de la bande côtière de la commune d'Ain Taya entre 2014 et 2016:

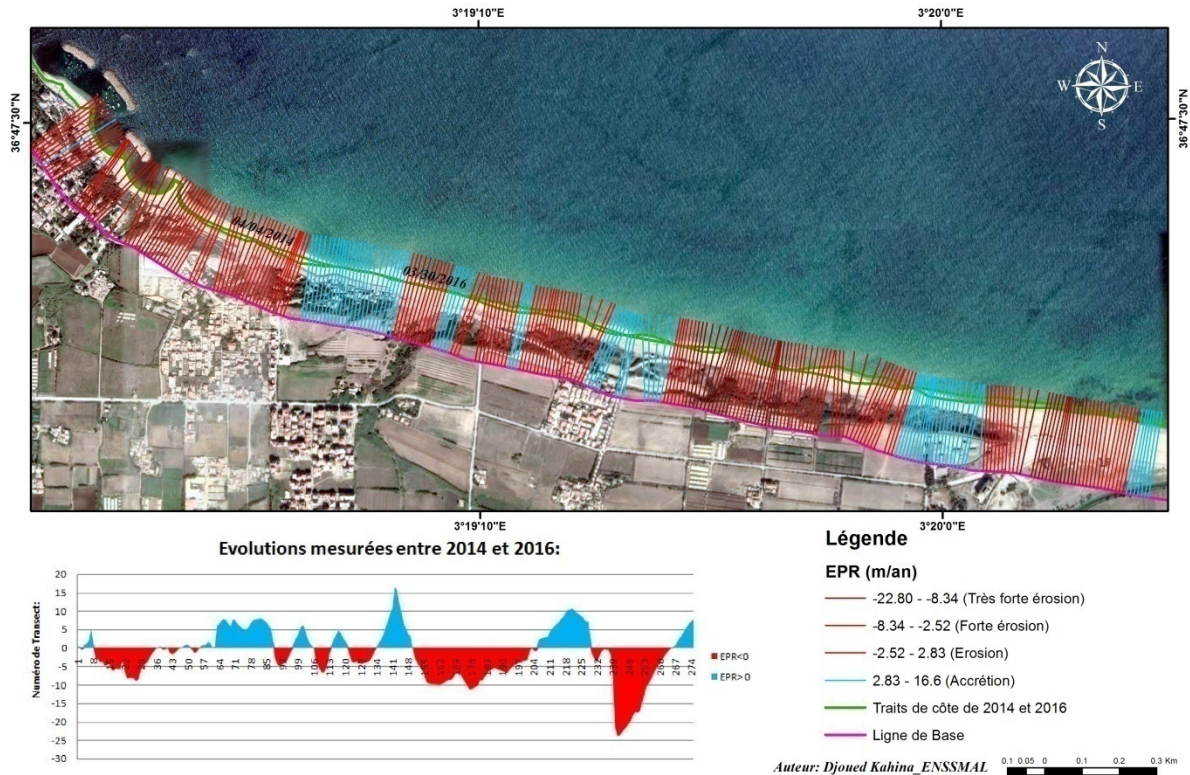


Figure 4.9: Evolution du trait de côte entre 2014 et 2016 mesurée par l'outil DSAS.

Cette période est caractérisée par une évolution spatio-temporelle de la ligne de rivage qui tend vers une érosion généralisée sauf quelques exceptions comme l'accrétion visualisée au niveau du transect numéro 145, situé au niveau de Déca plage, avec un engraissement de l'ordre de 17,15 m/an.

La tendance vers l'érosion est vérifiée avec une moyenne d'évolution de l'ordre de (-0.9) m/an, avec un maximum d'érosion au niveau des transects incluant le (241-249-257) avec une valeur de l'ordre de (-23,64)m/an située dans la plage El Kadous.

Ceci semble du moins étrange, puisque la plage El Kadous est connue pour avoir une géomorphologie spéciale qui représente des dunes, parfois consolidées par de la végétation, dont l'origine remonte aux apports de l'oued Réghaia qui débouche dans l'extrémité Est de la plage El Kadous.

Cette érosion peut tout de même s'expliquer par une activité anthropique côtière, qui est normalement interdite et qui consiste en l'utilisation du sable des dunes comme matériau de construction.

Cette action perpétrée sur une longue période de temps, et à des fréquences répétitives engendre un appauvrissement du cordon dunaire, ce qui résulte par sa faible résistance devant

les assauts de la mer, et le risque même qu'il disparaisse complètement au vu de la virulence des tempêtes liés aux épisodes méditerranéens.

4.1.8 - Evolution de la ligne de rivage entre 2016 et 2018 :

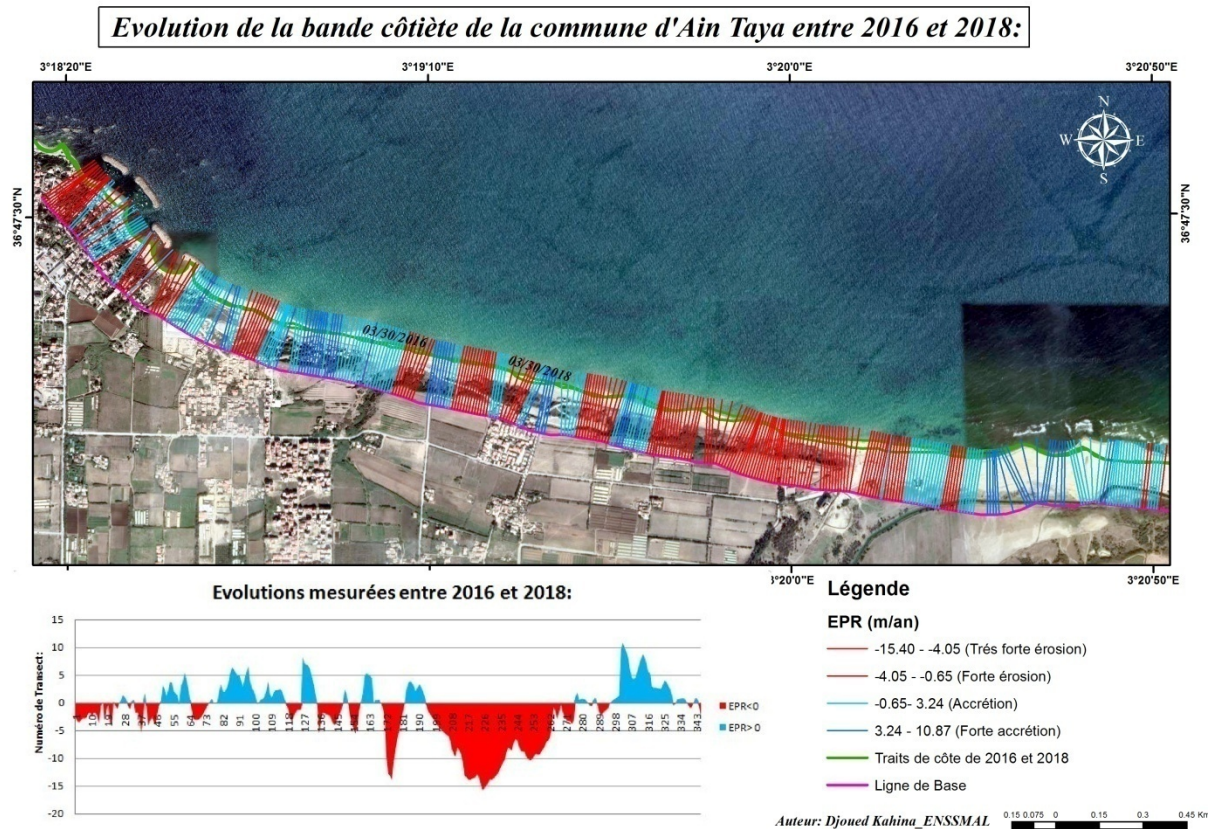


Figure 4.10: Evolution de la ligne de rivage entre 2016 et 2018 mesurée par l’outil DSAS.

Comme l’illustre la carte représentant l’évolution spatio-temporelle de notre site d’étude entre 2016 et 2018, la dominance des couleurs rouges au niveau des transects indique une tendance vers l’érosion avec des valeurs maximales allant de -8m/an jusqu’à une valeur max de -15.85 m/an, sur toute la longueur des transects allant du 205 jusqu’au 265 situés au niveau de la plage les canadiennes.

Quand aux valeurs d’avancée du trait de côte sur la mer, les valeurs vont de 3,24 m/an jusqu’à un maximum d’accrétion de l’ordre de 10,87m/an au niveau du transect numéro 301 situé au niveau de la plage El Kadous.

A partir de la plage les canadiennes, englobant Déca plage, jusqu’à l’extrémité Ouest de la plage de Surcouf, les valeurs des taux d’érosion/accrétion semblent rapprochées entre -5 et +5m/an, même s’ils semblent être réparties de manière irrégulière comme indiqué dans le graphe en bas de la carte.

Cette irrégularité est assez représentative de la complexité des phénomènes hydrodynamiques et de transit sédimentaire qui sont impactées par la géomorphologie sous-marine de la plage, mais aussi et surtout l'effet anthropique sur une échelle locale comme globale.

4.1.9 - Evolution de la ligne de rivage entre 2018 et 2020 :

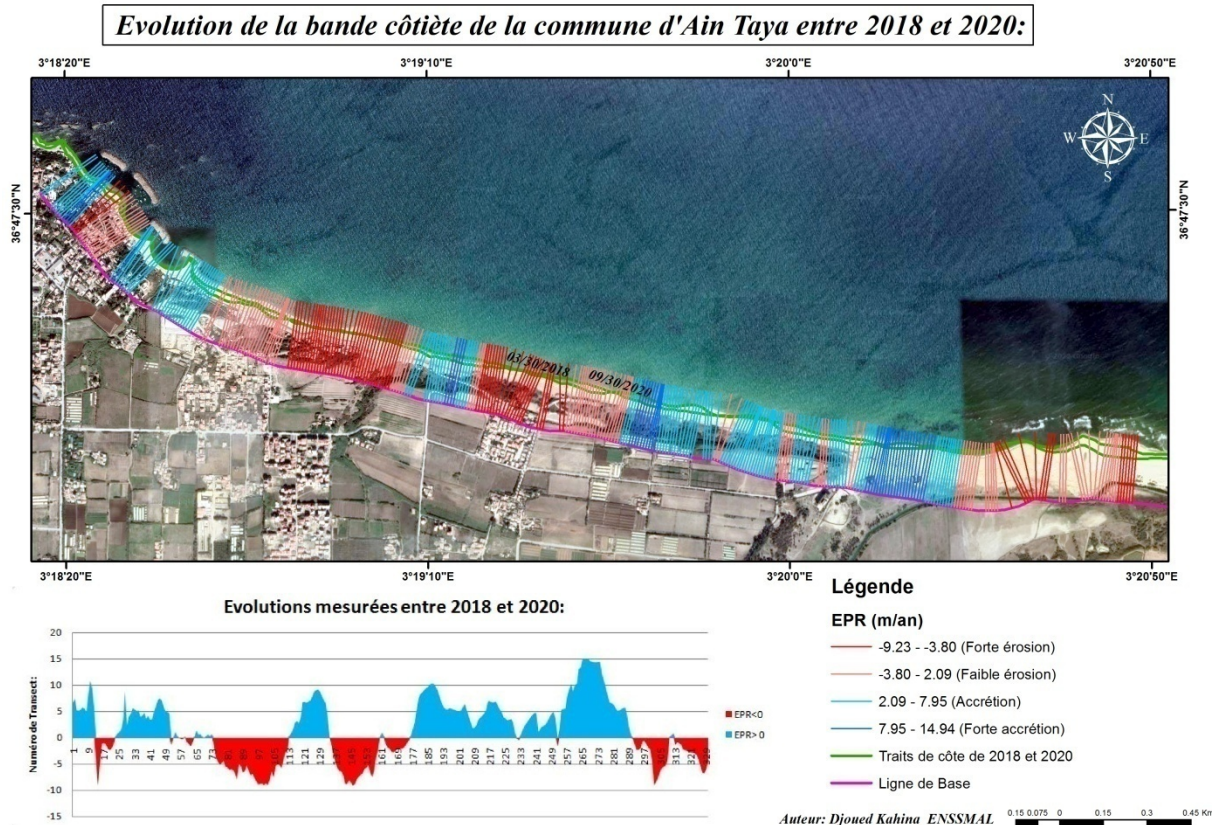


Figure 4.11: Evolution du trait de côte entre 2018 et 2020 mesurée par l'outil DSAS.

Nous pouvons noter la concordance entre la couleur des transects et le graphe en aire en bas de la carte sur cette période de 2ans d'évolution spatio-temporelle de la bande côtière de la commune d'Ain Taya.

Ce qui semble sauter aux yeux est l'engraissement détecté à partir du transect numéro 177 jusqu'au 287, situé au niveau de la plage les canadiennes, avec une valeur maximale atteignant presque les 15m/an.

C'est la Déca plage, qui semble avoir subi le plus de perte en termes de sédiments, avec un taux de recul maximum atteignant les -10,32 m/an.

Cette période est caractérisée par un changement au niveau de la plage Surcouf, c'est à partir de la fin de l'année 2018 et du début de l'année 2019 que les cavaliers connectant le rivage au deux brise lames premiers, en comptant à partir de la rive Ouest, se sont détachés des brise lames, libérant ainsi l'espace de circulation des eaux, ainsi que le transit sédimentaire dont

l'impact sur l'évolution de la plage Surcouf peut se visualiser par une accrétion significative, et un léger recul enregistré au niveau du transect numéro 12 avec un taux d'érosion de l'ordre de 7 m/an à peu près.

4.1.10 - Evolution de la ligne de rivage entre 2020 et 2022 :

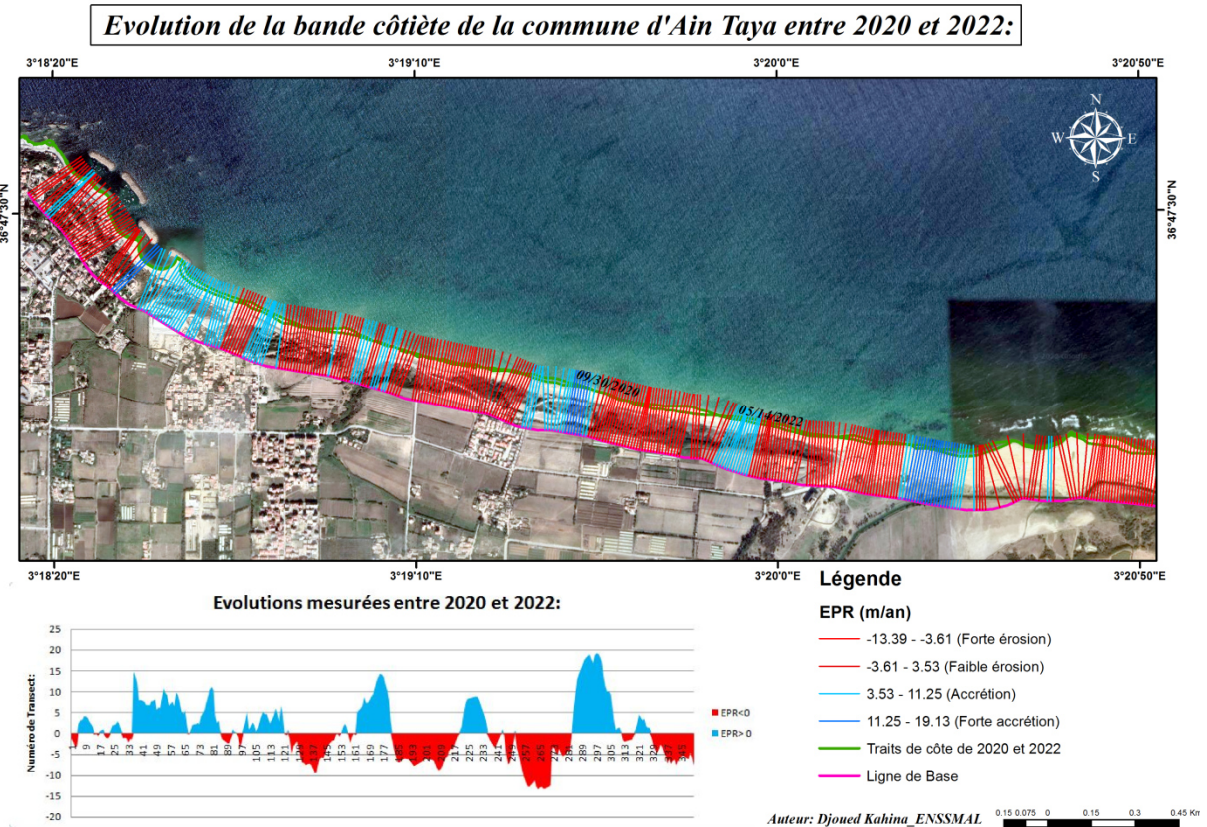


Figure 4.12: Evolution du trait de côte entre 2020 et 2022 mesurée par l'outil DSAS.

Ceci représente la période la plus récente de l'évolution de notre trait de côte, à partir de la carte nous observons un net engraissement au niveau de la plage Surcouf, atteignant une valeur maximale de l'ordre de 13m/an.

Alors qu'à partir de Déca plage jusqu'à la plage d'El Kadous, la distribution est beaucoup plus irrégulière avec un recul maximale de -13,39m/an et une accrétion maximale de l'ordre de 19,13m/an.

Avec une moyenne d'avancée et de recul du trait de côte de l'ordre de +1,13m/an, il semble que la tendance générale soit vers l'accrétion, mais il ne faut pas oublier que le système littoral est en continuel mouvement, et de ce fait changement. Que c'est un système extrêmement sensible à toute modification, surtout s'il est généré par l'Homme. C'est pourquoi cet engraissement aujourd'hui peut vite disparaître, selon l'échelle de l'évolution

spatio-temporelle du trait de côte, le lendemain. C'est pourquoi, une surveillance sur le long terme, et un rafraichissement dans la collecte des données, doit être effectuée, pour mieux détecter et comprendre les différents phénomènes, et les inter-relations entre eux qui régissent l'évolution de la ligne du rivage.

4.2 - Synthèse global de l'évolution de la ligne de rivage sur toute la période entre 1959 et 2022 :

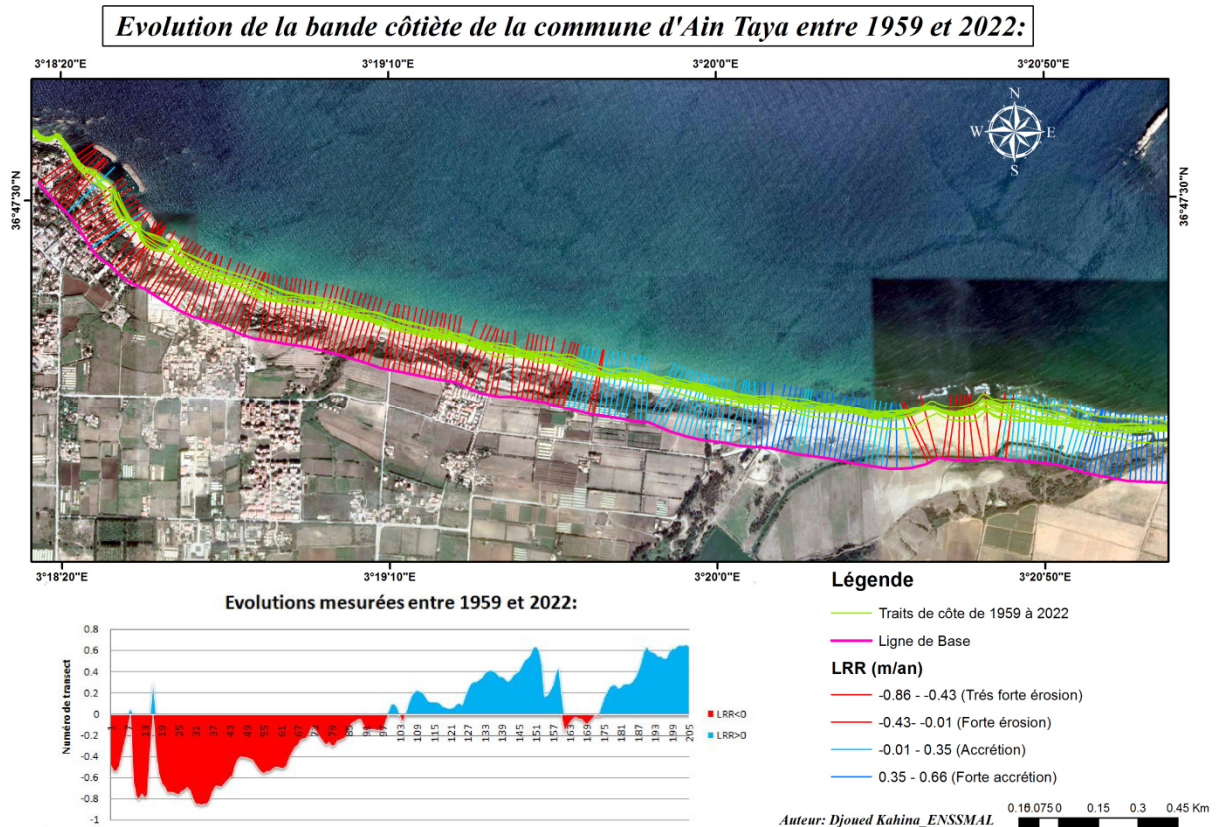


Figure 4.13: Evolution sur toute la période mesurée avec l'outil DSAS et le paramètre LRR(m/an).

Pour apprécier l'évolution globale du trait de côte sur toute la période considérée (1959-2022), l'analyse de l'indice du LRR donne une plus grande pertinence que l'indice de l'EPR qui est plus efficace dans l'étude de l'évolution de la ligne de rivage pour seulement deux traits de côtes.

On peut noter que globalement, pour chaque transect constituant le segment de la partie Est de notre zone d'étude, à partir de Déca plage jusqu'à la plage El Kadous, la tendance est à l'engraissement avec une accrétion maximale de l'ordre de 0,66m/an.

Cela peut s'expliquer par l'apport sédimentaire de l'oued Réghaia qui débouche directement dans l'extrémité Est de notre zone d'étude, constituant une source d'apport sédimentaire

continue mais à des débits différents, selon la variation du régime des houles et de ce fait du transit sédimentaire qui charrie les sédiments le long du rivage.

Pour la partie Ouest de notre zone d'étude, délimitée de Déca plage jusqu'à l'extrémité ouest qui est la plage Surcouf, la tendance globale est à l'érosion avec un maximum de l'ordre de -13,51m/an, ce qui est une différence de presque 12,85m/an par rapport au taux d'engraissement dans le segment Est.

Cette différence significative nous indique clairement que la partie ouest de notre zone d'étude subit des pressions hydrodynamiques et anthropiques qui peuvent se représenter tel que suit :

- Un régime de houle dominante de direction 360°N, qui sont les houles frontales, souvent les plus destructrices lors de l'occurrence de tempêtes, et de ce fait qui gagnent le plus de terrain au niveau du rivage.
- Un régime de houle dominante de direction 45°N, qui semble peut être plus destructeur que celui cité précédemment, car de par la géomorphologie naturelle de notre site d'étude, la plage Surcouf est inclinée vers l'est ce qui rend les houles de cette direction perpendiculaire à notre ligne de rivage. En général, les houles perpendiculaires au trait de côte semblent manger le plus de matériel sédimentaire de la plage, en redistribuant ces sédiments vers le large ou à un autre emplacement sur la côte selon la direction des courants et du transit sédimentaire.
- Artificialisation de la bande côtière en construisant des ouvrages de protection, qui ont certes créés des zones d'accumulation, dites tombolos, situées derrière les brise lames, mais ce qui est enrichi dans un endroit, appauvrit un autre et accroît l'érosion à l'aval des ouvrages installés, sans oublier la perturbation du régime évolutif naturel du trait de côte.
- Impact anthropique qui ce fait de plus en plus ressentir avec l'expansion urbaine qui aggrave le phénomène d'érosion, par les constructions illicites qui détruisent des protections naturelles comme la végétation et les dunes dévastées par activité touristique ou par subtilisation à des fins de constructions.

Avec une approche plus détaillée, voici l'évolution de la bande côtière sur un même transect dont le numéro est 38, voici les résultats :

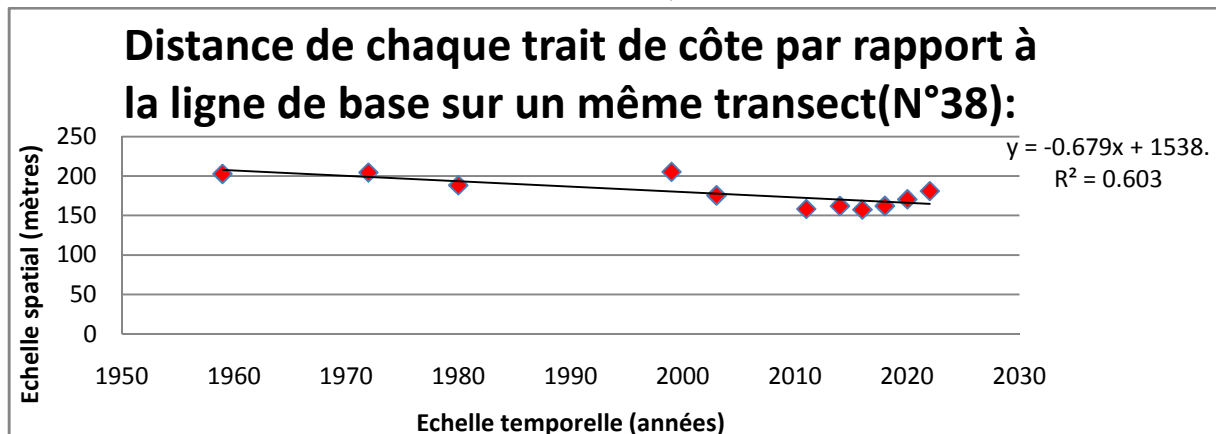


Figure 4.14: Evolution diachronique de la bande côtière au niveau du transect N°38 situé dans la plage de Surcouf dans la commune d'Ain Taya.

Comme le démontre la figure 3.14, la pente de la courbe de régression représente :

LRR= - 0.679 m/an , cette valeur négative semble confirmer la tendance érosive de la plage Surcouf sur toute la période des 63ans d'analyse de l'évolution de la ligne de rivage.

Le coefficient de corrélation représente : LR2= -0.777 ; ce coefficient représente donc une forte corrélation négative, ce qui indique que nos deux groupes de variables évoluent de manière opposée, autrement dit : Plus on avance dans les échelles du temps (plus les années passent), et plus la distance entre le trait de côte et la baseline diminue. Ce qui est un aspect assez révélateur de la tendance générale dans le futur de l'évolution de notre bande côtière vers un système de régression.

Pour évaluer cette corrélation, il est important d'identifier son intensité en calculant le coefficient de déterminant qui est le carré du coefficient de corrélation :

$R^2 = 0.603$; cette valeur est proche de +1.00, ce qui indique qu'il y a une relation entre nos deux groupes de variables.

Pour confirmer la tendance érosive de notre future bande côtière, voici un calcul statistique prévisionnel qui nous donne ces valeurs :

- Pour (x) = 1920 ; (y) = 234.073 m
- Pour (x) = 1940 ; (y) = 220.48 m
- Pour (x) = 2050 ; (y) = 145.72 m
- Pour (x) = 2080 ; (y) = 125.34 m

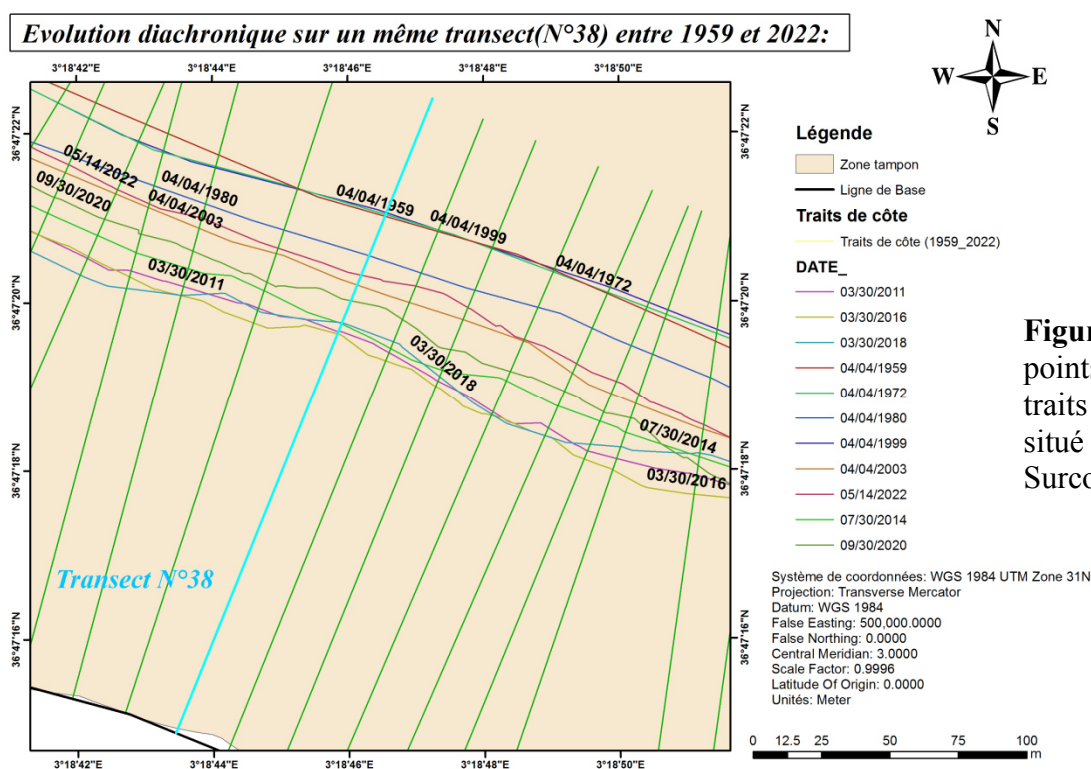


Figure 4.15: Représentation des points d'intersection entre les traits de côte et le transect N°38, situé au niveau de la plage Surcouf dans la commune d'Ain

Les plages appartiennent à des compartiments sédimentaires indépendants, plus ou moins étendus selon les cas, comme le mettent en évidence les études de transit des matériaux portant sur leur direction (qui peut être réversible, mais qui présente souvent un sens dominant), leur origine, leur nature, leur volume, à l'aide de marqueurs (minéraux lourds, éléments radio-actifs). Chaque plage a son propre budget, défini par la somme algébrique du volume des sédiments qui s'en échappent. Si cette somme est égale à zéro, la plage est stable. Si elle est positive, il y a engraissement et progradation par adjonction de crêtes de plages successives. Si elle est négative, il y a démaigrissement et récession, ce qui peut conduire à terme à la disparition complète de la plage (Paskoff, 1998).

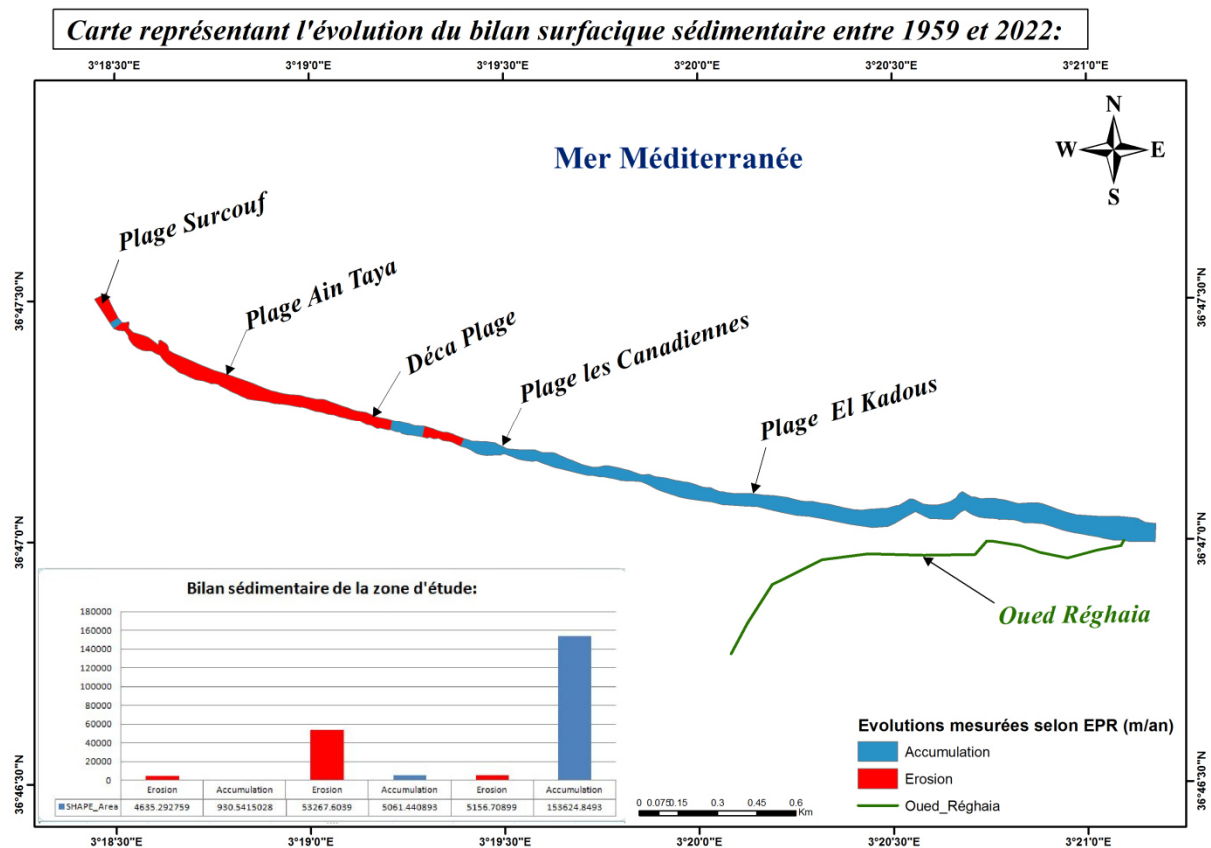


Figure 4.16: Bilan sédimentaire surfacique du littoral Est de la commune d'Ain Taya entre 1959 et 2022.

La cartographie de l'évolution surfacique de notre zone d'étude sur une période de 63ans, a permis de définir un bilan surfacique sédimentaire positif de l'ordre de 9.66 ha. Ce qui indique que la tendance générale est plus à l'accumulation qu'à l'érosion.

Cependant, il ne faut pas oublier qu'à l'échelle géologique, nous sommes maintenant dans une époque de restriction en matériaux puisque les seuls apports appréciables se limitent désormais aux produits directs de l'érosion continentale et marine dû au tarissement de la réserve sous-marine en sédiments et que l'équilibre littoral –absorption maximale de l'énergie des vagues et transport minimal de sédiments- soit réalisé, ce qui peut demander un temps plus ou moins long suivant les endroits. La situation du point de vue de l'approvisionnement en sédiments est donc devenue précaire pour les plages (Paskoff, 1998).

4.3 - Conclusion de l'interprétation des résultats du Dsas :

De fait, le profil d'une plage est perpétuellement mobile car il doit se modifier pour s'adapter aux conditions hydrodynamiques sans cesse changeantes. Aussi la tendance évolutive réelle d'une plage_ stabilité, progradation, récession_ ne peut-elle être réellement appréciée que si les observations portent sur plusieurs années (Paskoff, 1994).

Il en est ressortit de cette étude réalisée à l'aide du DSAS, en prenant en compte des erreurs et limites de la méthodologie, que la bande côtière de la commune d'Ain Taya est en accrétion global, à l'exception de la partie ouest, représenté par la plage Surcouf qui subit une érosion importante.

C'est pourquoi l'indice de variation de trait de côte LRR a été choisi pour calculer les taux de variation globaux. Cependant, les intervalles de pas de temps dont l'EPR a servi d'indice de calcul ont témoigné des variations très contrastées de la ligne de rivage.

Au total, le phénomène analysé est très complexe, car très changeant sur une même portion du littoral. On peut ainsi distinguer des phénomènes d'érosions côtières à long terme qui se traduisent par un recul du littoral et des phénomènes d'érosions côtières à court terme, saisonniers qui sont temporaires, car généralement contrebalancés par des périodes d'engraissement (Thior et al, 2021).

Au vu de la complexité du phénomène, un suivi sur le long terme serait à développer avec une campagne d'investigation terrain pour actualiser nos données et permettre une prévision de l'évolution de la bande côtière au vu des nouveaux facteurs qui peuvent influencer l'agencement de cette évolution, et de prévenir des catastrophes environnementales qui auraient des conséquences désastreuses sur le plan naturel comme social.

4.4 - Représentation et interprétation des résultats du Surfer 13 :

Les progrès en technologie et matériel scientifique ont permis d'élargir nos connaissances sur une zone qui semblait aussi inaccessible à l'homme que l'espace, c'est bien le fond marin.

Voici une représentation en 3D de la géomorphologie sous-marine d'Alger Est à partir de la bathymétrie de la carte marine F.N.H.A en 1998 :

Représentation graphique en 3D de la géomorphologie sous-marine d'Alger Est

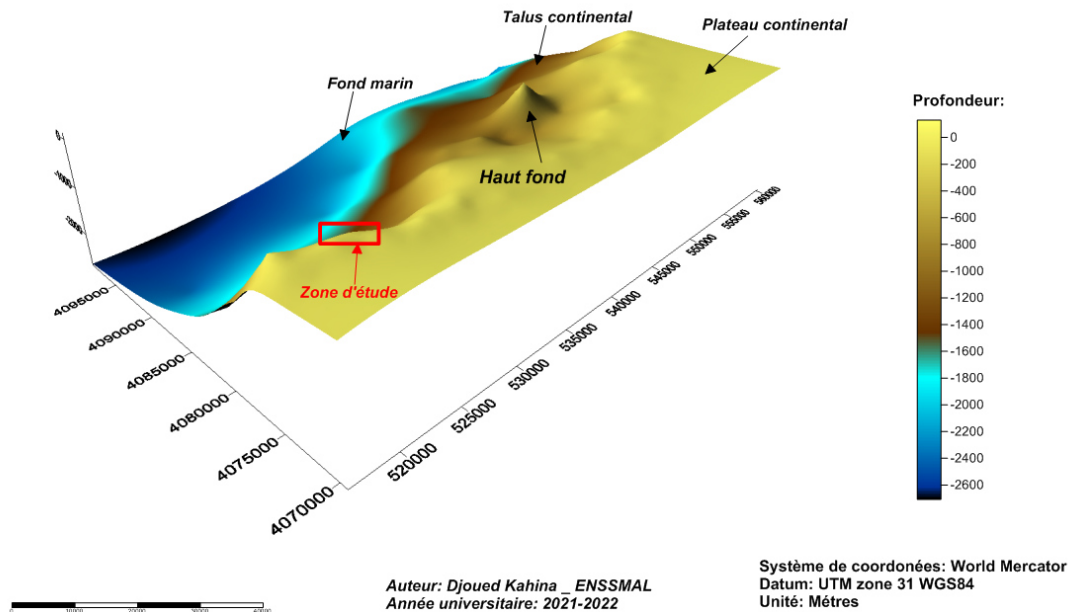


Figure 4.17: Modèle en 3D de la géomorphologie de la côte Est algéroise à partir du logiciel Surfer 13.

Comme le dénote la figure 4.17 ci-dessus, le plateau continental a une configuration plus-tôt étroite et irrégulière, qui s'étend jusqu'à la profondeur de 200m, avant de laisser place au talus continental qui débute par une pente forte, puis qui s'adoucit progressivement, vers les 2000 m de profondeur, celui-ci correspond au prolongement du continent en mer et à la transition entre la croûte continentale et la croûte océanique plus profonde. Le talus est relayé normalement par un glacis qui se prolonge en pente plus douce vers le fond du bassin occidental méditerranéen, mais puisque nous sommes en présence d'une marge continentale active, dont les caractéristiques sont l'étroitesse du plateau continental et la forte déclivité, cela résulte parfois par une abstraction du glacis pour laisser directement place au fond méditerranéen selon le degré de pendage du talus.

Nous remarquons que dans la partie Est, les isobathes se resserrent autour d'un point pour former un haut fond sous marin, mais qu'en général les isobathes sont bien espacées ce qui indique que le talus dans cette zone a une pente plus douce par rapport à la zone Ouest, au niveau de Ras Matifou, où les isobathes se resserrent rapidement après le plateau continental, indiquant un fort pendage du talus continental.

En effectuant des recherches sur la géomorphologie de la côte algéroise, aux environs de notre zone d'étude, nous sommes tombées sur l'existence du canyon d'Alger situé au large de la côte, au niveau de la pente continental. A sa jonction avec le fond océanique, il forme un vaste delta, généralement en relief sur le fond de mer, où siège des phénomènes d'érosion sous marine qui creusent des chenaux dans la croûte soit dû à des courants de turbidité ou des avalanches sous-marines ce qui reste encore à prouver.

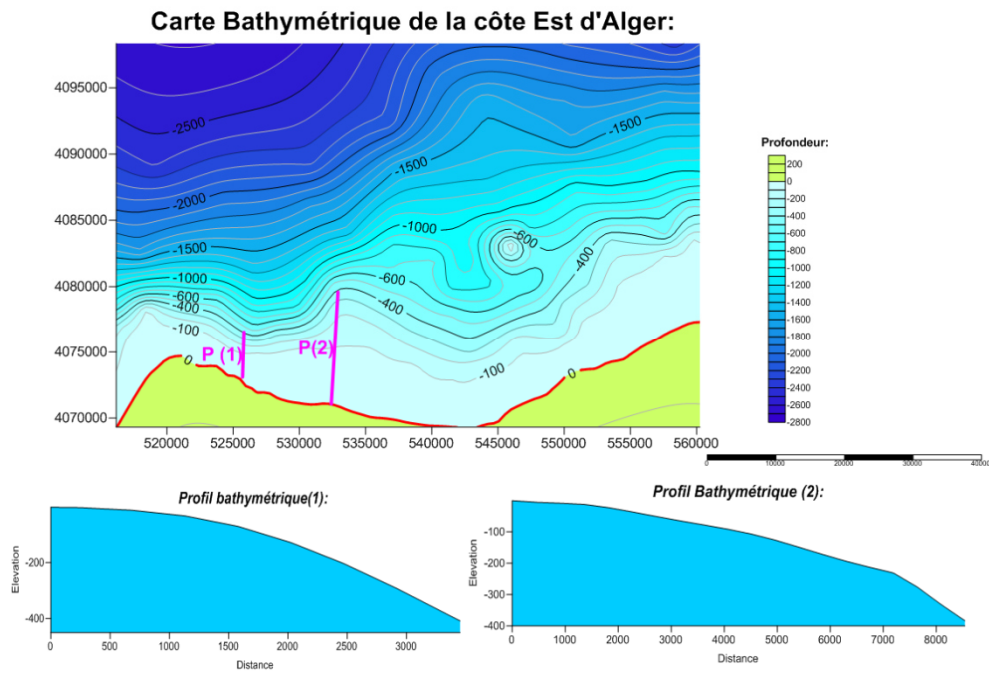


Figure 4.18: Carte bathymétrique d'Alger Est avec profils bathymétriques effectués à l'aide du logiciel Surfer 13.

- *Commentaire du profil (1) :*

D'après le profil, le plateau continental s'étend sur une distance de 500m par rapport au rivage, avant de laisser place à une rupture de pente qui dénote du début du talus continental qui est caractérisé par une forte déclivité avant de s'achever, avec une pente plus douce, soit vers un glacis ou le fond marin aux environs de -400m de profondeur.

- *Commentaire du profil (2) :*

On observe que le plateau continental est beaucoup plus étendue, jusqu'à une distance de 1500m à partir du trait de côte, pour enchaîner avec un talus continental dont la déclivité est faible et qui s'achève par une brusque rupture de pente qui peut être dû à la configuration de la croûte continentale en elle-même, ou à l'apparition du glacis ou du fond marin.

En comparant entre les deux profils, on observe que la croûte continental est beaucoup plus étroite avec une déclivité plus forte au niveau de la partie ouest, ou se situe notre zone d'étude, que sur la partie plus à l'est. Ce qui semble concorder avec la définition d'une marge continental active et qui est confirmée par les événements de 2003, avec le tremblement de terre dû à l'activité tectonique.

**Chapitre IV : *Modélisation de la
dynamique côtière par le Mike 21***

5 Chapitre IV : Modélisation de la dynamique côtière par le Mike 21

5.1 - Résultats de simulation de l'état initial du site:

L'état initial représente la zone d'étude avant la réalisation des ouvrages de protection.

Les résultats de simulation numérique sont présentés pour les directions 315N°, 360N° et 45°N.

- Régime des houles affectant la zone d'étude :

Tableau 5.1: Fréquence équivalente d'apparition des houles au large de la commune d'Ain Tay à partir de L'U.S Naval Weather Service Command (S.S.M.O).

Fréquence équivalente	Nord	Nord Est	Ouest	Nord Ouest	Est
6	7.52	17.02	19.97	5.72	22.22
8	0.94	1.21	4.68	0.81	0.91
10	0.09	0.11	0.44	0.03	0.01
Somme	8.55	18.34	25.08	6.56	23.15

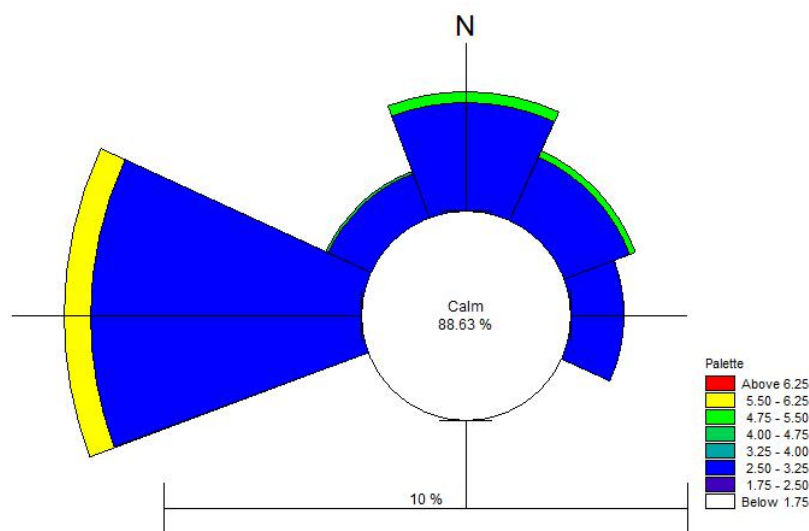


Figure 5.1: Rose des houles annuelles au large de la commune d'Ain Taya réalisée par le logiciel MIKE 21.

Cette rose des houles, représente le régime annuel des houles au large de la commune d'Ain Taya pour les trois périodes cités dans le tableau au-dessus.

Même si le tableau semble indiquer que la direction Ouest du régime des houles est la plus dominante avec 25%, et puis celle du régime des houles de direction Est avec 23%, nous ne les prendrons pas en considération dans la simulation numérique. Les effets hydrodynamiques des houles perpendiculaires à la côte sont plus énergétiques que leurs consœurs, avec une hauteur significative dominante pour les houles direction Nord 360°.

5.1.1 - Action des houles de direction Nord Ouest (315N°) :

5.1.1.1 - Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La propagation de la houle du large jusqu'à la côte, commence à subir des modifications à l'approche du rivage, plus précisément dès que la profondeur devient inférieure à la moitié de la longueur d'onde de la houle, l'effet du fond marin se fait ressentir en freinant sa propagation, perdant ainsi sa célérité avec une disposition général des crêtes des vagues parallèles aux isobathes. C'est le phénomène de réfraction.

La réfraction représente un phénomène très important pour comprendre l'évolution des littoraux car elle explique pourquoi, sur une côte donnée et pour un même type de houle, l'énergie libérée par les vagues est plus considérable en certains secteurs qu'en d'autres (Paskoff, 1998).

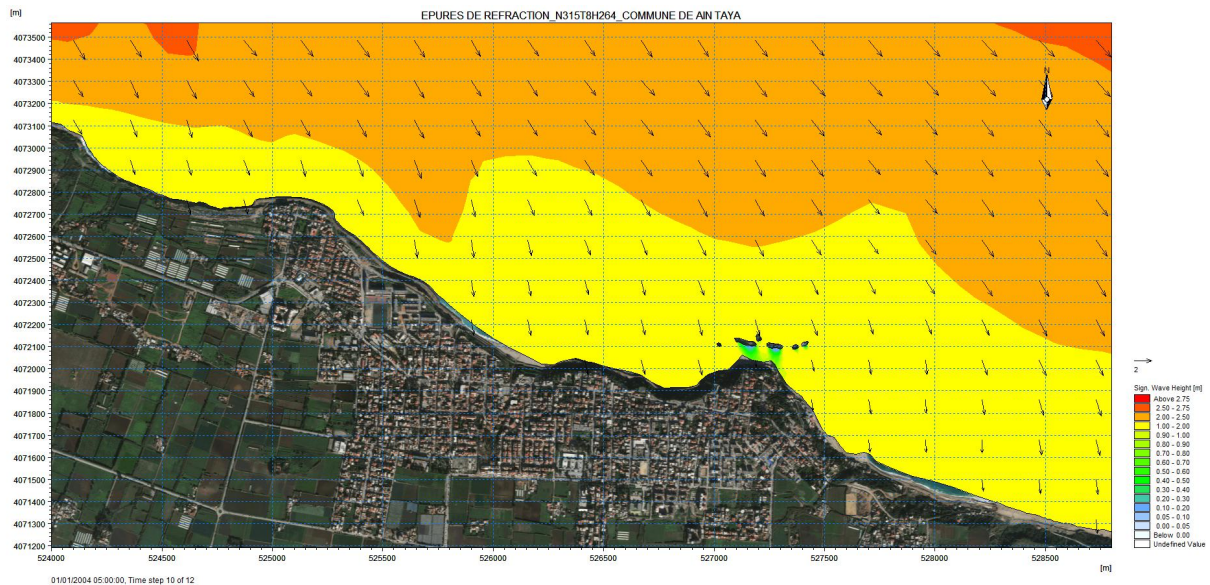


Figure 5.2: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, $D= 315^{\circ}N$; $H_s=2,64m$ et $T=8s$.

Le H_s représente la hauteur significative en mètres qui varie globalement de 0,05 à 2,75m au niveau du site, les vecteurs représentent par leurs sens la direction de propagation de la houle, leurs longueurs étant proportionnelle à la hauteur de la houle.

La propagation de la houle de direction $N315^{\circ}$ (figure 5.2), se traduit à l'approche du rivage par une modification de ces caractéristiques à savoir une diminution de la hauteur dû à l'éloignement des orthogonales de la houle entre elles en s'avancant vers la côte Est algéroise. La houle venant du large en abordant le rivage perd une partie de son énergie (1.00-2.00) m.

5.1.1.2 VI.2.2- Courantologie (Hydrodynamic, HD) :

Les courants qui sont intéressants pour la compréhension de l'évolution des littoraux sont les courants engendrés par les vagues, à l'exclusion des grands courants liés à la circulation générale dans les océans et les mers auxquels il arrive de longer des côtes mais qui n'ont pas

sur elles de répercussions morpho-sédimentaires en raison de leurs très faibles vitesses (Paskoff, 1998).

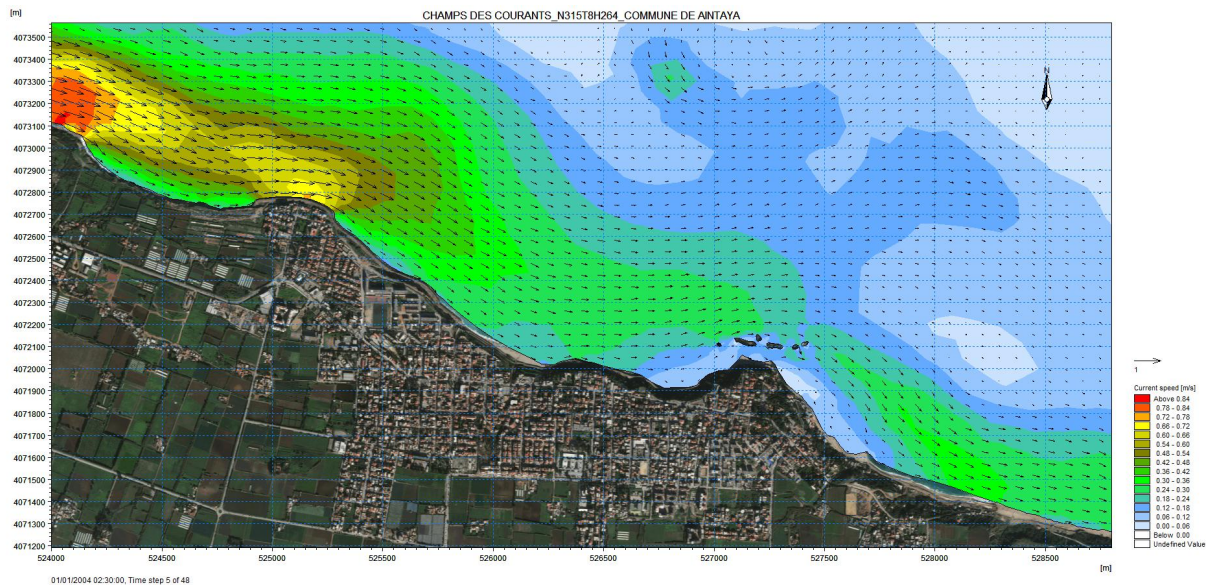


Figure 5.3: Carte de répartition du champ des courants, $D= N315^\circ$, $H_s = 2,64m$, $T= 8s$.

Les courants littoraux induits par la houle, de direction $N315^\circ$ (figure 5.3), sont de direction Ouest vers l'Est, ce qui coïncide avec la direction des houles dominantes cités plus avant.

Dans la représentation graphique des résultats, les vecteurs représentent non seulement la direction des courants par leurs sens d'orientation, mais aussi le gradient de vitesse de par leurs longueurs.

Ce qui nous permet d'observer que les courants littoraux venant de l'Ouest sont les plus rapides atteignant les $0.84m/s$ ce qui s'approche d' $1m/s$, leurs vitesses s'affaiblit dû à l'obstacle naturel que représente le plateau-rocheux en avant de la plage Surcouf, qui les ralentit ($0,24-0,30m/s$).

Dépassant cet obstacle naturel, les courants reprennent leurs cheminements vers l'Est avec un gradient de vitesse qui augmente graduellement.

Au-delà de la zone de déferlement, le champ de houle semble prendre des directions circulaires, avec un gradient de vitesse faible ($0,06m/s$).

5.1.1.3 - Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

Si le pouvoir d'érosion des courants dus aux vagues_ la dérive littorale et les courants de retour_ sur les roches cohérentes est faible, leur capacité de transport est élevée (Paskoff, 1998).

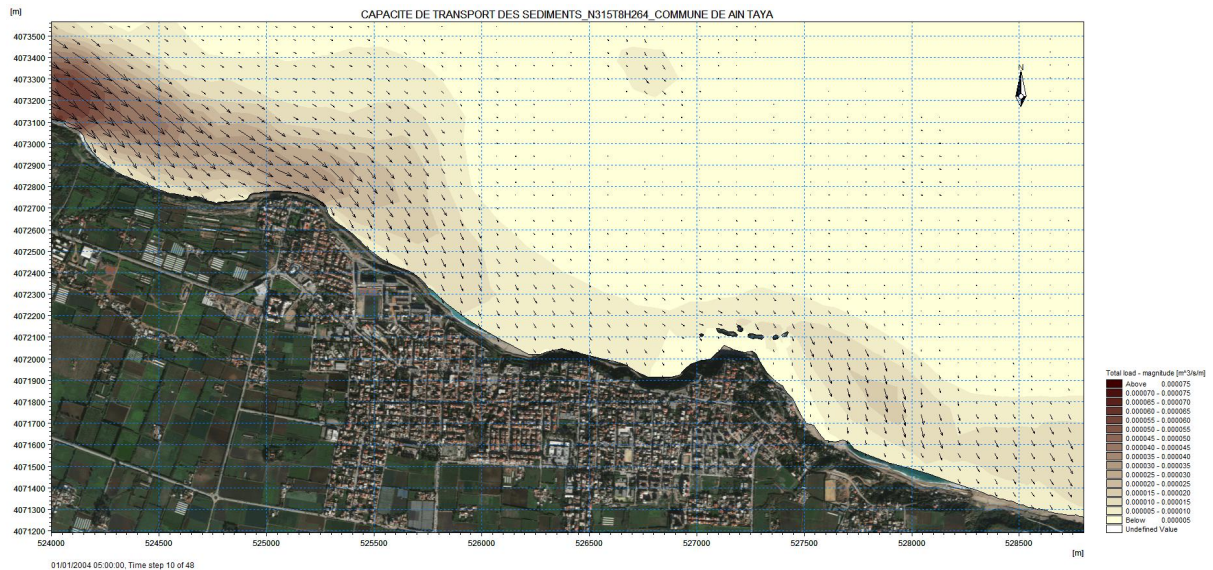


Figure 5.4: Carte de répartition du flux sédimentaire, $D= N315^\circ$, $H_s= 2,64m$, $T=8s$.

Sur le plan Sédimentologique, le gradient de couleur du marron jusqu'au blanc ainsi que les vectrices vitesses, traduisant des capacités de transport solide du plus important vers le moins important. Le transit sédimentaire dans la zone d'étude reflète l'activité hydrodynamique observée dans les champs des courants, nous observons qu'il y a une similitude avec la carte des champs du courants, que ce soit du point de vue de la direction du transport ou du gradient de la quantité/vitesse de transport par $m^3/s /m$.

Ce qui semble logique, puisque plus la quantité de sédiments à transporter est importante, plus l'énergie hydrodynamique nécessaire pour la transporter est importante, ce qui mets en concordance, la direction des houles dominantes, la direction des courants dominant et la direction du transport sédimentaire dominant est la même d'Ouest-Est.

On note que la capacité maximale de transport des sédiments de direction Ouest-Est est de l'ordre de $2365,2 m^3/an/m$.

Au contraire de la capacité minimale de transport qui est de l'ordre de : $157m^3/an/m$, dans la direction semble se diriger de la côte vers le large, ou elle disparaît dans les profondeurs du bassin occidental méditerranéen.

On remarque que derrière le plateau-rocheux naturel, la circulation du transport sédimentaire reprend d'Ouest-Est avec un gradient de transport plus élevé que le minimum, on peut supposer que c'est une zone d'accumulation, car abritée par l'obstacle naturel du courant dominant, cette partie de bande côtière transgresse donc si l'on prend en compte seulement la direction $N315^\circ$.

5.1.2 - Action des houles de direction Nord 360° :

5.1.2.1 -Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

Nous remarquons que par rapport aux houles de direction N315° (figure 5.2), les houles frontales de direction N360° (figure 5.5), perdent moins d'énergie dans leurs propagations vers le rivage avec une hauteur significative beaucoup plus élevée (2,00-2,50 m). Cela semble confirmer que les houles perpendiculaires au tracé de la côte, sont les plus dangereuses du point de vue submersion et érosion, surtout en période de mauvais temps.

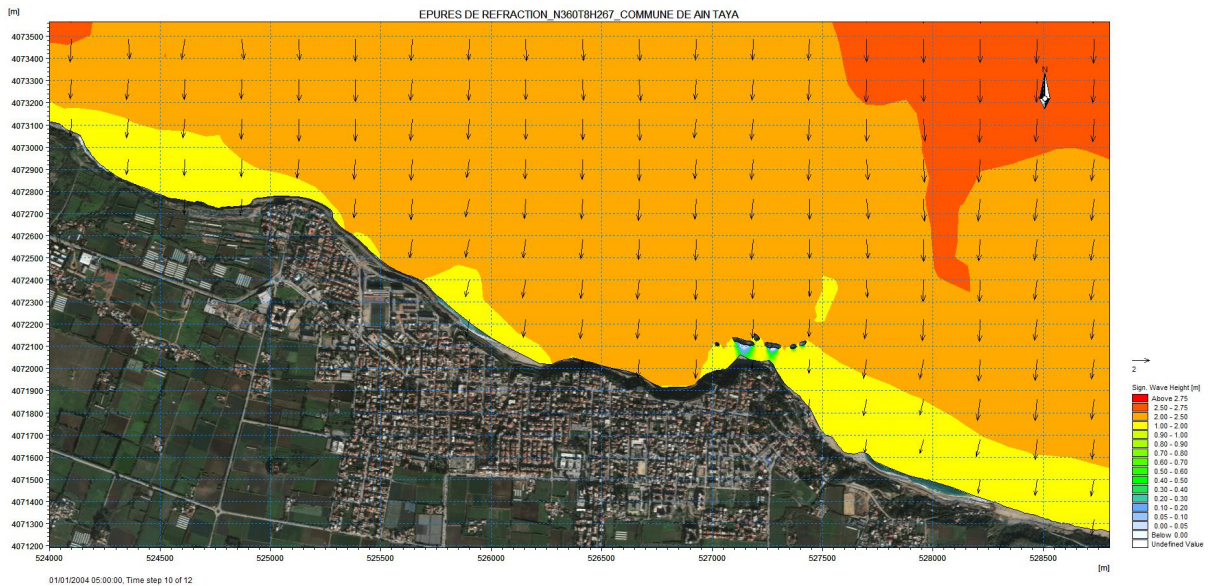


Figure 5.5: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, D= N360° ; Hs=2,67m ; T=8s.

5.1.2.2 - Courantologie (HydroDynamic, HD) :

Les courants littoraux induits par la houle de direction N360° (figure 5.6), semblent indiquer l'existence de plusieurs dont le plus dominant est celui de direction Ouest-Est avec une vitesse maximale de (0,48-0,54)m/s.

Nous observons qu'à l'est du plateau rocheux, se forme un courant tourbillonnaire formé par un courant venant du large et qui bifurque dans le sens des aiguilles d'une montre. Cette modification dans la direction des courants pourrait être expliquée par l'influence du courant de dérive littorale.

En dépit du phénomène de réfraction, les vagues arrivent le plus souvent au rivage avec une certaine obliquité qui explique, l'existence entre les lignes de déferlement et le trait de côte, d'un courant parallèle au littoral, le plus souvent désigné sous le nom de dérive littorale. Ce courant joue un rôle très important dans l'évolution des rivages, en particulier quand il s'agit de plages, et sa connaissance est essentielle lorsque l'on procède à des aménagements qui empiètent sur l'espace infralittoral (Paskoff, 1998).

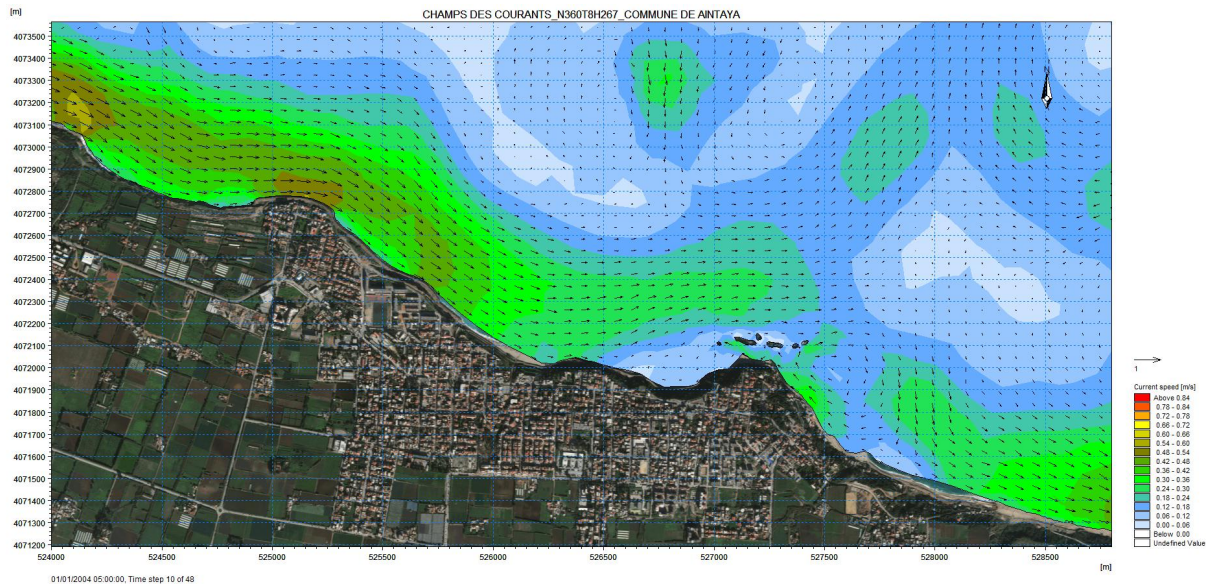


Figure 5.6: Carte de répartition du champ des courants, $D= N360^\circ$; $H_s=2,67m$ et $T=8s$.

5.1.2.3 -Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

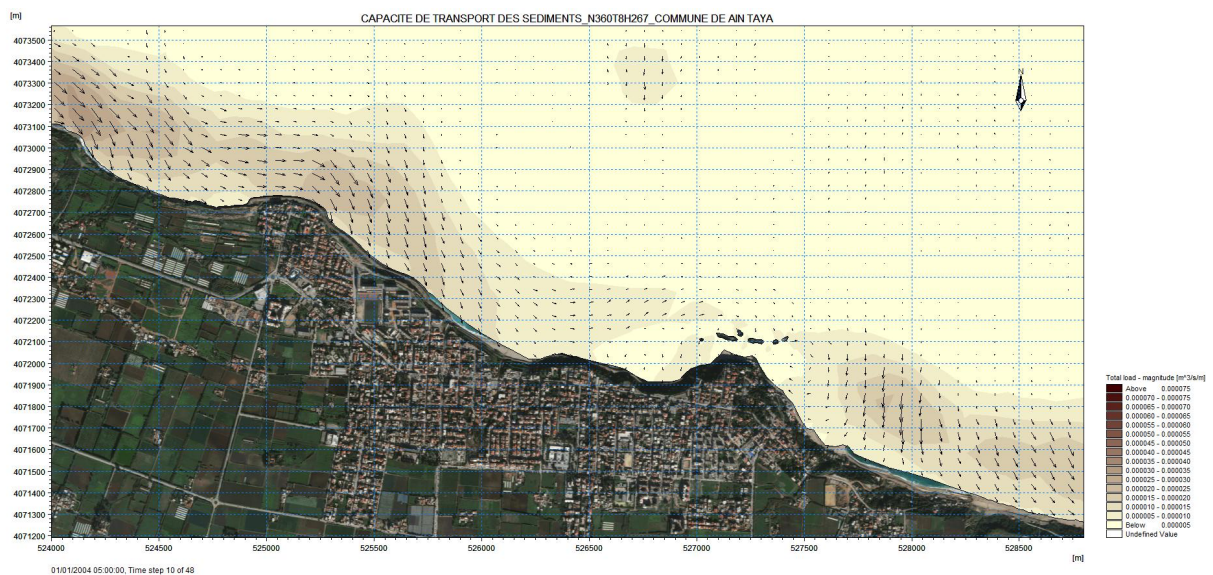


Figure 5.7: Carte de répartition du flux sédimentaire, $D= N360^\circ$; $H_s=2,67m/s$ et $T=8s$.

Le sens du transport des sédiments (figure 5.7), semble coïncider avec le sens des courants de la propagation des houles direction $N360^\circ$ (figure 5.6).

La capacité maximale de transport de l'ordre de $1576,8 \text{ m}^3/s/m$ semble se diriger d'Ouest vers l'Est .

Le courant de transport sédimentaire semble reprendre à l'Est du plateau rocheux avec un ordre de $946,08\text{m}^3/\text{an}/\text{m}$, alors qu'au niveau de l'ouest du plateau rocheux, la capacité de transport sédimentaire semble beaucoup plus faible entre $315,36\text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$ et $473,04\text{m}^3/\text{an}/\text{m}$.

5.1.3 - Action des houles de direction Nord Est 45° :

5.1.3.1 - Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La propagation de la houle de direction $N45^\circ$ (figure 5.8), semble se traduire également par la diminution de la hauteur de la houle du large vers la côte, mais à des degrés différents selon la zone de propagation.

Les houles de l'Est semblent diminuer de hauteur plus tardivement à l'approche du rivage, entre (2,00-2,50) m , à l'approche du rivage que leurs homologues de l'ouest avec une diminution de l'ordre de (1,00-2,00)m.

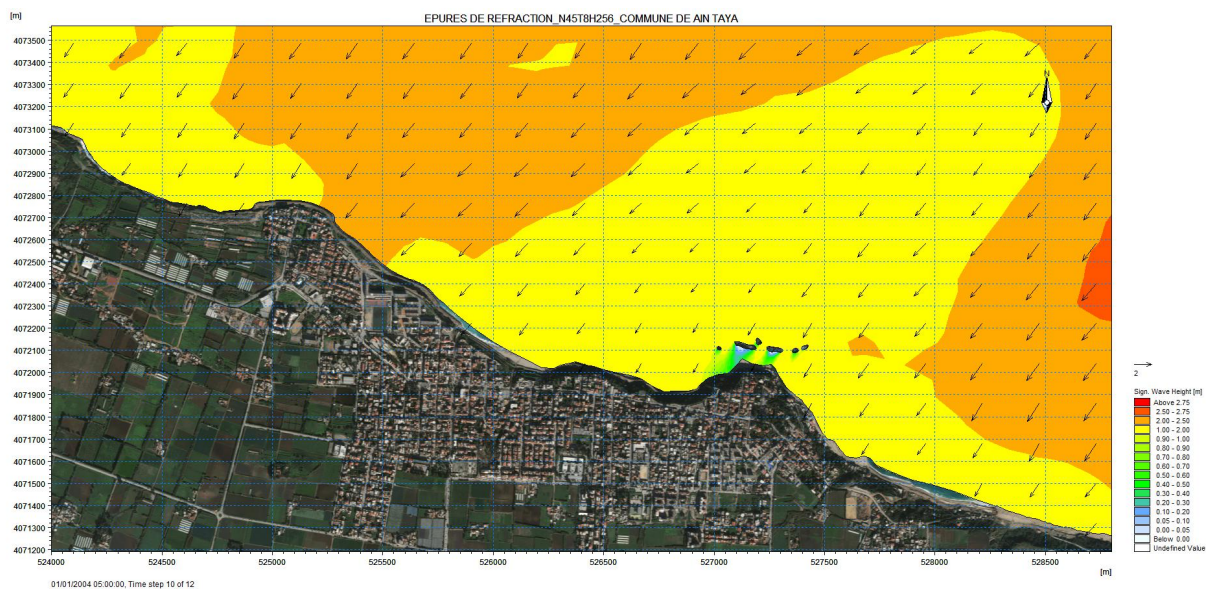


Figure 5.8: Carte de répartition du champ de réfraction des houles, $D=N45^\circ$, $H_s= 2,56\text{m}$ et $T=8\text{s}$.

5.1.3.2 - Courantologie (HydroDynamic, HD) :

Nous observons, au contraire des courants littoraux induits par le régime des houles de direction $N315^\circ$ (figure 5.3) et $N360^\circ$ (figure 5.6), que ceux induits par la direction $N45^\circ$ (figure 5.9) ont une direction prédominante de l'Est vers l'Ouest avec un gradient de vitesse maximal entre (0,48 et 0,54) m/s.

Nous remarquons aussi, que le plateau-rocheux ne semble pas ralentir la course de ces courants littoraux se dirigeant vers l'Ouest avec une vitesse moyenne de $0,57\text{m}/\text{s}$.

Un peu plus à l'ouest du plateau rocheux, les courants littoraux semblent changer de direction, par rapport à leurs homologues qui sont parallèles au trait de côte, pour une direction oblique au tracé du rivage, ce qui pourrait suggérer l'existence d'un courant d'arrachement.

La compensation de l'apport d'eau à la côte par les vagues qui déferlent se fait par des *courants d'arrachement*, qualifiés parfois aussi de sagittaux, qui peuvent être perpendiculaires ou bien obliques par rapport au rivage (Paskoff, 1998).

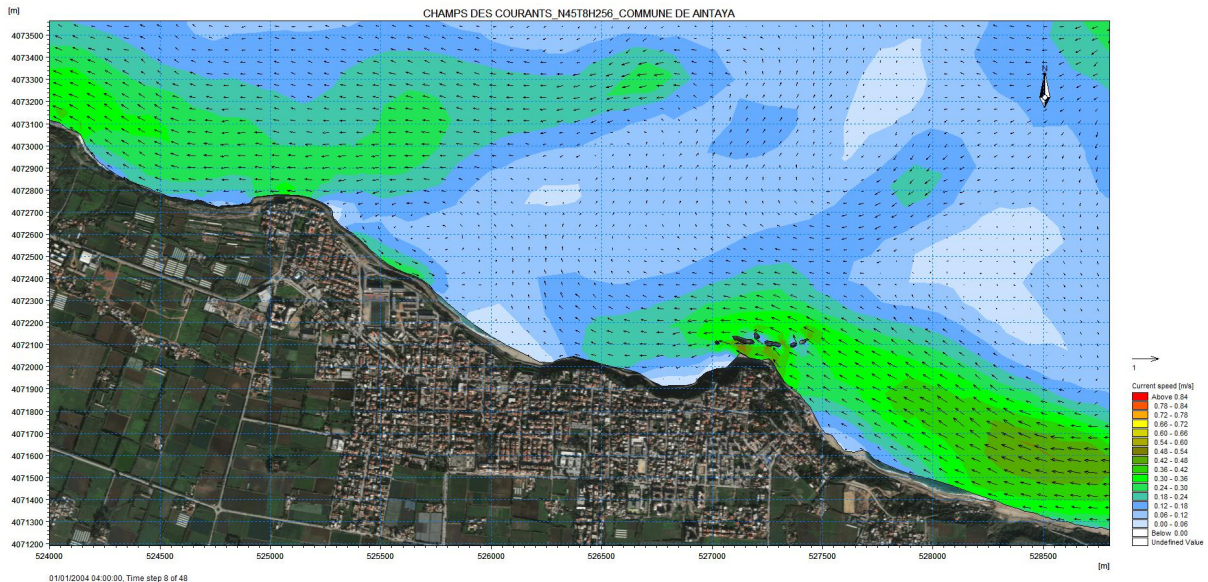


Figure 5.9: Carte de répartition du champ des courants, $D= N45^\circ$; $H_s=2,56m$, $T=8s$.

5.1.3.3 - Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

La capacité de transport solide (figure 5.10), semble indiquer une capacité moyenne de direction Est vers Ouest de l'ordre de $867,24 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$, plus faible que ses homologues de direction $N360^\circ$ (figure 5.7) et $N315^\circ$ (figure 5.4).

La capacité maximale du transport sédimentaire semble se situer juste à l'est du plateau rocheux avec une capacité de transport moyen de l'ordre de $1103,76 \text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$.

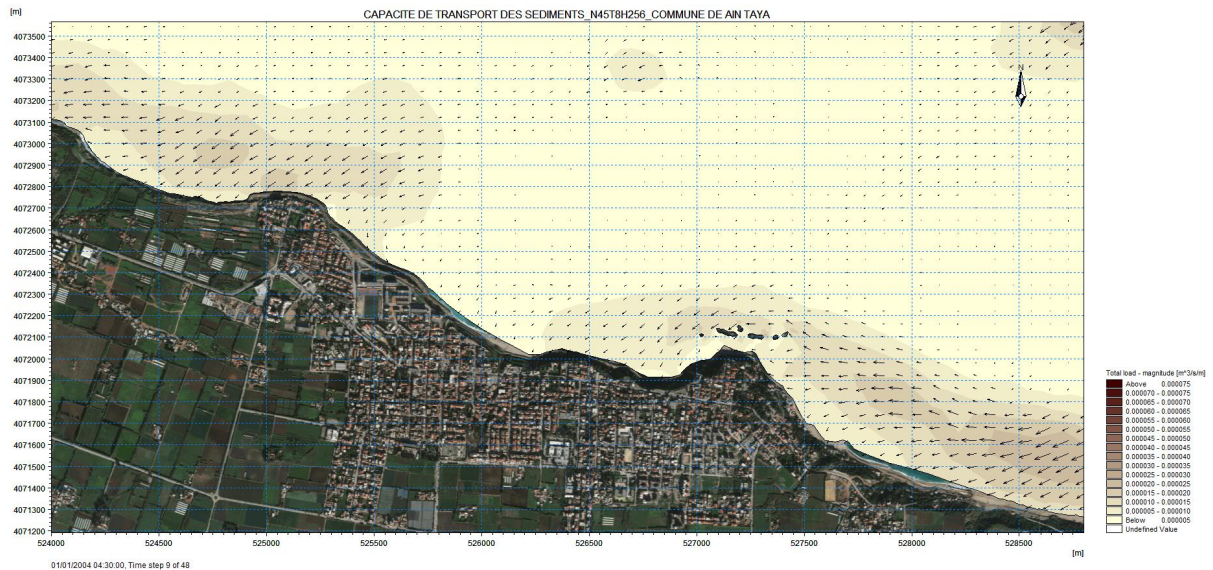


Figure 5.10: Carte de répartition du flux sédimentaire, $D=N45^\circ$, $H_s= 2,56m$ et $T=8s$.

5.2 -Résultats de simulation état récent :

L'état actuel représente la zone d'étude avec la présence des brise lames après leurs constructions.

Les résultats de simulation sont présentés et interprétés pour les directions $N315^\circ$, $N360^\circ$ et $N45^\circ$.

5.2.1 -Action des houles de direction Nord-Ouest ($315^\circ N$) :

5.2.1.1 - Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La propagation des houles de direction $N315^\circ$ (figure 5.11), venant du large, semblent subir des modifications dans leurs caractéristiques lorsqu'elles se rapprochent de la zone littorale due à l'effet du fond. La hauteur des houles semble diminuer jusqu'à une hauteur moyenne de l'ordre de 1,23m.

Nous observons qu'au niveau des brises lames, la hauteur des houles semblent se réduire considérablement derrière ces ouvrages, avec un gradient de hauteur significative entre (0,30 et 0,05) m. Ce qui est une preuve de la réalisation de leur but qui est d'absorber l'énergie des vagues avant qu'elles n'atteignent l'estran pour que ce dernier ne subisse plus l'impact des houles déferlantes.

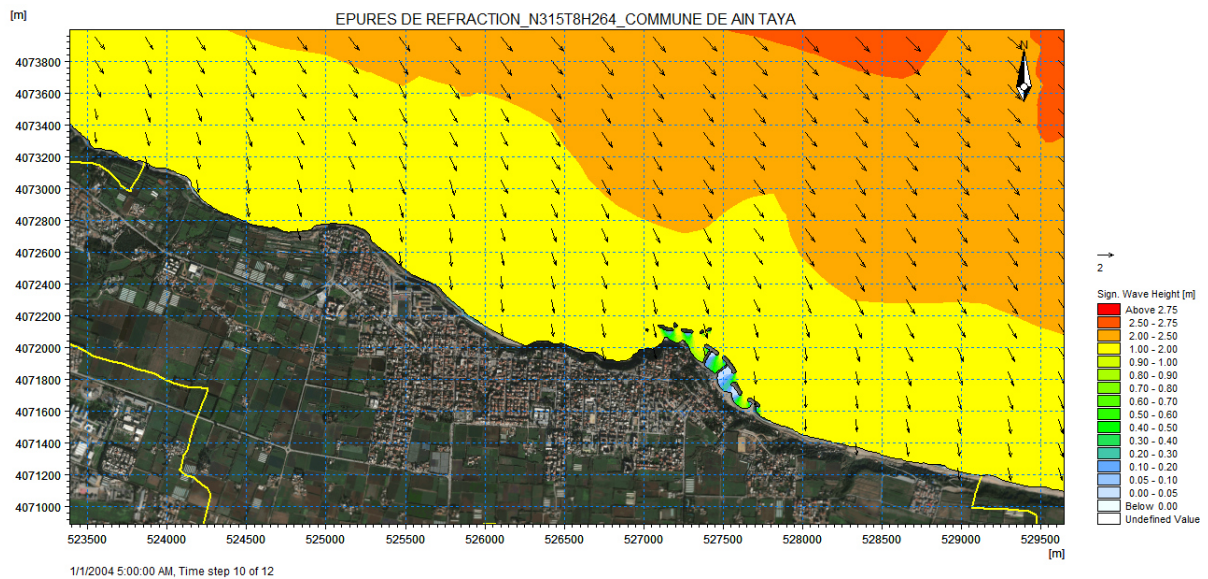


Figure 5.11: Carte de répartition du champ de réfraction de la houle, $D=N315^\circ$; $H_s=2,64\text{m}$ et $T=8\text{s}$.

5.2.1.2 -Courantologie (HydroDynamic, HD) :

Les courants littoraux induits par la propagation des houles de direction $N315^\circ$ (figure 5.12), semblent indiquer une direction prédominante le long de la bande côtière d'Ouest vers l'Est avec une vitesse entre $(0,30 - 0,40)$ m/s.

Les ouvrages semblent aussi ralentir si ce n'est éliminer la circulation des courants dans les eaux internes de leurs mise en place avec un gradient de vitesse très faible de l'ordre de $(0,05 - 0,1)$ m/s.

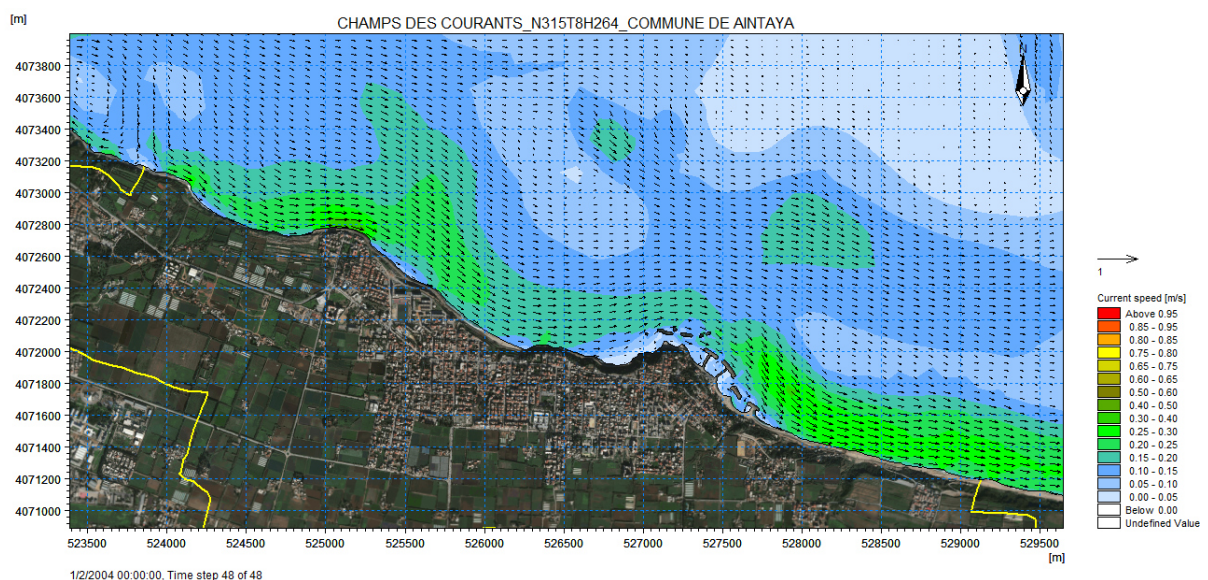


Figure 5.12: Carte de répartition du champ des courants, $D=N315^\circ$; $H_s=2,64\text{m}$ et $T=8\text{s}$.

5.2.1.3 -Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

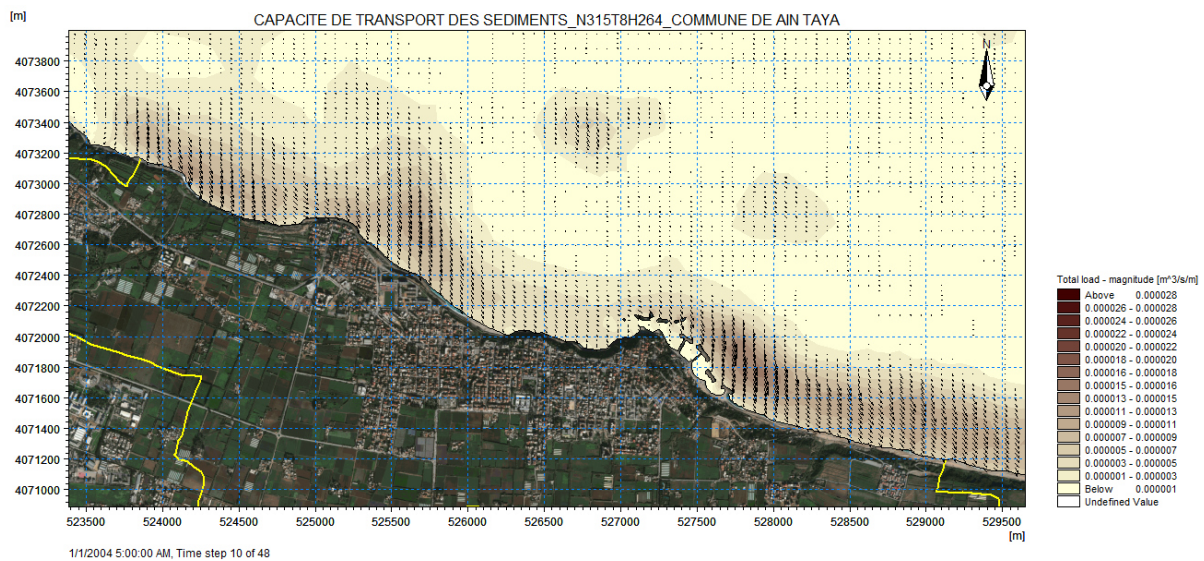


Figure 5.13: Carte de répartition du flux sédimentaire, $D=N315^\circ$; $H_s=2,64m$ et $T=8s$.

Le transport sédimentaire régit par le régime des houles de direction $N315^\circ$ (figure 5.13), semble indiquer que la direction globale du transport se superpose à celle de la direction des courant (figure 5.12). En effet, il est de direction d'Ouest vers l'Est, mais le sens d'orientation de ces courants sédimentaires semble moins parallèle à la côte et plus oblique au tracé du rivage.

La concentration maximale du transport sédimentaire semble se situer à l'Est des brises lames avec une capacité moyenne de transport des sédiments solides de l'ordre de $725,328m^3/an/m$.

5.2.2 - Action des houles de direction Nord ($N360^\circ$) :

5.2.2.1 -Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La propagation des houles de direction $N360^\circ$ (figure 5.14), semble indiquer que ces houles dans la hauteur significative est la plus importante parmi les trois directions de houle. Leur impact d'incidence frontale sur le rivage est de l'ordre de (2,00-2,50) m. La hauteur significative a donc diminué en perdant une partie de son énergie venant du large, qui serait dû à l'effet du fond marin et qui se fait ressentir à l'approche de la côte (phénomène de réfraction).

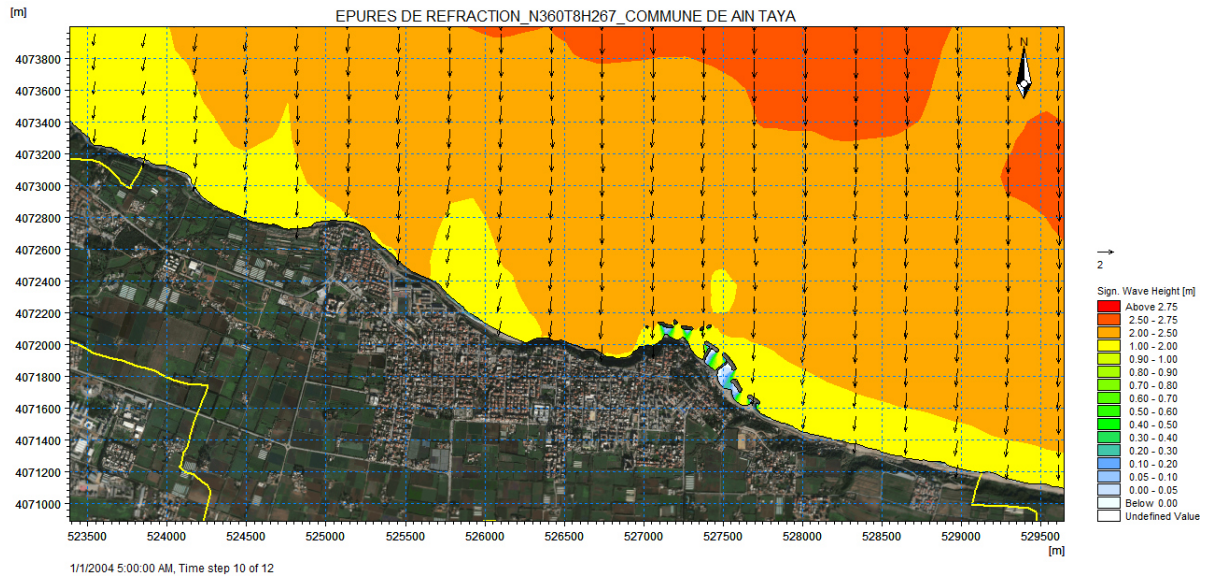


Figure 5.14: Carte du champ de réfraction des houles, $D=N360^\circ$; $H_s=2,67m$ et $T=8s$.

5.2.2.2 -Courantologie (HydroDynamic, HD) :

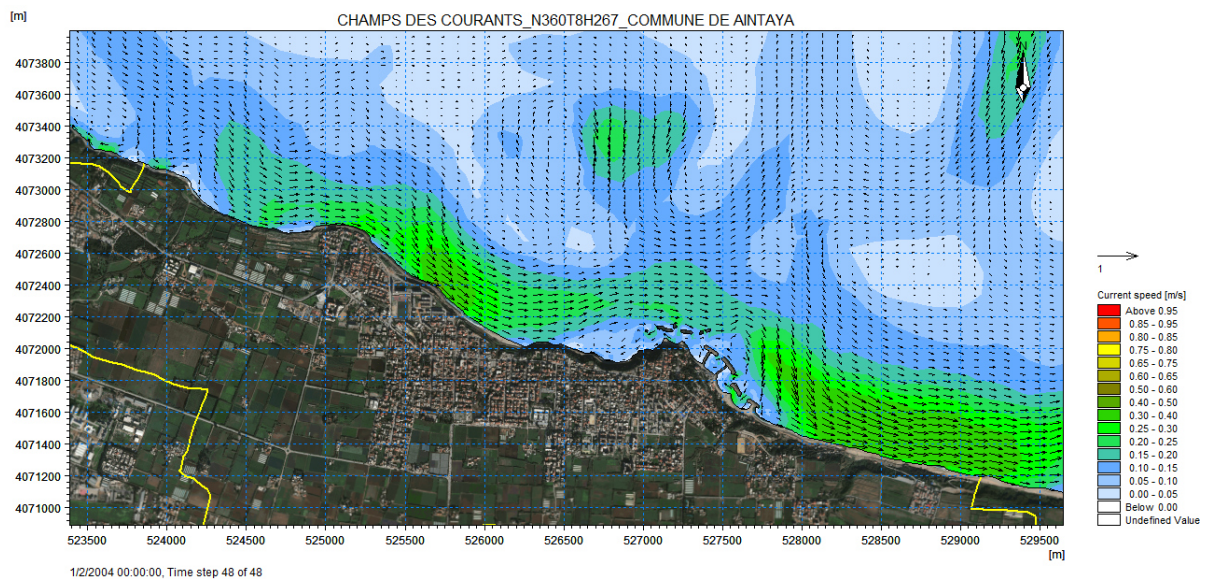


Figure 5.15: Carte de répartition du champ des courants littoraux, $D= N360^\circ$, $H_s=2.67m$ et $T=8s$.

Les courants littoraux induits par le régime de houle de direction $N360^\circ$ (figure 5.15), semblent laisser prévaloir la direction Ouest vers l'Est près de la ligne de rivage, avec un gradient de vitesse maximal entre (0,40-0,50)m/s.

La direction des courants plus au large, semble indiquer un tracé plus irrégulier et tourbillonnaire.

5.2.2.3 -Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

Le transport sédimentaire régit par les houles de direction N360° (figure 5.16), semble indiquer une très grande concordance, dans la direction de transport global, de celle de la carte démontrant le transport des sédiments solide de direction N315° (figure 5.13).

La direction dominante du transport sédimentaire est donc de direction Ouest vers l'Est, avec une capacité maximale de l'ordre de 756,864m³/an/m, qui se situe à l'Est des brises lames.

Cette concentration des sédiments au niveau des brise lames, semble suggérer une zone d'accrétion sédimentaire alimentée par le courant de dérive littoral. A l'aval des brises lames, où se situe le plateau-rocheux, la capacité de transport des sédiments solides est plutôt faible, de l'ordre de 157,68m³/an/m.

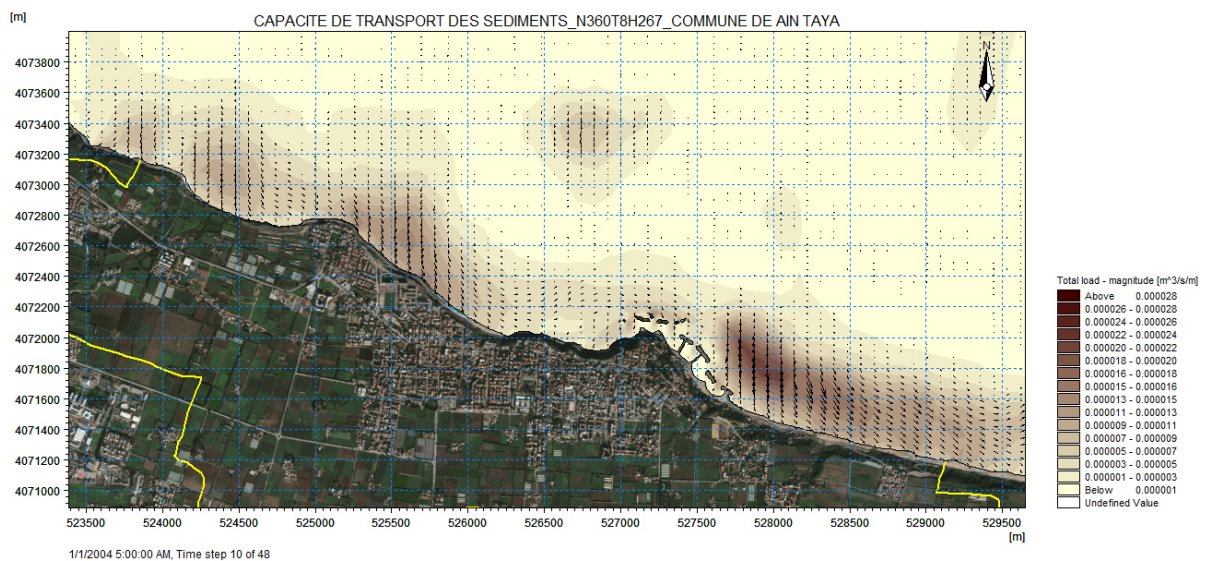


Figure 5.16: Carte de répartition du flux sédimentaire, D=N360° ; Hs=2,67m et T=8s.

5.2.3 -Action des houles de direction Nord-Est (N45°) :

5.2.3.1 - Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

La propagation de la houle de direction N45° (figure 5.17), semble diminuer de hauteur à l'approche du rivage dû à l'effet de fond qui altère les caractéristiques de cette houle venant du large. Cette houle perd donc une partie de son énergie, avec une hauteur de l'ordre de (0,90-1,00) m et encore moins derrière les brises lames (0,20-0,30) m.

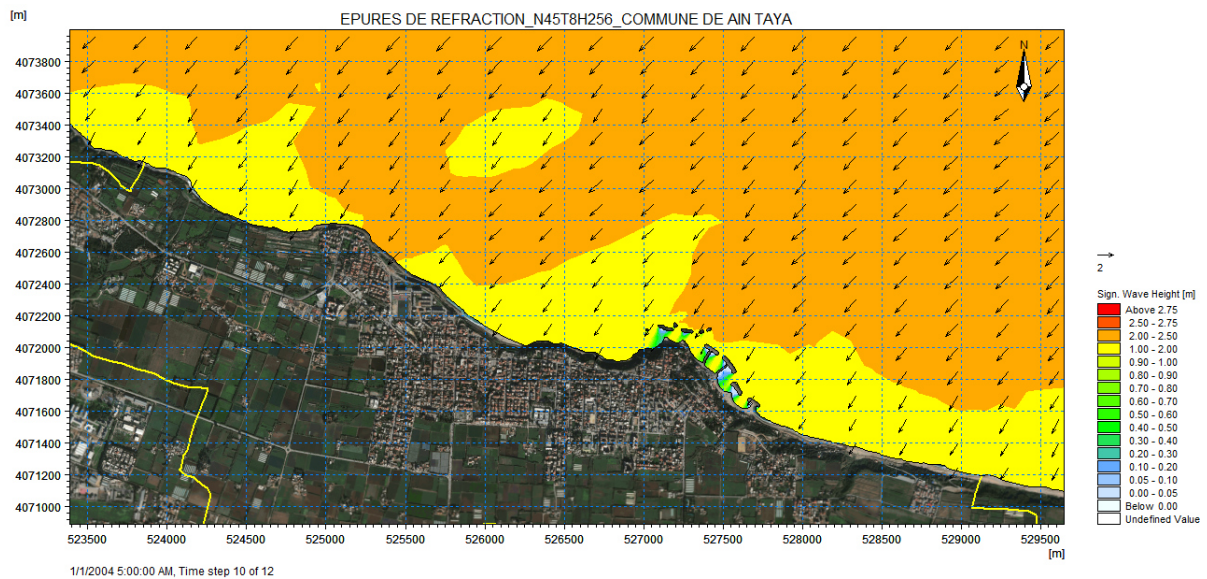


Figure 5.17: Carte du champ de réfraction des houles de $D=N45^\circ$; $H_s= 2,56m$ et $T=8s$.

5.2.3.2 -Courantologie (HydroDynamic, HD) :

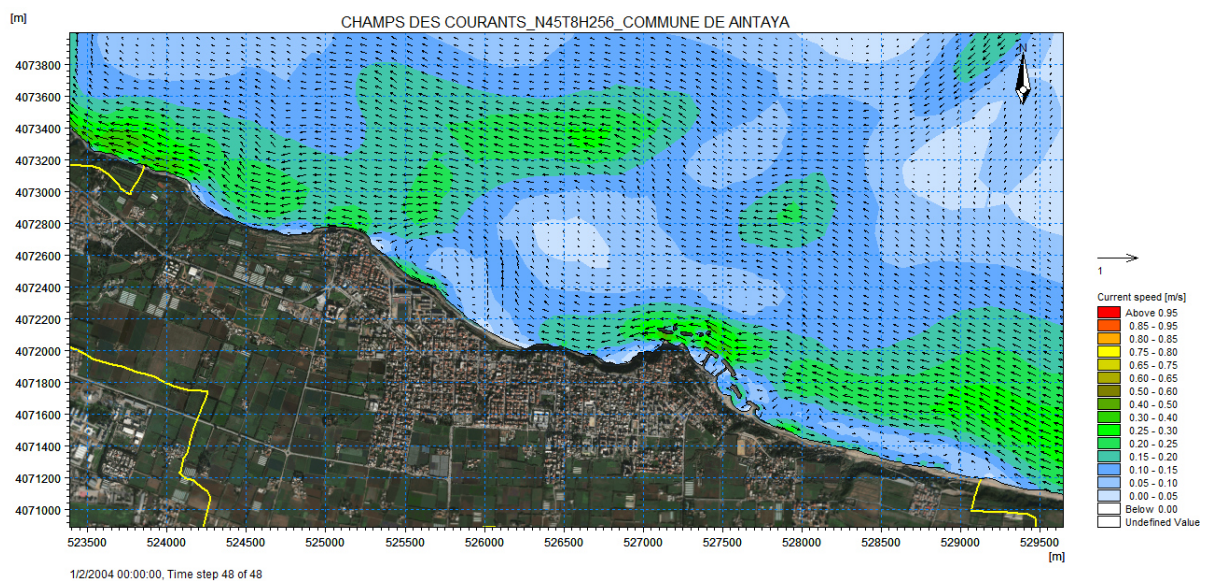


Figure 5.18: Carte de répartition du champ des courants littoraux, $D= N45^\circ$; $H_s=2,56m$ et $T= 8s$.

Les Courants littoraux induits par la houle de direction $N45^\circ$ (figure 5.17), semblent indiquer une direction dominante d'Est vers l'Ouest, complètement contraire au reste des directions étudiées.

La direction des courants littoraux semble parallèle au tracé de la côte et parallèle aux courants du large qui se dirigent tous d'Est vers l'Ouest mais à des gradients de vitesse différents.

Les vitesses de courants littoraux les plus importantes semblent se situer à l'est des ouvrages de protection, et à la limite Ouest de la zone d'étude avec une vitesse moyenne de l'ordre de 0,45m/s.

5.2.3.3 -Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

Sur le plan sédimentologique, la capacité de transport des sédiments solides induit par la houle de direction N45° (figure 5.18), indique une direction en adéquation avec celle des courants littoraux qui est donc d'Est vers l'Ouest avec un gradient de flux de transport sédimentaire maximal au niveau de la zone des ouvrages de protection de la plage Surcouf et aussi à la limite Ouest de la zone d'étude, qui est de l'ordre de 630,72m³/an/m.

Pour le reste des courants de transport sédimentaire, leur gradient de transport varie entre 220,752m³/an/m et 283,824m³/an/m.

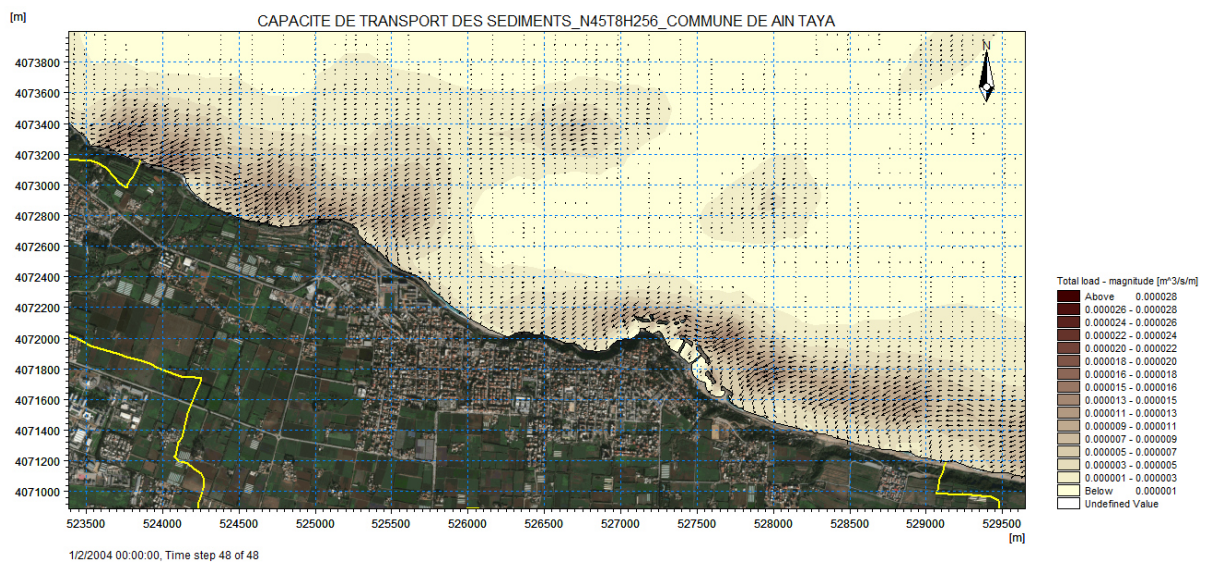


Figure 5.19: Carte de répartition du flux sédimentaire, D=N45° ; Hs=2,56m et T=8s.

5.3 - Comparaison entre l'état initial et l'état actuel sur la plage Flot Bleu :

5.3.1 - Comparaison avant/après selon l'impact de la houle de direction N315° :

5.3.1.1 - Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

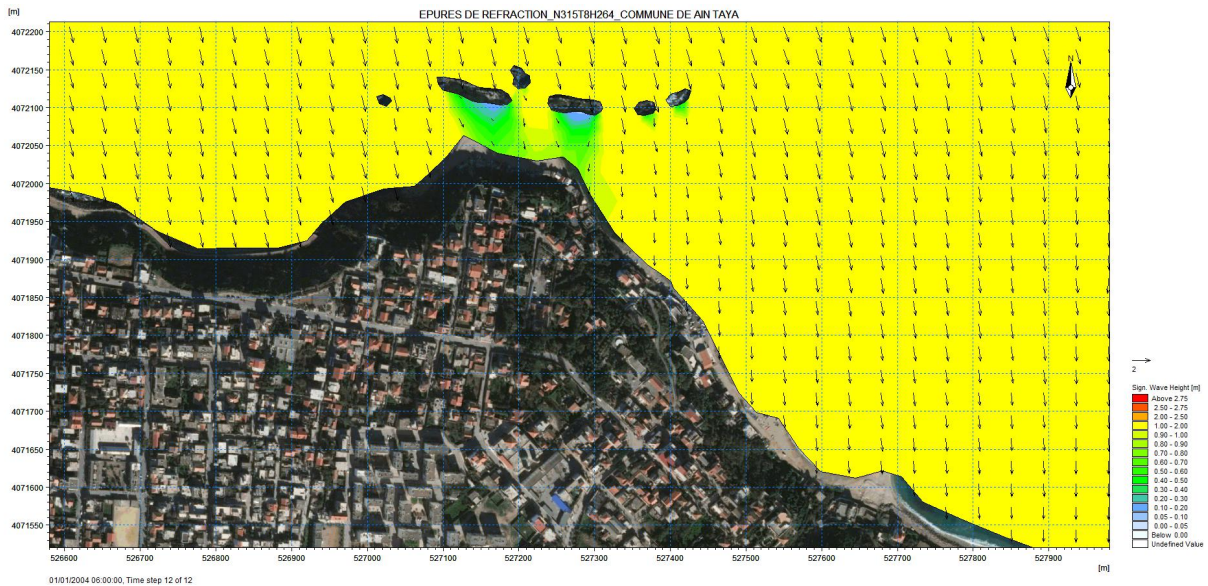


Figure 5.20: Carte de répartition du champ de réfraction des houles pour la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=315^{\circ}N$; $H_s=2,64m$ et $T=8s$.

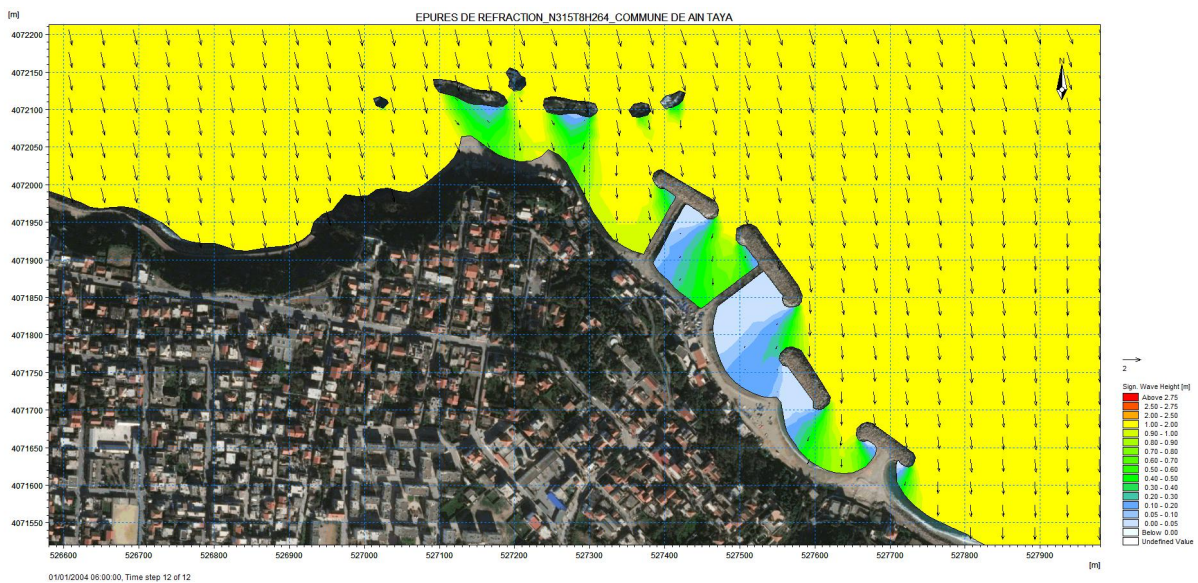


Figure 5.21: Carte de répartition du champ de réfraction des houles pour la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=315^{\circ}N$; $H_s=2,64m$ et $T=8s$.

Comme mentionné précédemment, les vecteurs par leurs sens représentent la direction de propagation des houles et par leurs longueurs proportionnelles à la hauteur des houles.

Pour les deux cas, la houle diminue de hauteur à l'approche de la côte (phénomène de réfraction), avec un gradient de hauteur significative de l'ordre de (1,00-2,00) m.

La différence notable que l'on peut observer est la création de zones d'eau calme à l'abri des brises lames avec un gradient de hauteur bien plus faible (0,40-0,10) m.

Un autre changement dans les caractéristiques de la houle semble prendre lieu dû à la présence des ouvrages de protection, ces derniers constituent un obstacle artificiel pour les houles qui sont alors réfléchies, partiellement ou complètement, ce qui dépend de la pente des brises lames et de la rugosité des matériaux dont ils sont constitués. Cette réflexion est capable d'empêcher le déferlement des vagues sur la côte et la mettre ainsi à l'abri de leur attaque.

5.3.1.2 -Courantologie, (HydroDynamic, HD) :

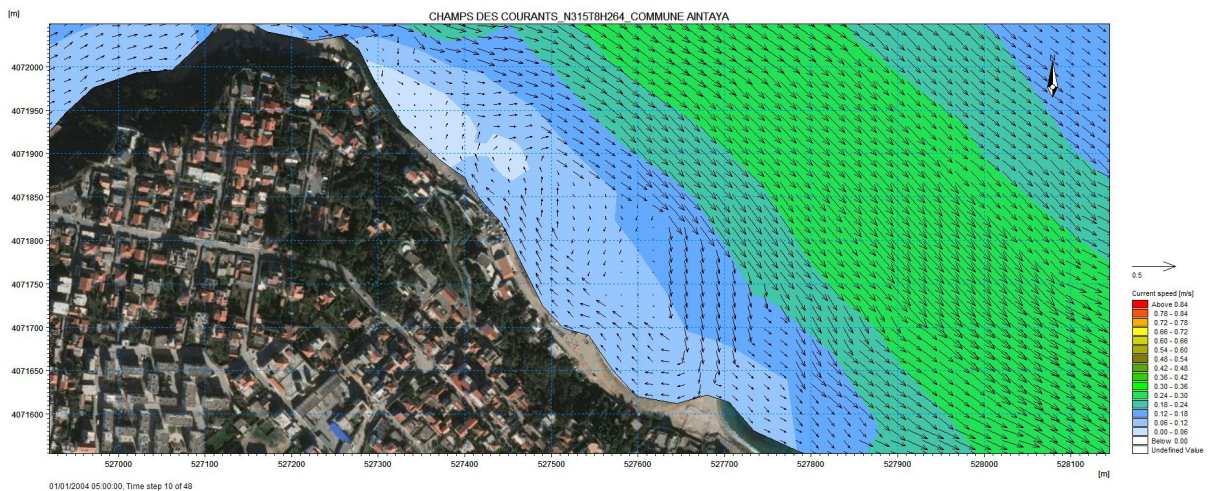


Figure 5.22: Carte de répartition du champ des courants littoraux dans la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=N315^\circ$; $H_s=2,64m$ et $T=8s$.

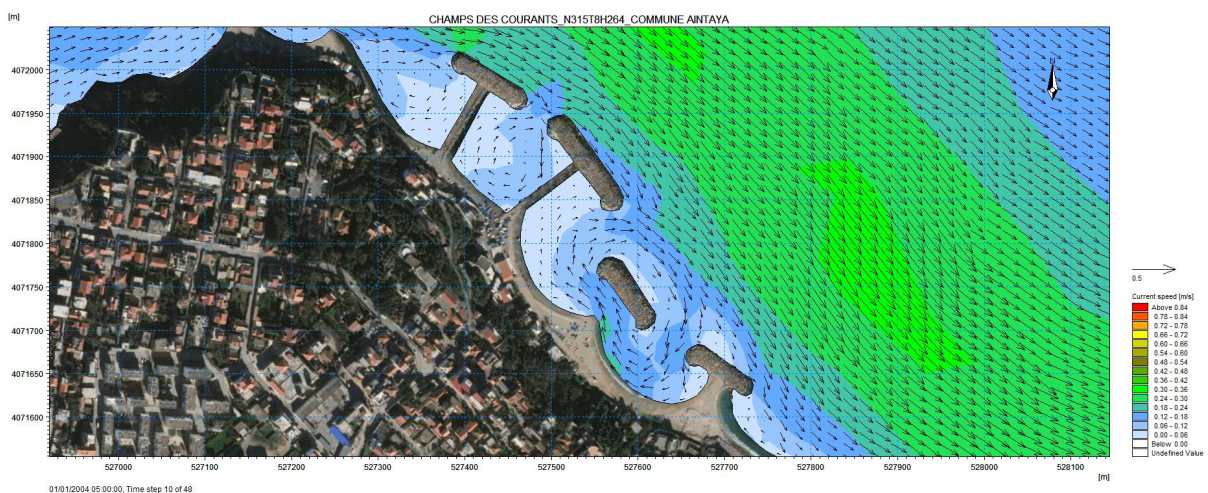


Figure 5.23: Carte de répartition du champ des courants littoraux dans la plage Flot Bleu état récent, $D=N315^\circ$; $H_s=2,64m$ et $T=8s$.

Avant la mise en place des brise lames, la circulation au niveau du rivage semble indiquer un courant tourbillonnaire de direction Est vers Ouest près du rivage, puis qui remonte vers le

large pour rejoindre le courant dominant de direction opposée. La vitesse du courant littoral giratoire avoisine les 0,21m/s.

Après la mise en place des ouvrages longitudinaux, la circulation des courants a diminué avec une vitesse moyenne de l'ordre de 0,09m/s, dont l'activité essentielle se concentre autour du seul brise lame non connecté au rivage. Alors que pour le reste des brises lames connectées au rivage, soit par un cavalier pour les deux premiers en comptant à partir de l'Ouest, soit par une bande d'accrétion pour le dernier, la vitesse du courant littoral est quasi nulle (0,00-0,06)m/s.

Ce mouvement giratoire des courants littoraux autour des brises lames peut être expliqué par le phénomène de diffraction qui affecte la houle.

La diffraction se traduit donc par un changement de direction des vagues qui pénètrent dans le plan d'eau abrité par l'obstacle en s'amortissant rapidement par divergence (Paskoff, 1998).

5.3.1.3 -Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

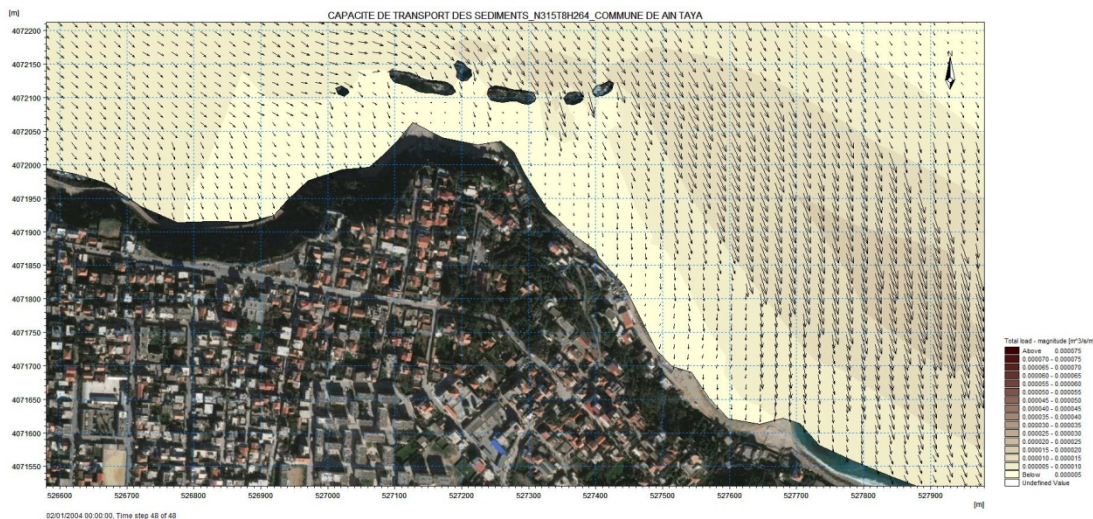


Figure 5.24: Carte de répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N315°, Hs= 2,64m et T=8s.

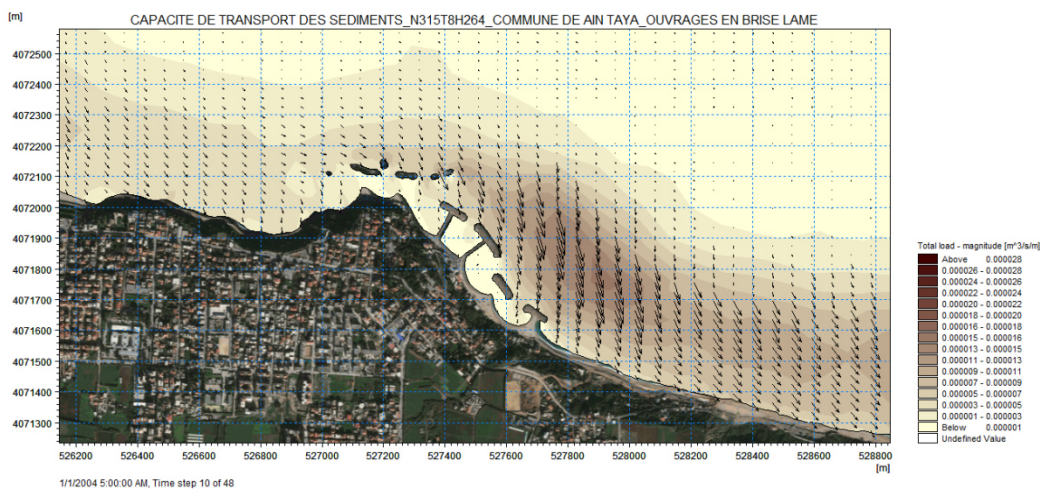


Figure 5.25: Carte de répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état récent, $D=N315^\circ$, $H_s=2,64m$ et $T=8s$.

Nous observons qu'après la mise en place des brises lames, qui ont joué un rôle prépondérant dans la rétention des sédiments solides en barrant le passage au courant de dérive littoral avec une capacité de transport des sédiments solides de l'ordre de $725,328m^3/an/m$, qui peut être visualisé par la carte avec une zone de marron sombre doté de vecteurs plus longs illustrant une capacité de transport sédimentaire plus élevée.

Au contraire de la zone avant la mise en place des ouvrages de protection, avec une capacité de transport des sédiments solides de l'ordre de $394,2m^3/an/m$.

5.3.2 - Comparaison avant/après selon l'impact de la houle de direction $N360^\circ$:

5.3.2.1 -Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

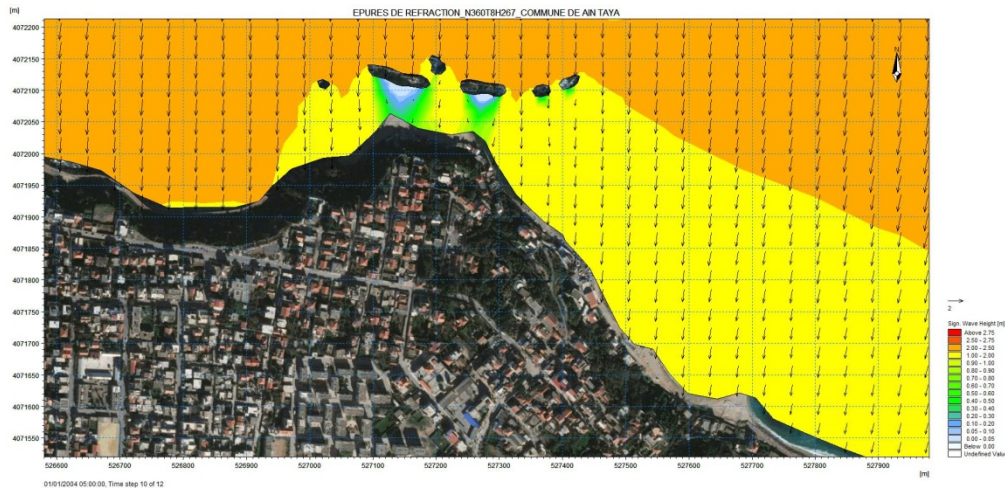


Figure 5.26: Carte de répartition du champ de réfraction des houles de la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=N360^\circ$; $H_s=2,67m$ et $T=8s$

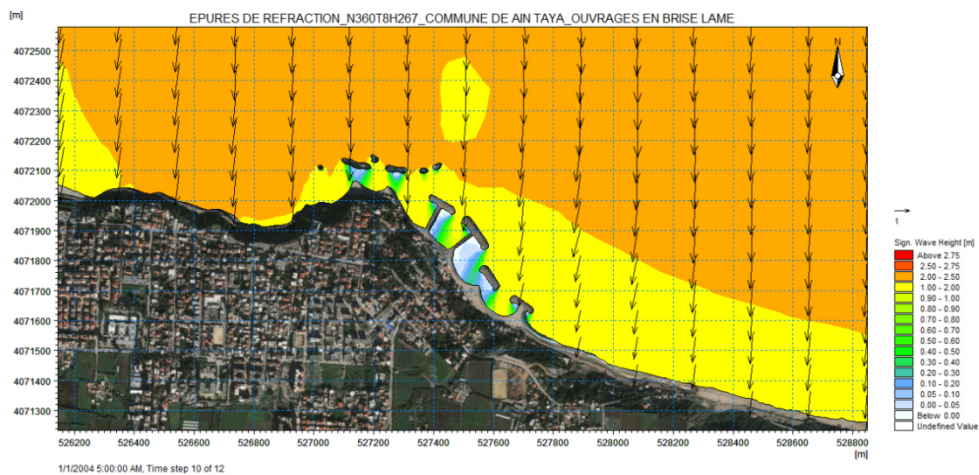


Figure 5.27: Carte de répartition du champ de réfraction des houles de la plage Flot Bleu à l'état récent, $D=N360^\circ$; $H_s=2,67m$ et $T=8s$.

La propagation des houles frontales semble être altérée par le phénomène de réfraction à l'approche du rivage pour les deux cas, avant et après mise en place des ouvrages longitudinaux.

Cependant, après la mise en place de brises lames, les eaux abritées des houles frontales ont permis de protéger le rivage à cette zone surtout en période de tempête, alors que dans le premier cas où ils étaient absents, le rivage était à la merci des vagues déferlantes.

5.3.2.2 -Courantologie (Hydrodynamic, HD) :

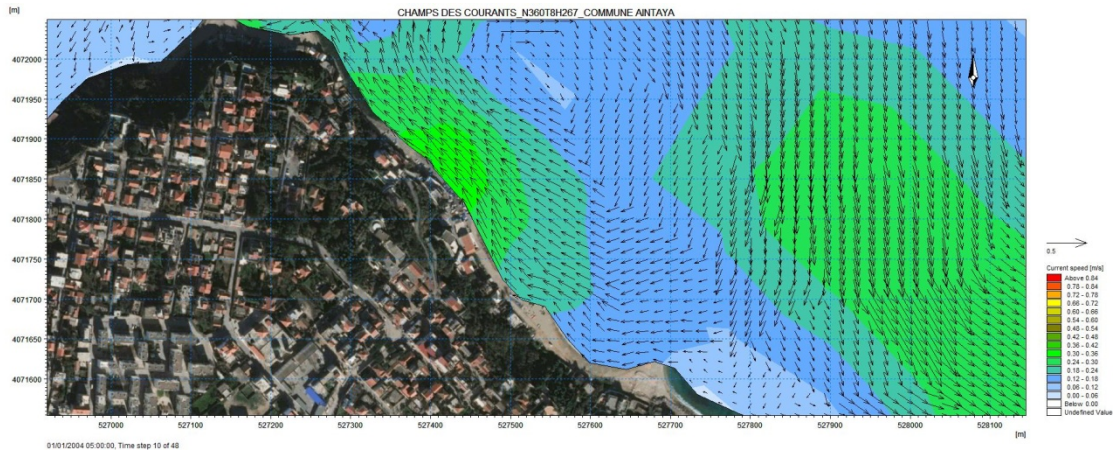


Figure 5.28: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=N360^\circ$, $H_s=2,67m$ et $T=8s$.

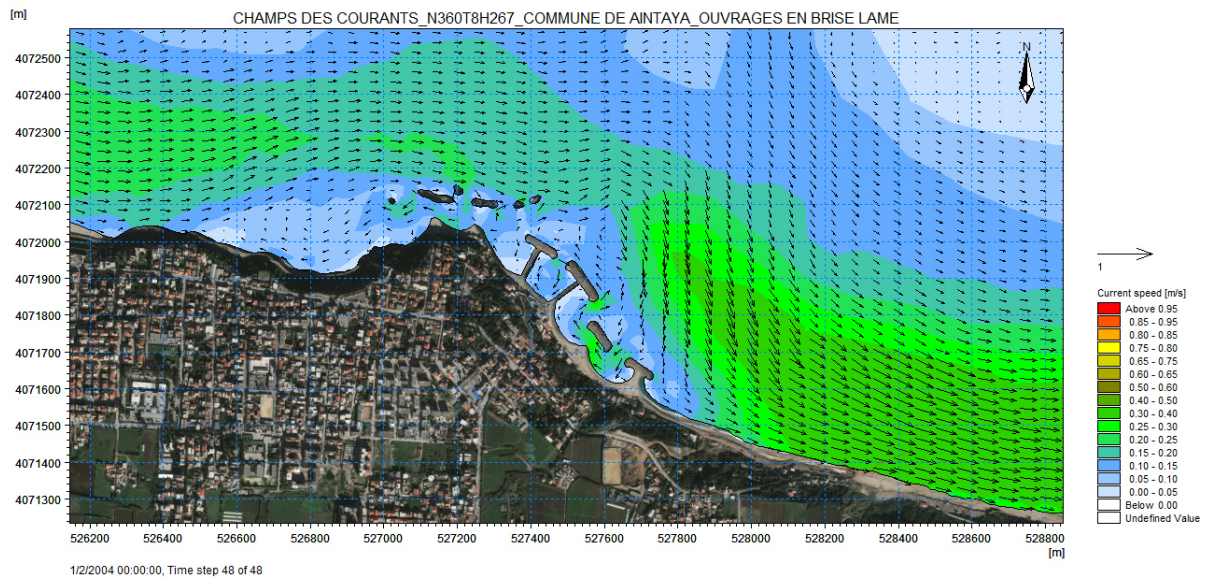


Figure 5.29: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état récent, $D=N360^\circ$, $H_s=2,67m$ et $T=8s$.

La propagation des courants littoraux induits par la houle de direction $N360^\circ$ semble indiquer une modification dans le sens et la vitesse des courants littoraux avant et après la mise en place des brise-lames.

Avant leur mise en place, les courants avaient une direction prédominante d'Est vers l'Ouest et d'Est vers le Nord-Ouest avec une vitesse plus tôt élevée entre (0,36 et 0,42) m/s.

Alors qu'après la mise en place des ouvrages, la circulation des courants semble emprunter un mouvement giratoire dû au phénomène de diffraction, avec une vitesse moins élevée de l'ordre de (0,15 à 0,20) m/s.

5.3.2.3 -Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

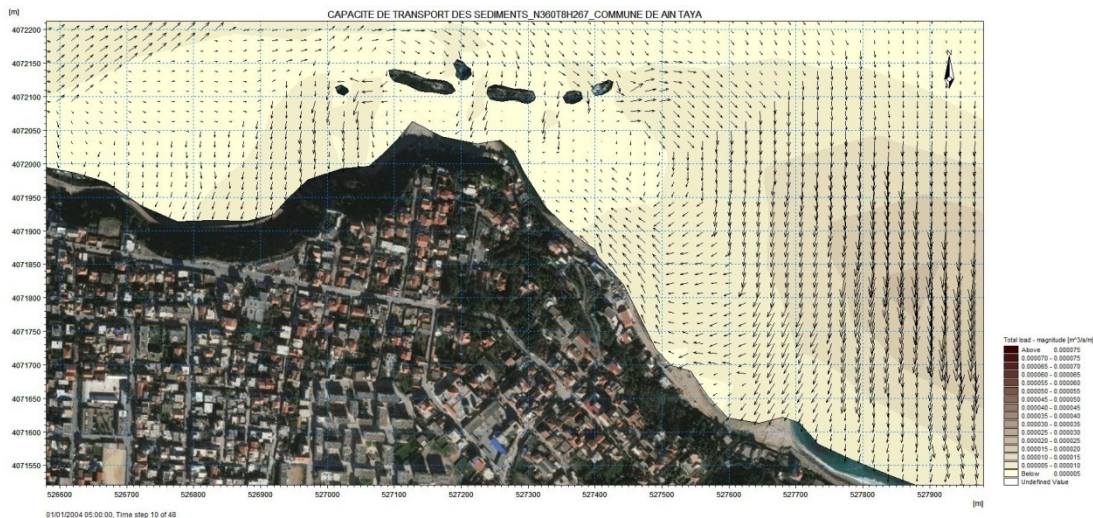


Figure 5.30: Carte de la répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état initial, D=N360°, Hs=2,67m et T=8s.

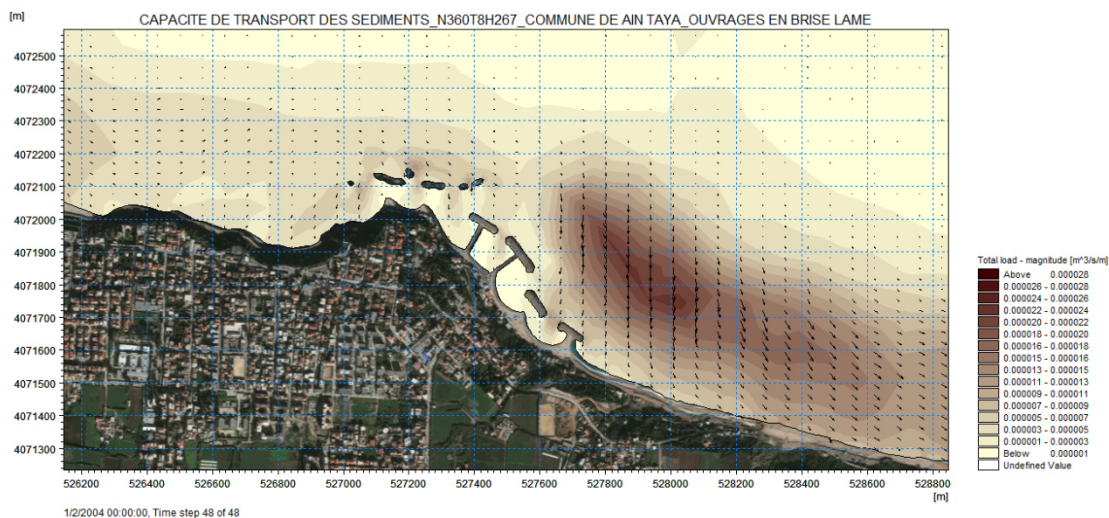


Figure 5.31: Carte de la répartition du flux sédimentaire pour la plage Flot Bleu à l'état récent, D=N360°, Hs=2,67m et T=8s.

La capacité de transport sédimentaire régit par la houle de direction N360° semble s'être concentrée à l'Est des brises lames, puisqu'ils font office de décélérateurs de la dérive littorale, qui la contraint à déposer une partie des sédiments qu'elle transporte, avec une capacité de l'ordre de 693,792m³/an/m, à quoi s'ajoute un affaiblissement des courants d'arrachements. L'inconvénient c'est un amoindrissement de la capacité de transport

sédimentaire, à l'aval des brises lames, de l'ordre de $788,4\text{m}^3/\text{an}/\text{m}$ alors qu'après la mise en place des ouvrages, dans la même la capacité de transport des sédiments solides de l'ordre de $220,752\text{ m}^3/\text{an}/\text{m}$.

5.3.3 -Comparaison avant/après mise en place des brise lames pour la houle de direction Nord Est 45° :

5.3.3.1 -Réfraction de la houle (Spectral Wave, SW) :

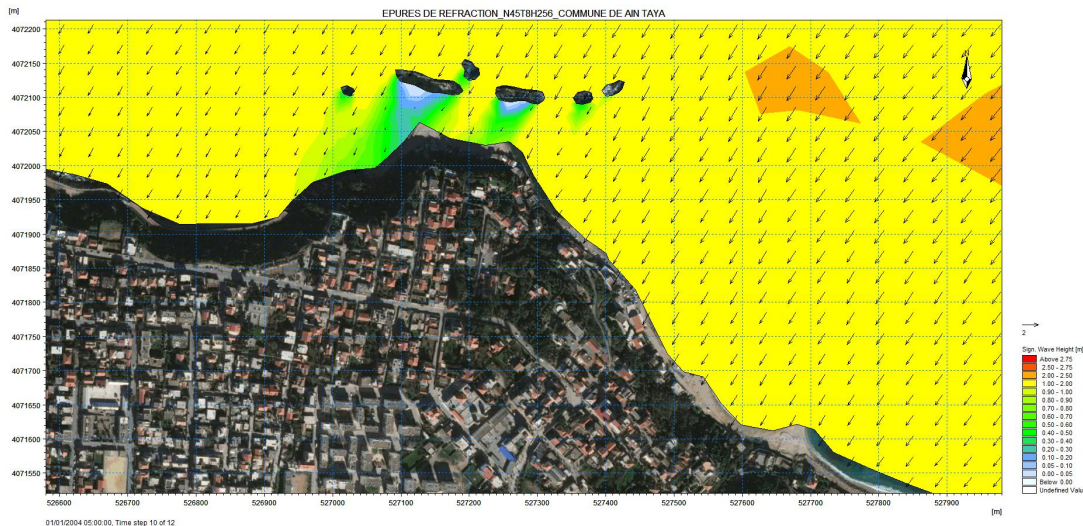


Figure 5.32: Carte du champ de réfraction pour la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=N45^\circ$; $H_s=2,56\text{m}$ et $T=8\text{s}$

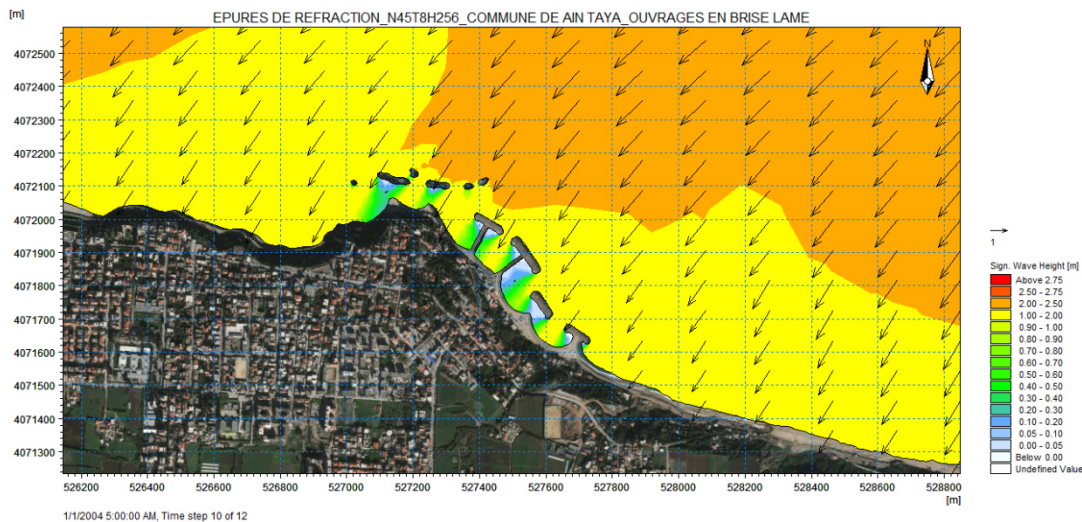


Figure 5.33: Carte du champ de réfraction pour la plage Flot Bleu à l'état récent, $D=N45^\circ$; $H_s=2,56\text{m}$ et $T=8\text{s}$.

Dû à la légère obliquité des ouvrages longitudinaux, la houle de direction Nord Est ($N45^\circ$), semble arriver de manière frontale sur les ouvrages, ces derniers accomplissent leurs but en atténuant l'énergie de la houle créant une zone d'abri dont la hauteur significative va de (0,20-

0,10)m, alors qu'avant leur mise en place la hauteur significative de la houle atteignait le rivage avec une hauteur significative de l'ordre de (1,00-2,00)m.

5.3.3.2 -Courantologie (HydroDynamic, HD) :

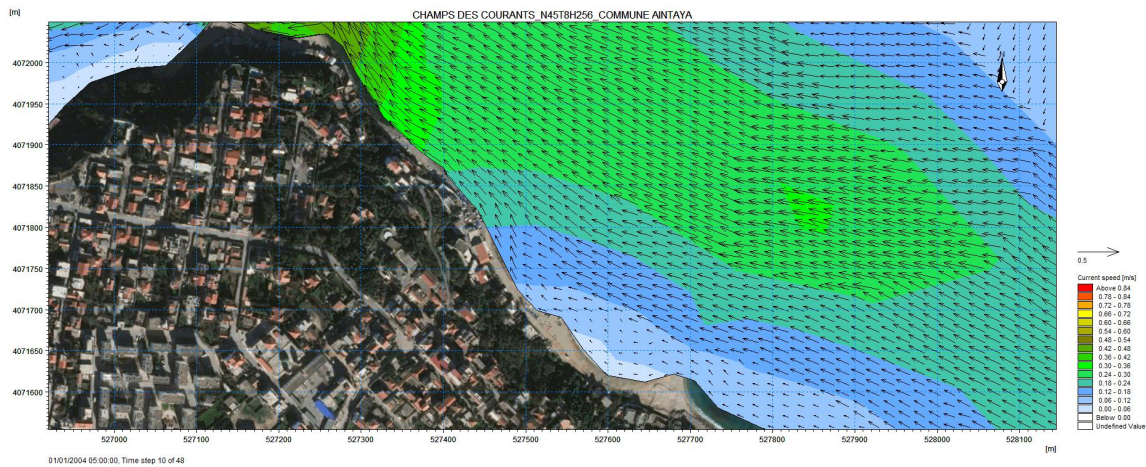


Figure 5.34: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=N45^\circ$; $H_s=2,56m$; $T=8s$.

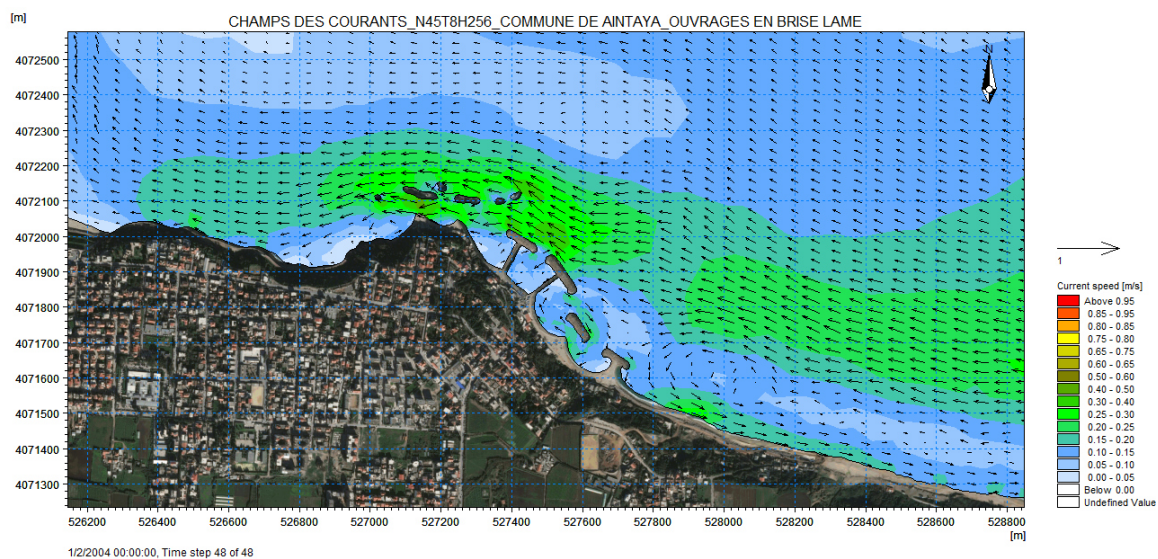


Figure 5.35: Carte de répartition du champ des courants littoraux de la plage Flot Bleu à l'état récent, $D=N45^\circ$; $H_s=2,56m$; $T=8s$.

La propagation des courants littoraux semblent avoir maintenu la même direction dominante d'Est vers l'Ouest pour les deux cas avant/après la mise en place des ouvrages de protection, cependant, la vitesse la plus élevée de l'ordre de (0,48-0,54)m/s était située au niveau de la zone d'étude. Après la mise en place des brise lames, la vitesse des courants littoraux a été perturbée et s'est surtout affaiblie, pour se concentrer sur la partie plus au large au niveau du plateau rocheux.

5.3.3.3 -Evolution des sédiments côtiers (Transport Sédimentaire, ST) :

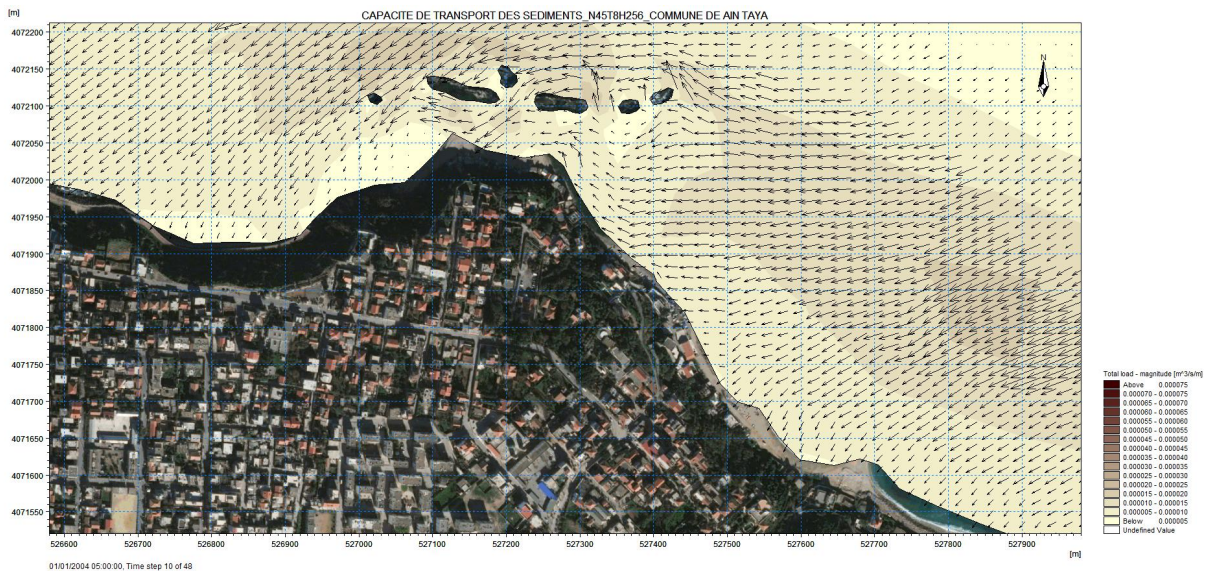


Figure 5.36: Carte de la répartition du flux sédimentaire de la plage Flot Bleu à l'état initial, $D=N45^\circ$; $H_s=2,56m$ et $T=8s$.

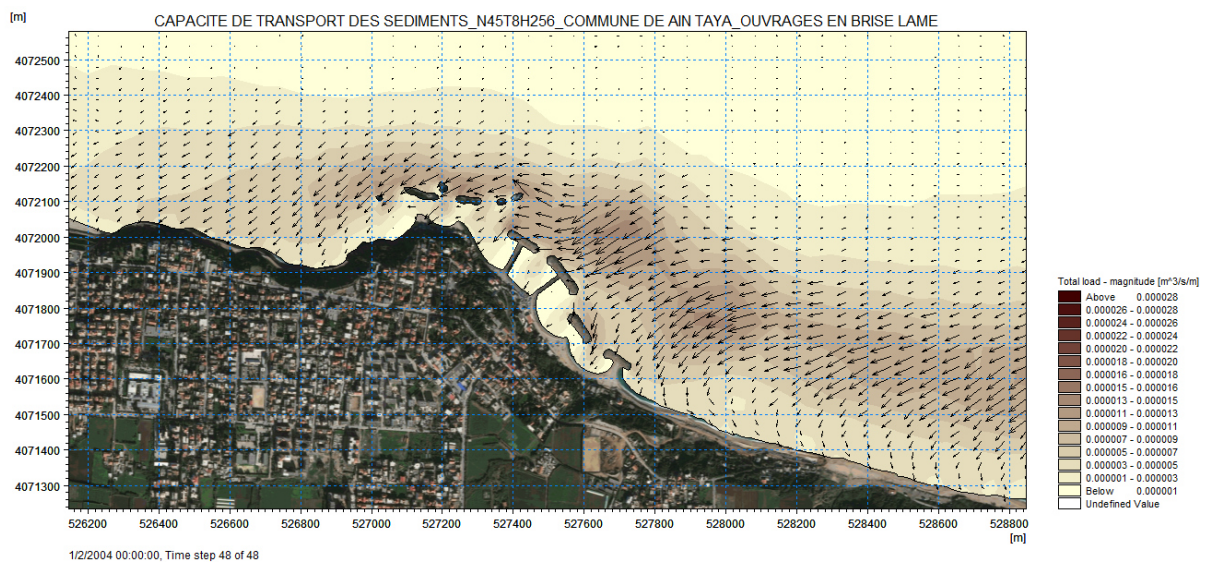


Figure 5.37: Carte de la répartition du flux sédimentaire de la plage Flot Bleu à l'état récent, $D=N45^\circ$; $H_s=2,56m$ et $T=8s$.

On observe que la capacité de transport sédimentaire était plus équitablement répartie, avec un flux de transport de l'ordre de $946,08m^3/an/m$, alors qu'après la mise en place des ouvrages de protection, il y a eu un piégage des sédiments transportés par le courant de dérive littoral, exacerbant l'érosion à l'aval des ouvrages.

**Chapitre V : *Evolution de la
qualité des eaux de baignade.***

6 Chapitre V : Evolution de la qualité des eaux de baignade

La principale activité la plus prisée par les estivants originaires de la côte ou autre, est la baignade sur les côtes sableuses et rocheuses. Cette augmentation de la pression anthropique sur la bande littorale, pendant une période connue pour les fortes chaleurs, engendre souvent des problèmes d'ordre environnementaux et qui constituent un risque pour l'évolution durable de l'écosystème littoral, mais aussi pour la santé des estivants.

Nous allons interpréter des résultats de l'analyse de la qualité des eaux de la plage Flot Bleu dans la commune d'Ain Taya où se situent nos ouvrages de protection, réalisés par l'Etablissement Public de l'Hygiène Urbaine et de la Protection de l'Environnement (laboratoire HUPE), et fournit par la direction de l'environnement de la wilaya d'Alger. Ceci afin d'évaluer l'impact des brises lames sur la qualité des eaux marines sur une période de temps qui correspond à deux années consécutives (2021-2022).

Dans la présentation des résultats de l'analyse de la qualité des eaux qui va suivre, toutes les valeurs limites ou seuils d'alertes faisant référence à l'analyse des paramètres physico-chimiques, bactériologiques et des bloom phyto-planctoniques sont tirées du décret exécutif n°93-164 du 10 juillet 1993 définissant la qualité requise des eaux de baignade, qui stipule que :

1-Les concentrations inférieures ou égales aux valeurs guides indiquent une eau de bonne qualité.

2-Les eaux dont les concentrations sont comprises entre les valeurs guides et les valeurs limites sont de qualité acceptable et doivent faire l'objet d'une surveillance continue.

Quant au nombre et fréquence des prélèvements effectués, ils ont été réalisés selon l'arrêté interministériel N°08 du 17 Janvier 1994 fixant la fréquence minimale des prélèvements, le nombre minimal d'échantillons et d'analyses pour une surveillance de la qualité des eaux de baignade.

6.1 -Les principaux risques sanitaires dus à une pollution microbiologique des eaux de baignade :

L'origine de la contamination fécale des eaux de baignade est souvent due à des rejets d'eaux usées domestiques directement en mer dû à l'absence d'un réseau d'assainissement ou d'une station de traitement des eaux. Le littoral de la commune d'Ain Taya n'y fait pas exception comme l'indique la figure 1, présentant la localisation des eaux de source, des fosses débordantes et non débordantes, de l'emplacement du collecteur des eaux usées et le sens de son rejet qui est dirigée directement en mer.

En analysant la carte (figure 6.1), nous constatons la présence de quatre fosses non débordantes, deux point d'eau de source au niveau de la limite entre la plage Flot Bleu et la plage Surcouf. Une fosse débordante située non loin du collecteur d'eaux usées. On note l'absence d'une station de relevage dont la fonction est de pomper toutes les eaux usées de la

zone pour les connecter au réseau d'assainissement de la commune d'Ain Taya dû à la falaise qui fait office de barrière entre le littoral et la zone urbanisée, dû à sa forte pente.

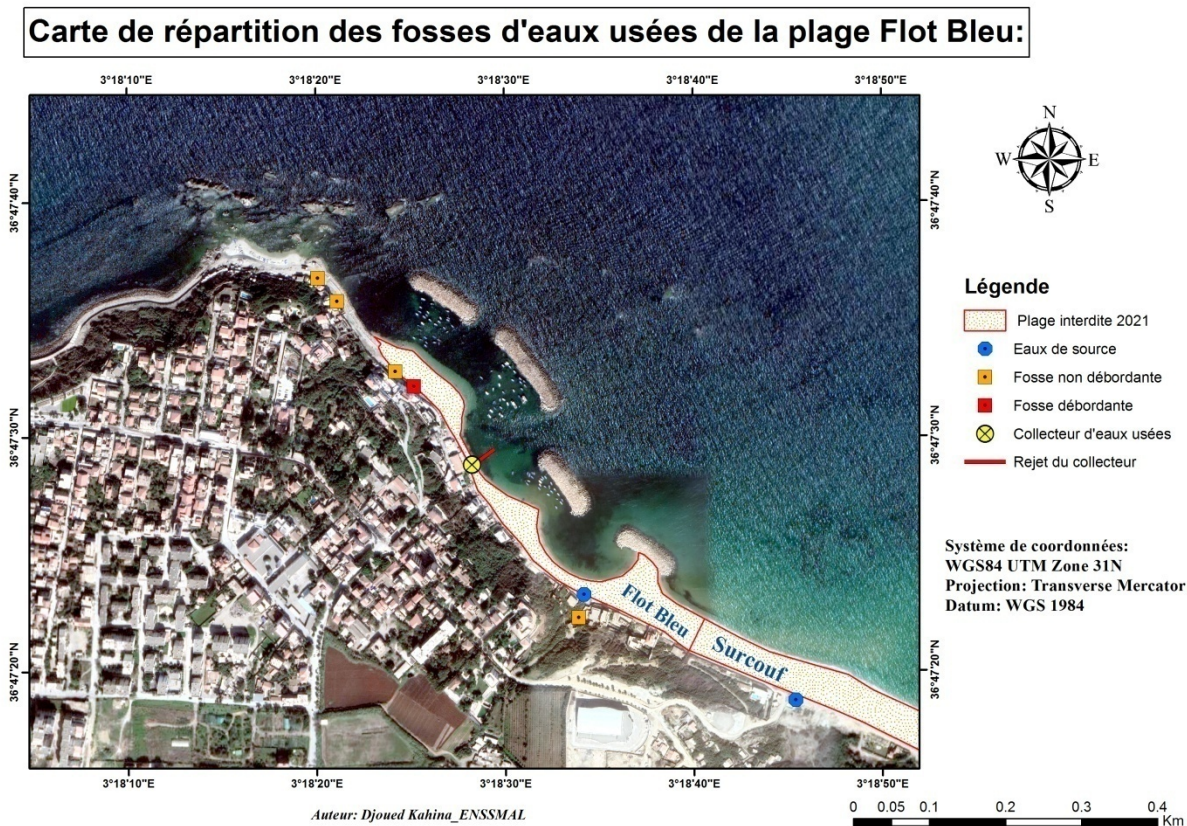


Figure 6.1: Répartition des points d'eaux usées et de source naturelle au niveau de la plage Flot Bleu de la commune d'Ain Taya.

Tableau 6.1: Type de risque sanitaire occasionné par une pollution bactériologique.

Paramètres	Risque sanitaire potentiel	Remarques	Intervention dans l'appréciation de la conformité des eaux de baignade
Coliformes totaux	Gastroentérite	Utilisé comme indicateur général de pollution bactérienne	Oui
Coliformes fécaux	Gastroentérite	Utilisé comme indicateur de pollution fécale	Oui
Streptocoques fécaux	Gastroentérite	Indicateur le plus spécifique de la pollution fécale – ancienne- Eliminée par traitement UV	Non
Salmonelles	Gastroentérite, fièvre, typhoïde	Risque sanitaire important, présente en quantité minime dans les eaux de surface (matières fécales animales)	Non
Vibrion cholérique	Choléra, diarrhée	Grande capacité de survie environnementale, et tolère très bien la salinité, provient de déjections humaine	Oui

6.2 .-Les principaux risques sur la santé humaine occasionnés par une pollution physico-chimique des eaux de baignades :

Tableau 6.2: Type de risque sanitaire occasionné par une pollution physico-chimique.

Paramètres	Risque sanitaire potentiel	Provenance	Intervient dans l'appréciation de la conformité des eaux de baignade
Phénols	Irritation de l'appareil ORL en cas d'inhalations, brûlures potentiellement importante selon le degré d'exposition, malaises.	Déchets solides plastiques, colle et contreplaqués des matériaux de plage.	Oui
Huiles minérales	Agents cancérogènes	De déversement accidentels, rejets industriels et de ruissellement sur les voies de circulation	
Substances tensioactives	Dermatite irritante de contact, démangeaisons, douleurs.	Rejets d'eaux domestiques, produits détergents, produits cosmétiques comme crème et huiles solaires	Oui
pH	Irritation cutanée en cas de pH extrêmes (basique ou acide)	Variation importante dans le pH peut être dû à une action anthropique (pluies acides dû aux fumées industrielles)ou naturelle (érosion de sol acide)	Non
Oxygène dissous		Indicateur spécifique de l'eutrophisation de l'eau.	Non

Après avoir développé le type de risque sanitaire auquel les baigneurs peuvent être sujets, nous allons présenter la manière dans la contamination peut avoir lieu selon la nature de l'activité récréative littoral. Dans la suite du texte, le terme d'ingestion concerne l'absorption orale d'eau contaminée.

Le rejet de ces eaux usées a non seulement un impact sur la qualité de l'eau de mer sur un point de vue environnemental, mais aussi sur la qualité de l'eau de baignade.

Notre zone d'étude semble constituer un abri de pêche pour les petits métiers qui s'abritent derrière les brises- lames, alors qu'il y a des estivants qui y baignent, aggravant le phénomène indiqué plus haut. Cependant, aucune analyse ou recherche n'a encore été effectuée dans ce sens.



Figure 6.2: Image de la plage Flot Bleu, avec vue sur le deuxième brise lame à partir de l’Est, obtenue lors de l’enquête sur terrain de Juin 2022.

6.2.1 - Matériaux de brise lames :

Les blocs constitutifs d’un brise lame sont des tout venant de carrière dont la composition chimique et minéralogique est loin de ressembler à celle des roches naturelles que l’on trouve sur le plateau continental marin. Sous l’effet combiné d’actions chimiques et physico-chimiques qui sont l’*hydrolyse*, l’*hydratation* et l’*haloclastie*, l’eau de mer attaque ces blocs en les fragilisant, en les désagrégeant et en appliquant des contraintes qui aboutissent par une brisure. On peut avancer l’hypothèse que les eaux de mers du bassin quasi-fermé crée par les brises lames, vont être altéré par l’effritement de ces blocs et constitueront peut-être une nouvelle source de contamination des eaux de baignade.

6.3 -Résultats de l’analyse du phytoplancton toxique :

Ces résultats sont obtenus après des analyses du réseau de surveillance du phytoplancton toxique.

Tableau 6.3: Informations relatives à la station de prélèvement des échantillons (Laboratoire HUPE,2021).

Date de prélèvement	Commune	Plage	Nature de prélèvement
19/07/2021	Ain Taya	Flot Bleu	Eau de mer

Tableau 6.4: Résultats de l'analyse microscopique (Laboratoire HUPE,2021).

Espèces	Méthode d'Analyse	Résultats (Cellules/L)	Les seuils d'alerte
Pseudo-nitzschia spp	Méthode Utermohl NF EN 15204	400	>100 000
Cylindrotheca closterium		200	>500 000
Leptocylindrus danicus/minimus		202000	>500 000
Skeletonema sp		2200	>500 000
Eutreptiella sp		400	>1 000 000
Diatomées centriques sp (petite)		200	>500 000
Diatomées pennées sp (petite)		1200	>500 000
Nitzschia sp		1400	>500 000
Prorocentrum		400	>1000 000

Aucun des résultats obtenus ne semble indiquer un dépassement du seuil d'alerte pour toutes les espèces phyto-planctoniques toxiques dans le tableau ci-dessus.

La conclusion est qu'aucune prolifération de micro-algues dans notre zone d'étude n'a été observée.

Tableau 6.5: Résultats d'analyse microscopique d'espèces planctoniques en juillet 2021(Laboratoire HUPE,2021).

Commune	Plage	Espèce à bloom	Espèce à bloom et toxique	Espèce sans effet	Nombre de prélèvement
Ain Taya	Flots Bleus	47.44%	37.18%	15.38%	01

L'évaluation de la qualité des eaux de mer du point de vue phyto-planctonique toxique du mois de juillet 2021 a démontrée qu'il y a une absence de bloom de micro-algues toxiques au niveau de la plage Flot Bleu d'Ain Taya, malgré la présence de 37.18% d'espèces à bloom et toxique.

Il est à noter qu'il n'y a pas que des blooms de micro-algues phyto-planctoniques, à de nombreuses reprises les côtes méditerranéennes, dont la côte algérienne, ont fait face à l'apparition de méduses pendant la saison estivale.

Pelagia noctiluca est chaque année l'ennemi numéro 1 des baigneurs. Elle ressort prioritaire par rapport au reste de ses congénères du fait de sa dangerosité, de la fréquence de son apparition sur le littoral et de la qualité des données disponibles.

En général, sa présence est plus incommode que grave puisqu'elle engendre des brûlures douloureuses pouvant marquer la peau plusieurs semaines.

6.4 -Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques :

Les paramètres physico-chimiques analysés font référence à la coloration de l'eau (changement anormal de couleur), la présence d'huiles minérales, de substances tensioactives (mousses) et de matières flottantes, la présence d'odeurs de phénols, la transparence et le pH

6.4.1 -Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'année 2021 :

Tableau 6.6: Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques in-situ (Laboratoire HUPE,2021)

Plage	Date	Heure	Coloration (mg/l)	Huiles minérales (mg/l)		Substances tensio-actives (mg/l)		Phénols (mg/l)		Transparence	Résidus G et MF	pH	O ₂ dissous (saturation)	
				(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)					
Flot Bleu P1	25/03	11h21	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.11	103.4	
Flot Bleu P2		11h27	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.13	105.6	
Flot Bleu P3		11h32	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.09	108.1	
Flot Bleu P1	07/06	11h03	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.44	110.3	
Flot Bleu P2		11h06	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.41	110.8	
Flot Bleu P3		11h09	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.40	120.2	
Valeurs guides			-	-	<0.3	-	<0.3	-	<0.005	2	-	-	-	
Valeurs limites			Pas de changement anormal de la couleur	Pas de film visible à la surface et absence d'odeur		Pas de mousse persistante		Aucune odeur spécifique		<0.05	1	Absence	6-8	80-120

(1) : Visuel ; (2) : Mesure instrumentale

On observe qu'au niveau du mois de mars et de juin 2021, la plage Flot Bleu au niveau de ces trois points de prélèvements, présente une absence dans plusieurs paramètres physico-chimiques qui sont la coloration (mg/l), les huiles minérales (mg/l), les substances tensio-actives (mg/l), les phénols (mg/l) et les résidus goudronneux et matières flottantes ce qui semble être conforme aux valeurs guides et limites indiquées dans le tableau N°6.6.

Le paramètre de transparence de l'eau de mer indique une observation de clarté pendant les deux journées de prélèvement à des intervalles de deux mois, ce qui indique qu'il y a une faible à absence de turbidité dans la plage Flot Bleu.

Pour les deux paramètres physico-chimiques restant, nous allons les interpréter comme suit :

6.4.1.1 - Résultats de l'analyse physico-chimique prés-saison estivale de l'année 2021 :

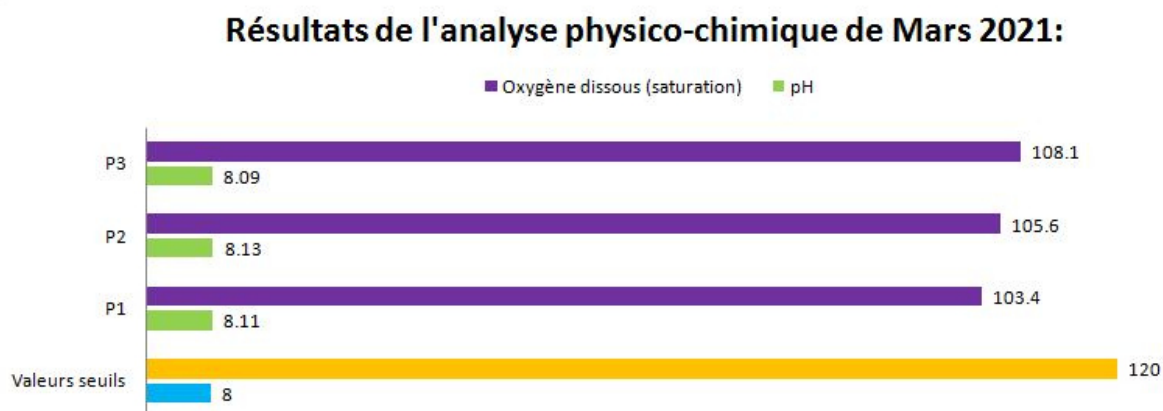


Figure 6.3: Histogramme des résultats d'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de la plage Flot Bleu du 25/03/2021 (Laboratoire HUPE, 2021).

Comme représenté sur la figure 1, le pH des trois points de prélèvements (P1,P2 et P3) présente des valeurs légèrement au-dessus de la valeur seuil avec une différence max de 0.13 au niveau du point de prélèvement N°2. Toutefois, malgré une eau de mer un peu plus basique que la norme, cela ne représente pas pour autant un danger à la santé humaine du point de vue qualité des eaux de baignade.

Pour le deuxième paramètre physico-chimique qui est le pourcentage de saturation en oxygène dissous de l'eau de mer, il semble indiquer des valeurs qui ne dépassent pas le seuil limite ce qui représente une eau de mer conforme sur ce point ci.

6.4.1.2 -Résultats de l'analyse physico-chimique pendant la saison estivale de l'année 2021 :

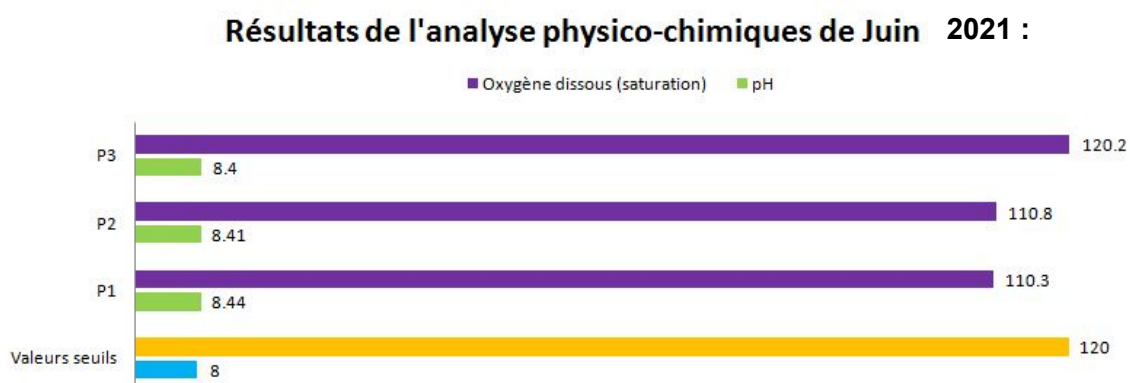


Figure 6.4: Histogramme de l'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux de la plage Flot Bleu du 07/06/2021 (Laboratoire HUPE, 2021).

Comme présenté dans la figure 6.4, le pH semble plus élevé que le seuil maximal et aussi par rapport aux valeurs du pH avant la saison estivale, avec un maximum de l'ordre de 8.44 au niveau du point de prélèvement N°1. Cependant, l'eau de mer est de nature alcaline avec une valeur moyenne du pH=8.2, donc cette élévation de la basicité de l'eau de mer n'est pas un élément qui rend la qualité des eaux de baignade non conforme.

Pour le deuxième paramètre physico-chimique, le pourcentage de saturation de l'oxygène dissous dans la plage Flot Bleu, semble indiquer des valeurs plus élevées que la saison pré-estivale, avec un maximum qui atteint la valeur seuil au niveau du point de prélèvement numéro 3. Cette augmentation peut être dû au phénomène de photosynthèse, mais il ne constitue pas de danger sur le plan de qualité des eaux de baignade, c'est même bénéfique.

6.4.2 -Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques de l'année 2022 :

Tableau 6.7: Résultats de l'analyse des paramètres physico-chimiques (HUPE,2022)

Plage	Date	Heure	Coloration (mg/l)	Huiles minérales (mg/l)		Substances tensio-actives (mg/l)		Phénols (mg/l)		Transparence	Résidu G et MF	pH	O ₂ dissous (saturation)	Conclusion
				(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)					
Flot Bleu P1	03/04	11h25	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Trouble	Abs	8.31	99.8	C
Flot Bleu P2		11h28	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Trouble	Abs	8.33	99.2	C
Flot Bleu P3		11h31	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Trouble	Abs	8.35	98.6	C
Flot Bleu P1	09/06	12h20	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.29	-	-
Flot Bleu P2		12h22	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.28	-	-
Flot Bleu P3		12h24	Abs	Abs	-	Abs	-	Abs	-	Claire	Abs	8.19	-	-
Valeurs guides			-	-	<0.3	-	<0.3	<0.005	2	-	-	-	-	-
Valeurs limites			Pas de changement anormal de la couleur	Pas de film visible à la surface et absence d'odeur		Pas de mousse persistante		Aucune odeur spécifique	<0.05	1	Absence	6-8	80-120	-

(1) : Visuel ; (2) : Mesure instrumentale

Comme pour l'analyse effectuée l'année précédente, il y a une absence de résultats au niveau de plusieurs paramètres physico-chimiques, ce qui confirme la bonne conformité des qualités des eaux de baignade en se référant aux valeurs limite indiquées dans le tableau N°6.7.

Au niveau du paramètre de transparence de l'eau de mer, dans la saison près estivale, les résultats semblent indiquer une eau trouble et donc turbide, ce qui a comme conséquence de limiter la pénétration du soleil dans les eaux marines et de ce fait altérer négativement le phénomène de photosynthèse.

Pour le début de la saison estivale du mois de juin, la transparence semble être clair ce qui est un point positif pour l'oxygénation des eaux par la photosynthèse, ainsi que pour la qualité des eaux de baignade qui s'en trouve conforme.

6.4.2.1 - Résultats de l'analyse physico-chimique prés-saison estivale de l'année 2022 :

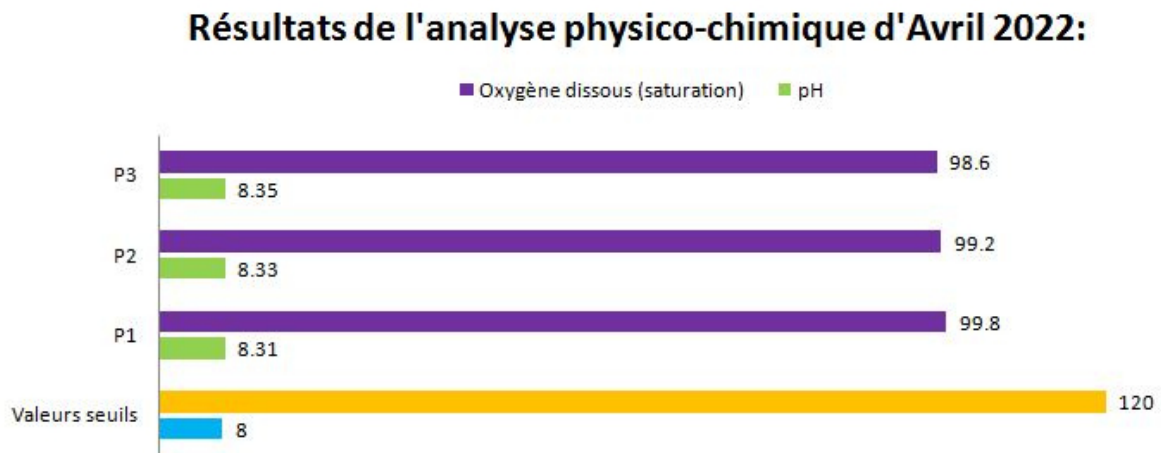


Figure 6.5: Histogramme des résultats de l'analyse physico-chimique des eaux de baignade de la plage Flot Bleu en 03/04/2022 (Laboratoire HUPE, 2022).

La variation du pH au niveau des trois points de prélèvement semble indiquer un dépassement de la valeur seuil, mais comme indiqué plus avant, la nature basique de l'eau de mer indique que ces variations, qui sont de l'ordre de (0.3), ne constituent pas un risque pour la santé des baigneurs.

Pour le niveau de saturation en oxygène dissous, il semble indiquer des valeurs plus faibles que celles analysées au niveau de l'année 2021, avec une valeur minimale au niveau du point de prélèvement numéro 3. Cette diminution dans le pourcentage de saturation de l'eau de mer peut-être liée à la turbidité de l'eau et donc au manque de photosynthèse, mais aussi au manque de circulation des eaux déterminée dans le chapitre de l'analyse hydrodynamique par modélisation numérique, dû à la configuration en bassin quasi-fermée derrière les brise lames.

6.4.2.2 -Résultats de l'analyse physico-chimique pendant la saison estivale 2022 :

Au vu du manque de résultats sur le paramètre de saturation en oxygène dissous, nous n'allons interpréter que les résultats du potentiel hydrogène comme suit :

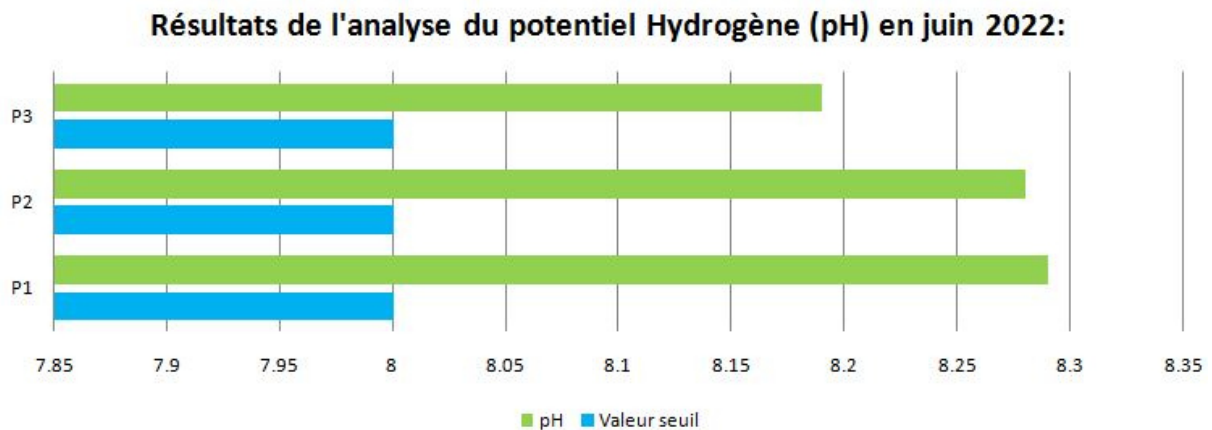


Figure 6.6 : Histogramme des résultats de mesure du potentiel hydrogène des eaux de baignade de la plage Flot Bleu le 09/06/2022 (Laboratoire HUPE, 2022).

Nous observons que la tendance en élévation du pH des eaux de baignade, ne fait pas défaut au mois de juin de 2022, avec une valeur maximale mesurée au niveau du point de prélèvement numéro 1. Cette élévation peut être dû aux échanges à l'interface air-mer ou à un facteur anthropique dont l'origine serait à définir.

6.5 -Bilan sur l'analyse des paramètres physico-chimiques sur les deux années :

L'absence de résultats pour les cinq paramètres physico-chimiques mentionnés plus avant, se retrouve pour les deux saisons estivales près et pendant sur toute la période de mesure.

La tendance à l'élévation du potentiel hydrogène est généralisée sur toutes les mesures effectuées avec un résultat maximum de l'ordre de 8.44, au point de prélèvement numéro 1 au niveau de la saison estivale de l'année 2021.

Quant au paramètre de transparence de l'eau de mer, il indique une observation de clarté pour toutes les saisons sur toute la période sauf au niveau de la saison près estivale de l'année 2022.

On conclut par le paramètre physico-chimique de saturation des eaux de baignade en oxygène dissous, dont la tendance est à la baisse avec un minimum mesuré au point de prélèvement numéro3, de l'ordre de 98.6%, au niveau de la prés saison estivale de 2022, ce qui concorde avec le lien de cause à effet du manque de transparence de l'eau et donc faible saturation en oxygène dissous.

6.6 -Résultats des analyses bactériologiques :

L'analyse de plusieurs types de bactéries (coliformes, streptocoques), sont le principal témoin d'une contamination fécale des eaux de baignade et constituent aussi un indicateur de pollution par les eaux usées.

❖ Classement bactériologique des eaux de baignade :

Sur la base des normes, impératifs et guide définies dans le décret exécutif n°93-164 du 10 juillet 1993, pour les paramètres bactériologiques suivis en Algérie, trois catégories sont distinguées pour la qualité des eaux de baignade :

B : Bonne qualité bactériologique des eaux de baignade.

- Résultats en coliforme totaux à 37°C doivent être inférieurs ou égales à la valeur guide qui est 10000
- Résultats en coliformes fécaux à 44°C doivent être inférieurs ou égales à la valeur guide qui est 2000.
- Résultats en streptocoques fécaux D à 37°C doivent être inférieurs ou égales à 100.
- Résultats en vibriion cholérique et salmonelles doivent être absents.

A : Qualité bactériologique acceptable des eaux de baignade.

Ce sont des eaux de qualité moyenne mais conformes aux normes. Elles sont établies lorsque les nombres impératifs fixés par le décret sont en coliformes totaux, sont respectés dans au moins 95% des prélèvements, les conditions relatives aux nombres guides n'étant pas en tout ou en partie vérifiées.

M : Mauvaise qualité des eaux de baignade.

Lorsque pour les paramètres en coliformes totaux, les conditions relatives aux nombres impératifs sont dépassées au moins une fois sur trois.

Toutes les plages classées en catégorie M une année, doivent être interdites à la baignade l'année suivante.

6.6.1 - Résultats de l'analyse bactériologique près saison estivale en 2021 :

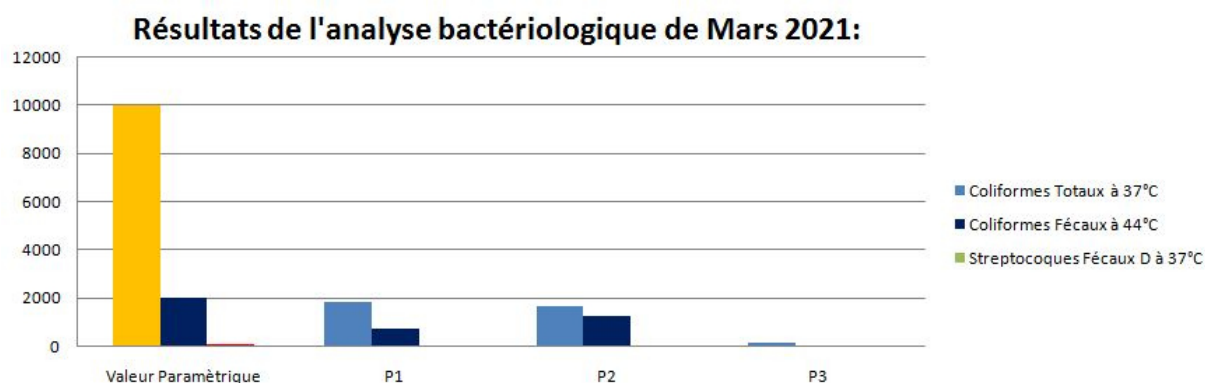


Figure 6.7: Histogramme de l'analyse bactériologique du 25/03/2021, au niveau de la plage Flot Bleu dans la commune d'Ain Taya (Laboratoire HUPE, 2021).

Nous observons qu'aucune des espèces de bactéries dénombrée ne dépassent la valeur seuil, il y a une absence complète des streptocoques fécaux D.

Le nombre maximal des coliformes fécaux se situe au point de prélèvement numéro 2 n'atteignant pas pour autant le seuil limite, avec 1250.

Quand au coliformes totaux, la valeur maximale qui se situe au point de prélèvement P1, semble bien loin d'atteindre le seuil limite.

En conclusion, ces eaux de baignade ont une bactériologie acceptable à bonne pour la présaison estivale 2021.

6.6.2 -Résultats de l'analyse bactériologique pendant la saison estivale de 2021 :

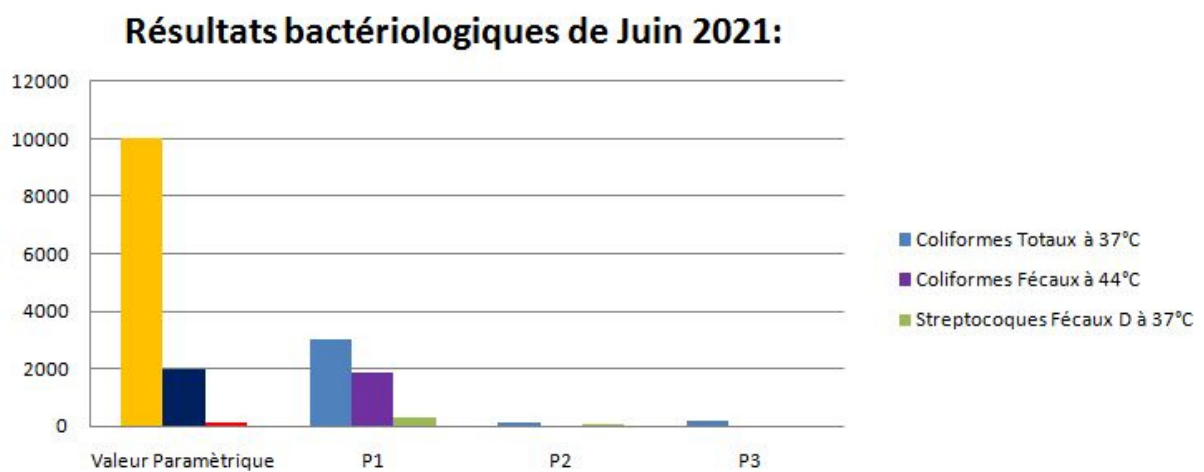


Figure 6.8: Histogramme de la moyenne des résultats de l'analyse bactériologique du 7 et 14 juin 2021 à la plage Flot Bleu, dans la commune d'Ain Taya (Laboratoire HUPE, 2021).

Nous observons que les points de prélèvement 2 et 3 indiquent une quasi absence de toutes les bactéries analysées, ce qui laisse prédire que la qualité bactériologique des eaux de baignades en ces deux points est bonne.

Au niveau du point de prélèvement 1, nous observons un dépassement de la valeur seuil au niveau des streptocoques fécaux D, ainsi qu'un rapprochement de la valeur seuil au niveau des coliformes fécaux. Mais pour les coliformes totaux, aucun dépassement n'est signalé.

Cela nous indique que la qualité des eaux de baignade de la saison estivale de l'année 2021 est mauvaise dû à la présence d'une contamination fécale au niveau d'un point de prélèvement, mais qui peut se propager et atteindre toute la zone de baignade de la plage Flot Bleu.

6.7 - Bilan de la qualité bactériologique des eaux de baignade en 2021 :

Tableau 6.8: Résultats de l'analyse bactériologique de l'année 2021 (Laboratoire HUPE, 2021)

Date de prélèvement			25/03/2021					
Paramètres	Méthodes d'analyse	Valeur Paramétrique	P1	P2	P3			
Coliformes Totaux à 37°C	NA 764	500 -10000	1800	1640	140			
Coliformes Fécaux à 44°C	NA 764	100 - 2000	750	1250	40			
Streptocoques Fécaux D à 37°C	NA 766	100	0	0	0			
Vibrien cholérique	NA 6814	Absence	ABS	ABS	ABS			
Salmonelles	ISO 6340	Absence	ABS	ABS	ABS			
Qualité des eaux			A	A	B			
Date de prélèvement			7/6/2021			14/06/2021		
Paramètres	Méthodes d'analyse	Valeur Paramétrique	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Coliformes Totaux à 37°C	NA 764	500 -10000	3000	210	200	3000	10	100
Coliformes Fécaux à 44°C	NA 764	100 - 2000	3000	50	40	720	0	50
Streptocoques Fécaux D à 37°C	NA 766	100	440	20	10	200	80	10
Vibrien cholérique	NA 6814	Absence	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Salmonelles	ISO 6340	Absence	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Qualité bactériologique			M	B	B	A	B	B

Comme l'indique ce tableau, la qualité des eaux de baignade de la plage Flot Bleu est acceptable à bonne pour les deux saisons avant et après les vacances estivales. Nous observons cependant une contamination fécale pendant la saison estivale au niveau du point de prélèvement numéro 1 qui peut être à un rejet direct d'eaux usées dans la plage.

La bonne qualité globale des eaux s'explique par le facteur anthropique, par le manque de circulation des estivants dû au confinement par rapport à la pandémie mondiale du coronavirus. La plage avait été exempt du stress anthropique des baigneurs, dont le nombre décuple pendant la saison estivale.

6.7.1 -Résultats de l'analyse bactériologique prés-saison estivale 2022 :

Résultats de l'analyse bactériologique d'Avril 2022:

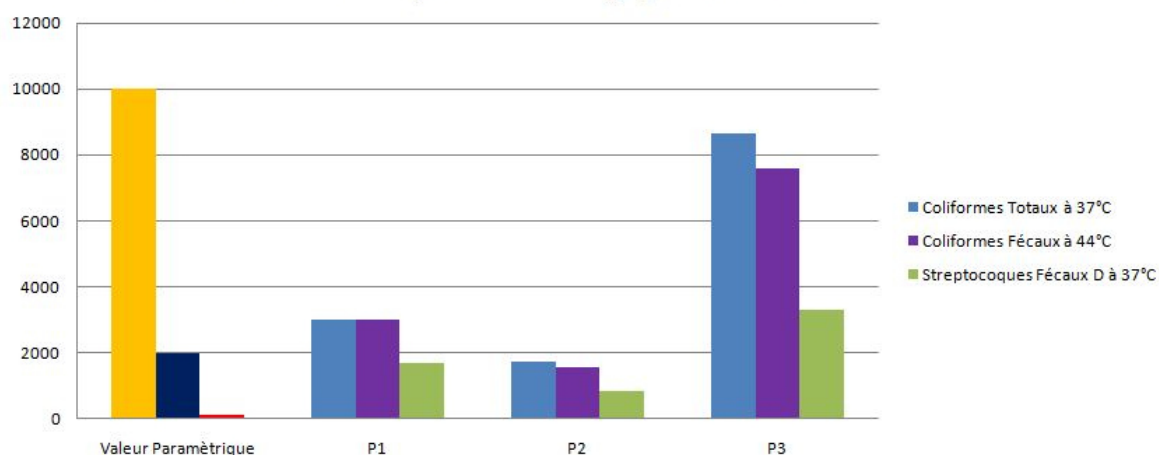


Figure 6.9: Histogramme de la moyenne des résultats de l'analyse bactériologique du 03 et 17 avril 2022 des eaux de baignade de la plage Flot Bleu (Laboratoire HUPE, 2022).

Nous observons que le point de prélèvement numéro 3 présente des valeurs dangereusement élevée avec un dépassement très important au niveau des coliformes fécaux et des streptocoques fécaux. Même si les coliformes totaux ne dépassent n'atteignent pas la valeur guide, ils sont rapprochent de manière inquiétante.

Au niveau du point de prélèvement numéro 2, il y à un dépassement du seuil des streptocoques fécaux à noter, mais le reste des bactéries semblent avoir des valeurs acceptables.

Quant au point de prélèvement numéro A, les coliformes totaux ont une valeur stable, mais les coliformes et streptocoques fécaux dépassent le seuil limite.

Cela nous permet de conclure que la qualité des eaux de baignade pendant la près-saison estivale d'avril 2022 est très mauvaise, avec une contamination fécale étendue au niveau des trois points de prélèvement de la plage Flot Bleu.

6.7.2 -Résultats de l'analyse bactériologique pendant la saison estivale de 2022 :

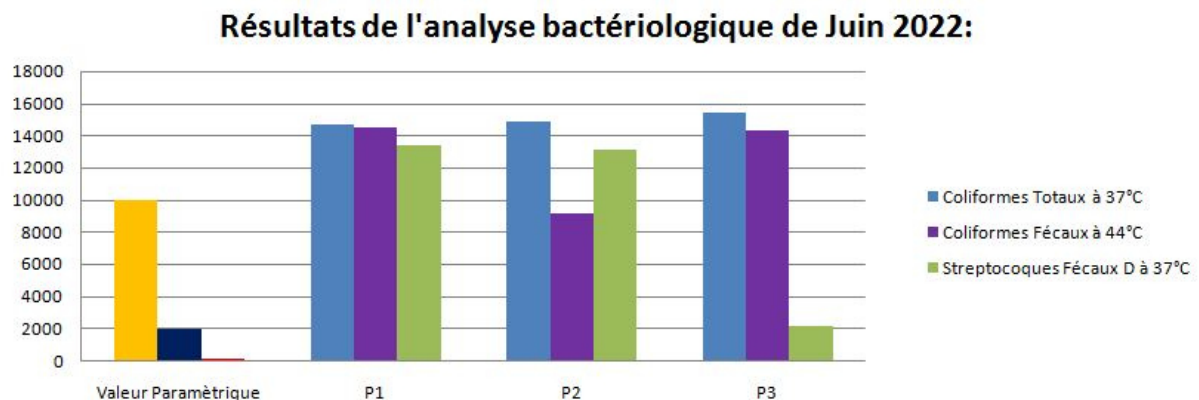


Figure 6.10: Histogramme de la moyenne des résultats de l'analyse bactériologique du 05 et 12 juin 2022 des eaux de baignade de la plage Flot Bleu (Laboratoire HUPE, 2022).

Nous observons que les trois points de prélèvements indiquent des dépassements des seuils pour les trois types de bactéries analysées.

Les streptocoques et les coliformes fécaux sont extrêmement élevés par rapport à la valeur paramétrique (100 et 2000 respectivement), ils atteignent une valeur de 26500 pour les streptocoques fécaux et 28700 pour les coliformes fécaux.

Le bilan pour cette saison estivale est définitivement d'une très mauvaise qualité des eaux, avec la confirmation d'une contamination fécale au niveau des trois points de prélèvements.

6.8 - Bilan de la qualité bactériologique des eaux de baignade de l'année 2022 :

Tableau 6.9: Résultats de l'analyse bactériologique de l'année 2022 (Laboratoire HUPE, 2022)

Date de prélèvement			3/4/2022			17/04/2022		
Paramètres	Méthodes d'analyse	Valeur Paramétrique	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Coliformes Totaux à 37°C	NA 764	500 -10000	>3000	>3000	15600	>3000	510	1660
Coliformes Fécaux à 44°C	NA 764	100 - 2000	>3000	>3000	14800	>3000	180	410
Streptocoques Fécaux D à 37°C	NA 766	100	1320	1640	6600	2040	20	40
Vibron cholérique	NA 6814	Absence	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Salmonelles	ISO 6340	Absence	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Qualité des eaux			M	M	M	M	A	A
Date de prélèvement			5/6/2022			12/6/2022		
Paramètres	Méthodes d'analyse	Valeur Paramétrique	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Coliformes Totaux à 37°C	NA 764	500 -10000	29000	29500	29600	400	270	1200
Coliformes Fécaux à 44°C	NA 764	100 - 2000	28700	18000	28400	330	250	140
Streptocoques Fécaux D à 37°C	NA 766	100	26500	26000	4200	180	190	110
Vibron cholérique	NA 6814	Absence	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Salmonelles	ISO 6340	Absence	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS	ABS
Qualité bactériologique			M	M	M	A	A	A

La qualité globale des eaux de baignade de la plage Flot Bleu, pour les deux périodes du mois d'Avril et Juin, semblent indiquer une très mauvaise qualité des eaux, avec l'enregistrement d'une contamination fécale très importante au niveau des trois points de prélèvement. Le fait est qu'à un mois d'intervalle, la pollution fécale persiste, démontre que son ampleur est considérable et que cela constitue un réel danger pour la santé public des estivants et baigneurs.

L'action à effectuer est d'interdire la baignade au niveau de la plage Flot Bleu de la commune d'Ain Taya, jusqu'à ce que l'origine de la contamination fécale soit identifiée et agir en conséquence.

Nous soupçonnons que l'origine de cette contamination fécale est l'absence d'un réseau d'assainissement au niveau des plages, et la présence de plusieurs habitations dont les eaux usées sont rejetées au niveau d'un point de rejet principal comme indiqué dans les images indiquées en- dessous.

La fin de la crise du corona virus, l'arrêt du confinement et l'ouverture des plages aux estivants à augmenter la pression anthropique sur la plage Flot Bleu. Un manque de salubrité et une proximité trop importante dans un bassin quasi-fermée par les ouvrages de protection, peuvent êtres aussi des causes de l'apparition de cette contamination fécale.



Figure 6.11: Localisation de la source du rejet direct des eaux usées et de son cheminement sur l'avant plage jusqu'au rivage lors de l'enquête terrain dans la plage Flot Bleu en juin 2022.

6.9 -Conclusion :

La qualité des eaux de baignade de la plage Flot Bleu dans la commune d'Ain Taya, a commencée à se détériorer vers la fin de l'année 2021 jusqu'à atteindre des taux de contamination plus-tôt alarmants en 2022.

Une des principales causes de cette contamination est l'absence d'un réseau d'assainissement propre la zone urbanisée littoral, comme indiquée dans la figure 1. Nous préconisons l'installation d'une station de relevage, qui a pour fonction de collecter toutes les fosses contenant les eaux usées de la région littoral, et de les connecter au réseau d'assainissement de la commune d'Ain Taya en essayant d'identifier un cheminement qui puisse traverser ou longer la falaise. Si cette option ne peut être réalisée, nous conseillons d'utiliser la technique d'enfouissement après collecte des eaux dans un spot sur terre, localisé stratégiquement pour qu'il est un impact le moins nocif possible sur l'environnement alentour. Interdire la baignade au niveau de la plage Flot Bleu, jusqu'à ce que l'analyse des différents paramètres de la qualité des eaux de baignade ne démontre un changement durable et conforme aux valeurs guides.

Essayer de réguler l'afflux des estivants sur la plage, en autorisant l'accès à un nombre limite qui sera défini en fonction de la capacité d'accueil de la plage Flot Bleu ; qui est déjà bien chargée de par les habitations trop proches du rivage et les petits métiers qui y pullulent au point de transformer la plage en un abri de pêche.

Une surveillance de l'évolution de la qualité des eaux de baignade doit être maintenue, avec l'ajout d'une enquête terrain, lorsque les résultats démontrent une contamination des eaux pour identifier la source de pollution au plus vite, et la supprimer avant que des maladies ne soient détectées parmi les baigneurs. Etablir un protocole d'anticipation de cas de contamination, pour identifier les foyers de cette contamination et les gérer au mieux si jamais la prédiction de contamination se réalise pour limiter au maximum sa propagation.

6.10 -Interprétation des résultats de l'évolution de la température des eaux de la plage

Flot Bleu :

Dans cette partie nous allons déterminer si la qualité des eaux avant la disparition des cavaliers reliant les brises lames au trait de côte et depuis leur disparition, se régénèrent en mieux ou le contraire. Pour ce faire, nous allons considérer qu'au temps $T=0s$ où les eaux derrière le bassin quasi-fermé formé par la disposition des brises lames et du banc des rochers émergents, ont une température de $18^{\circ}C$, par rapport aux eaux du large qui ont une température de $17^{\circ}C$. Nous avons modélisée cette évolution de la température des eaux sur deux périodes : $T=6s$ à temps calme et $T=8s$ à temps agitée pour les trois directions : $N315^{\circ}$, $N360^{\circ}$ et $N45^{\circ}$.

6.10.1 -Résultats de la simulation numérique par Mike21 pour une période calme (T=6s)

6.10.1.1 - Evolution de la température des eaux pour la direction $N^{\circ}315$:

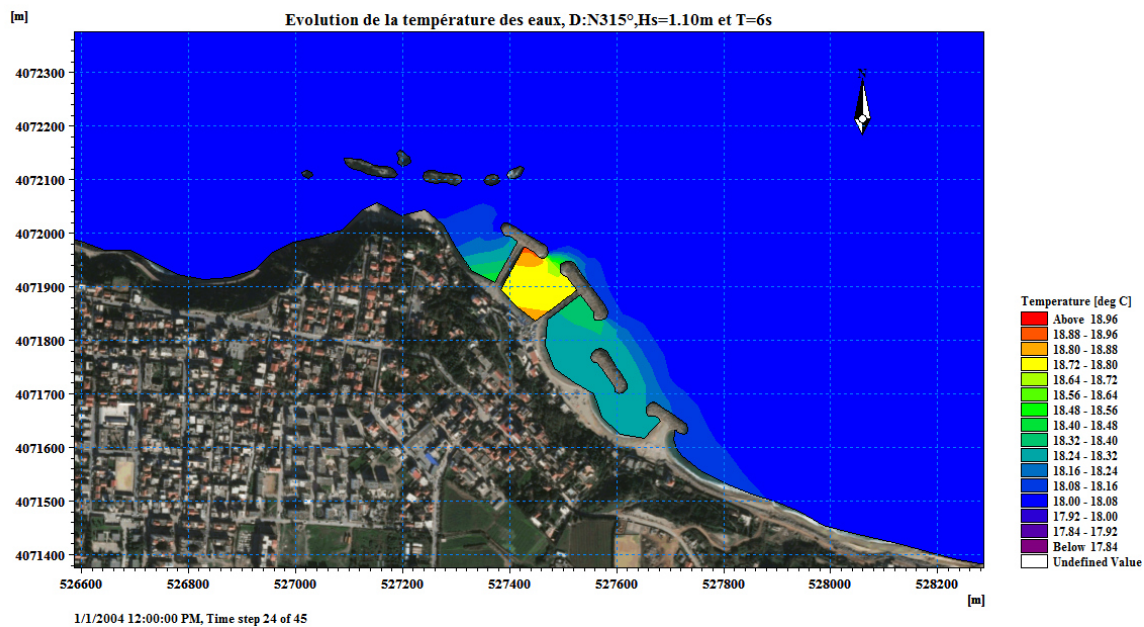


Figure 6.12: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec présence des cavaliers pour la houle D : $N315^{\circ}$, $Hs=1.10m$ et $T=6s$.

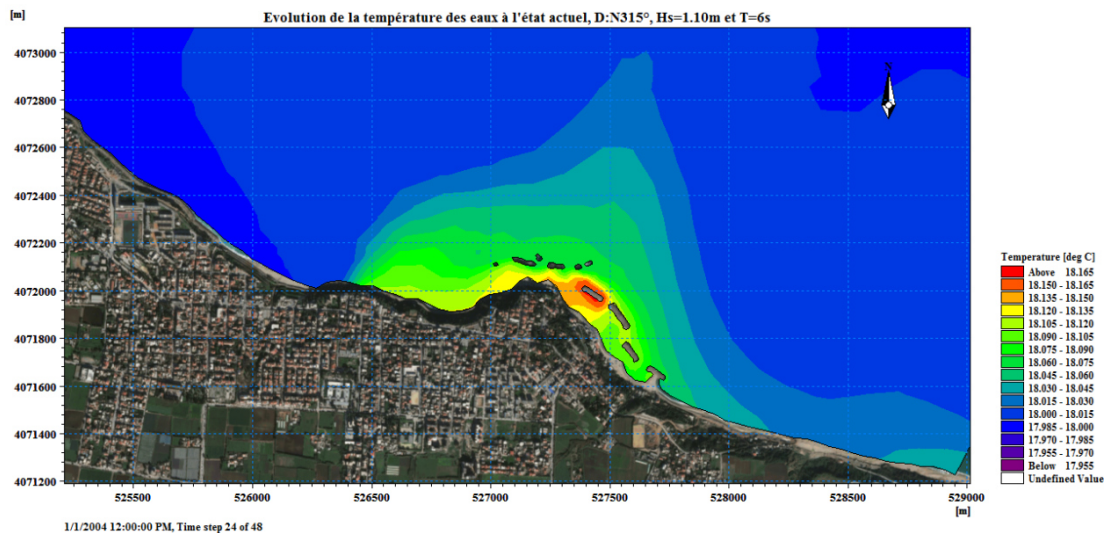


Figure 6.13: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers, D : N315°, Hs=1.10m et T=6s.

Nous observons que les températures semblent bien plus élevées au niveau des eaux enfermées par les deux cavaliers par rapport aux eaux du large. Au niveau des eaux non piégées par les cavaliers, mais seulement retranchées derrière les brises lames, les températures semblent aussi plus élevées que celles du large, surtout au niveau du premier brise lame en comptant à partir de l'Ouest. On peut avancer que les houles de direction N45° en période calme génère des eaux de faible circulation à stagnantes par rapport au gradient de température plus élevée au niveau des eaux abritées.

6.10.1.2 - Evolution de la température des eaux pour la direction N360° :

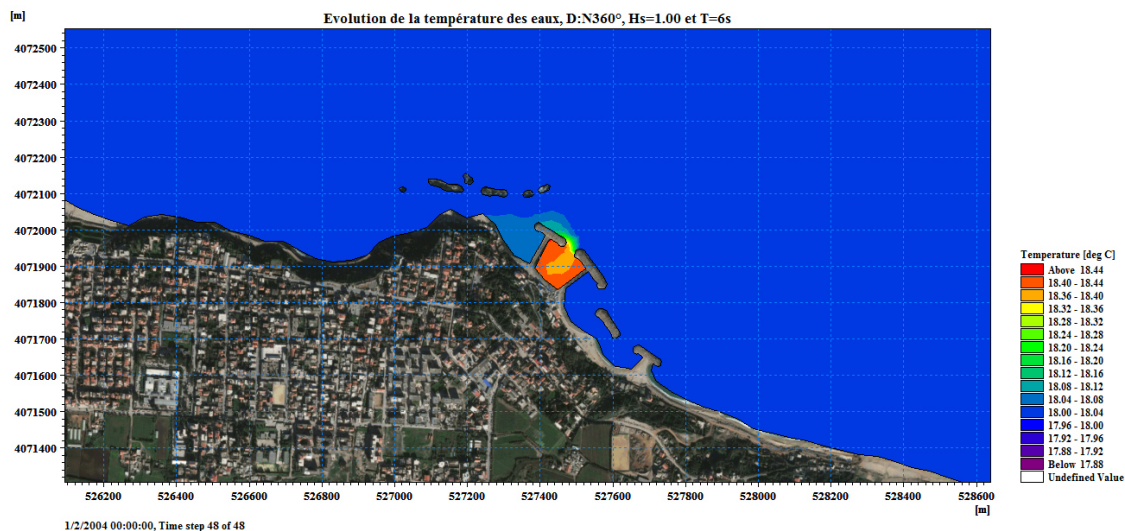


Figure 6.14: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec cavaliers, D : N360°, Hs=1.00m et T=6s.

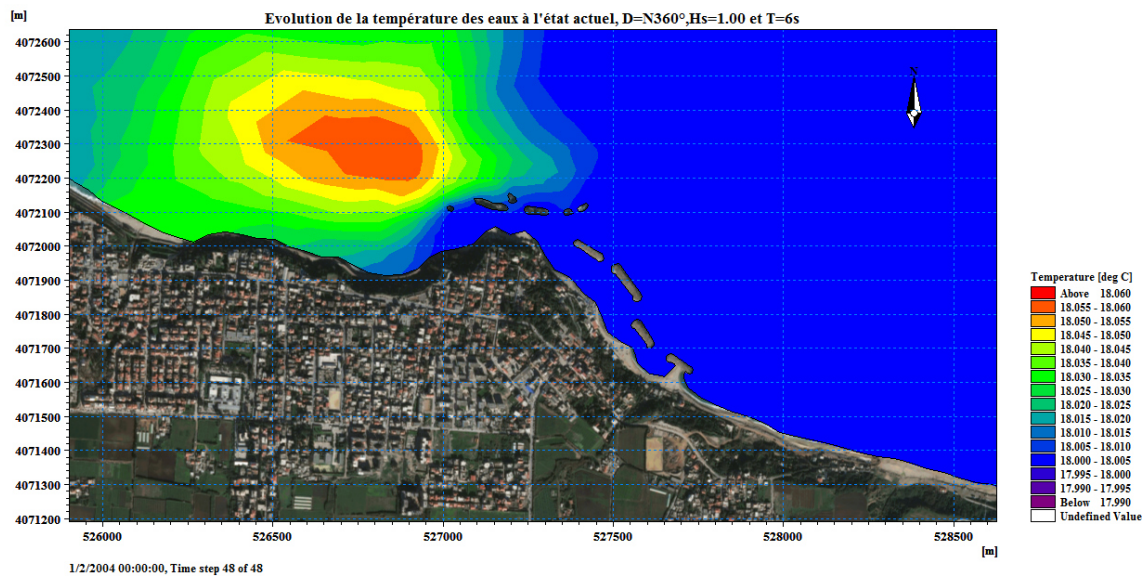


Figure 6.15: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers, D: N360°, Hs=1.00 et T=6s.

L'impact des houles de direction N°360 au niveau de la plage Flot Bleu sans les cavaliers, semble indiquer une bonne régénération des eaux avec des températures égales entre le large et les eaux abritées par les brises lames. Par contre, quand la plage été connectée aux brise lames par les cavaliers, les eaux enfermées entre ces derniers étaient plus chaudes que celles du large, ce qui indique une stagnation à leurs niveau.

6.10.1.3 - Evolution de la température des eaux pour la direction N°45 :

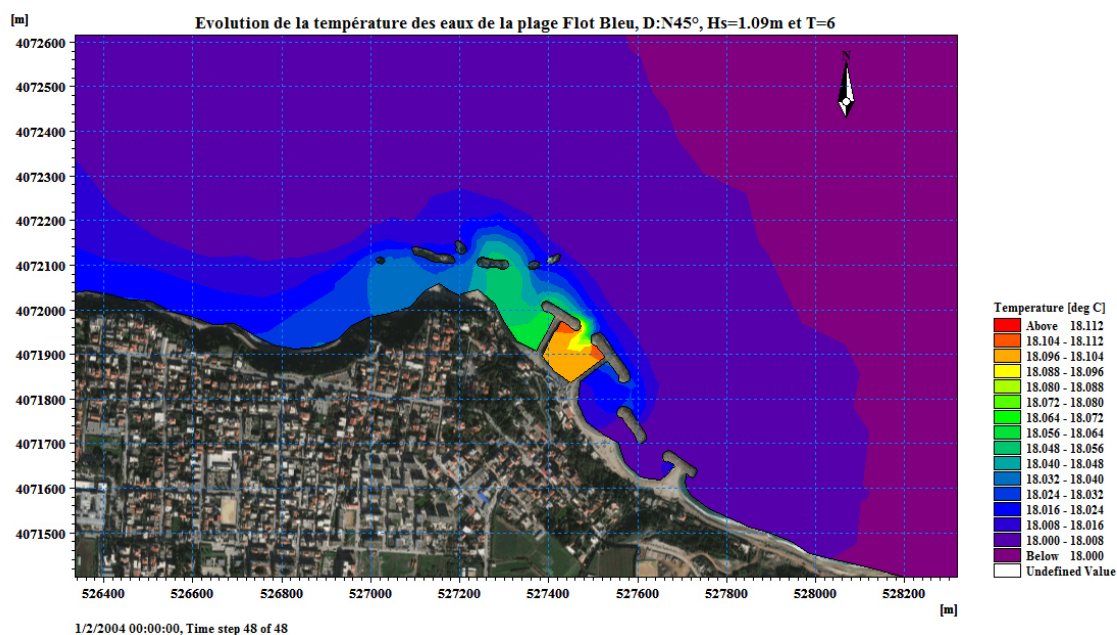


Figure 6.16: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec présence des cavaliers pour des houles de direction N°45, Hs= 1.09 et T=6s.

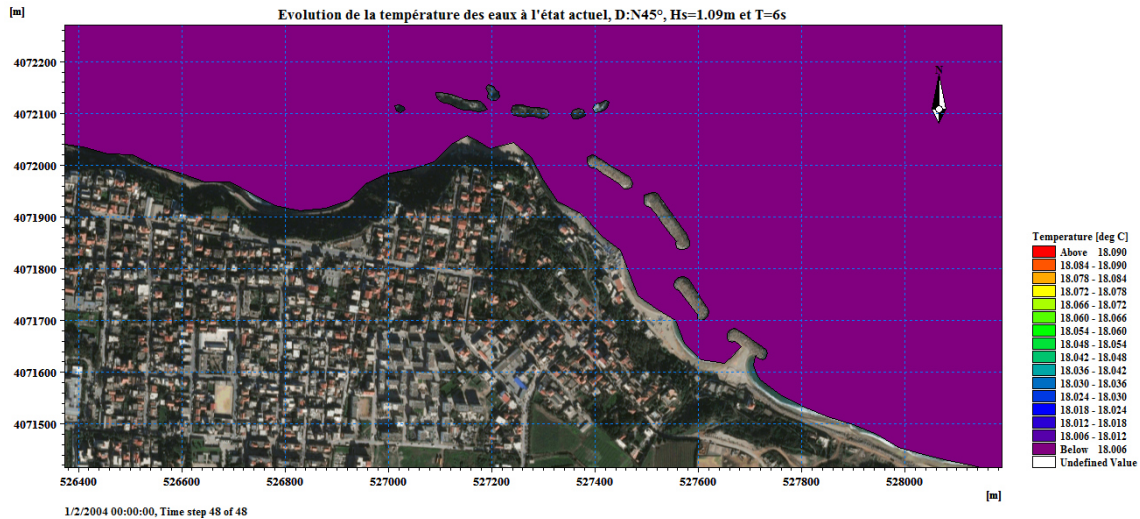


Figure 6.17: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers pour des houles de direction D : N°45, Hs=1.09m et T=6s.

Nous pouvons noter que le même schéma de l'évolution de la température des eaux au niveau au niveau des houles de direction N°360, se reproduit pour les houles de direction N°45, avec un manque de régénération des eaux entre les cavaliers, mais une répartition homogène de la température des eaux abrités derrière les ouvrage et les eaux du large lorsqu'ils sont absents.

6.10.2 - Résultats de la simulation numérique par Mike21 pour une période de temps agitée (T=8s) :

6.10.2.1 - Evolution de la température des eaux pour la direction N°315 :

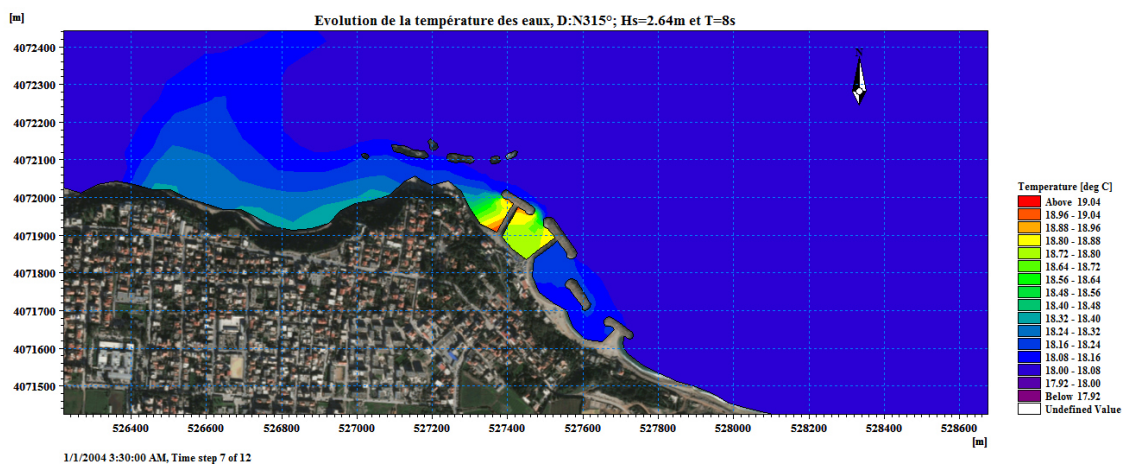


Figure 6.18: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec cavaliers pour des houles de direction, D : N315°, Hs= 2.64m et T=8s.

Pour ces houles venant du Nord Ouest, nous notons qu'ils génèrent une zone d'eau stagnante à température élevée entre les deux cavaliers toujours mais aussi en bordure du brise lame cavalier qui à proximité du banc des rochers émergents. Au niveau des ouvrages de

protection sans les cavaliers, aucune eau stagnante autour des brise lames ne semble être signalée avec une homogénéité des températures entre les eaux côtières et celles au large.

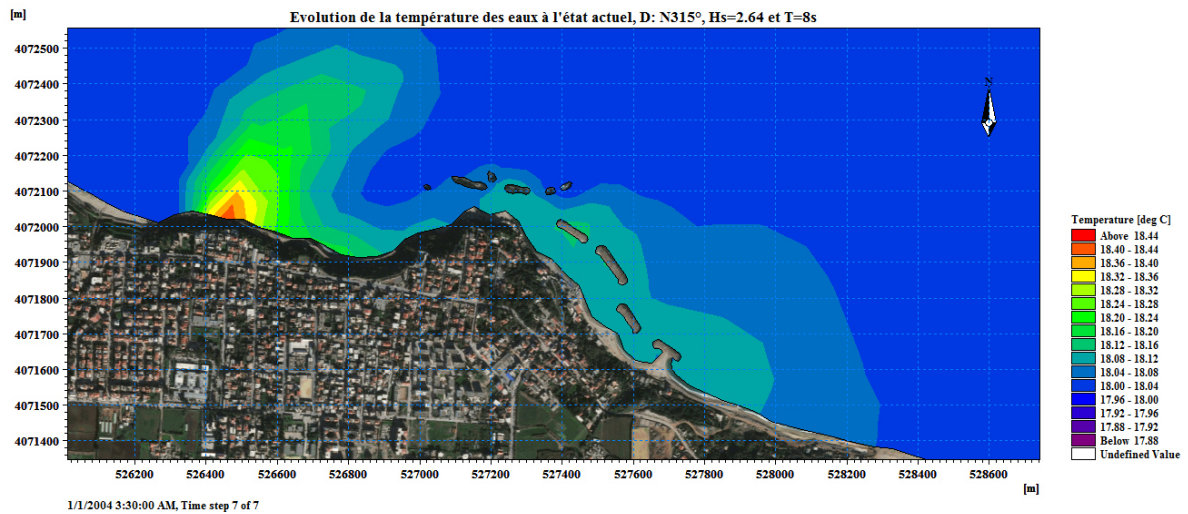


Figure 6.19: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers pour des houles de direction, D : N315°, Hs= 2.64 et T=8s.

6.10.2.2 - Evolution de la température des eaux pour la direction N360° :

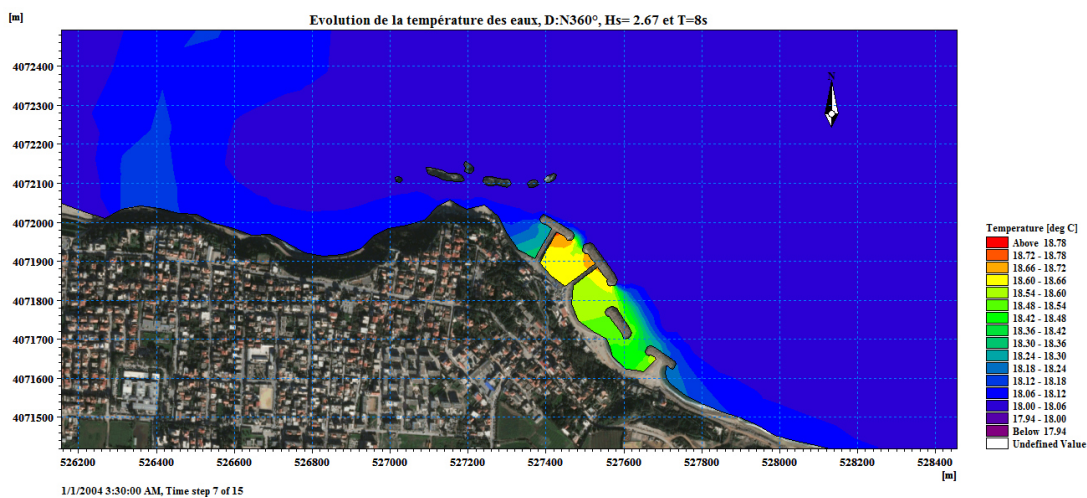


Figure 6.20: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec cavaliers sous l'influence des houles de direction D: N360°, Hs=2.67m et T=8s

Pour ces houles frontales du Nord, la stagnation des eaux semble s'être étendue derrière tous les ouvrages de protection, incluant les cavaliers de par la température bien plus élevée au niveaux de ce plan d'eau abritée. L'exacte opposé semble se produire, lorsque les cavaliers sont absents avec une stagnation nulle des eaux abrités par les ouvrages longitudinaux.

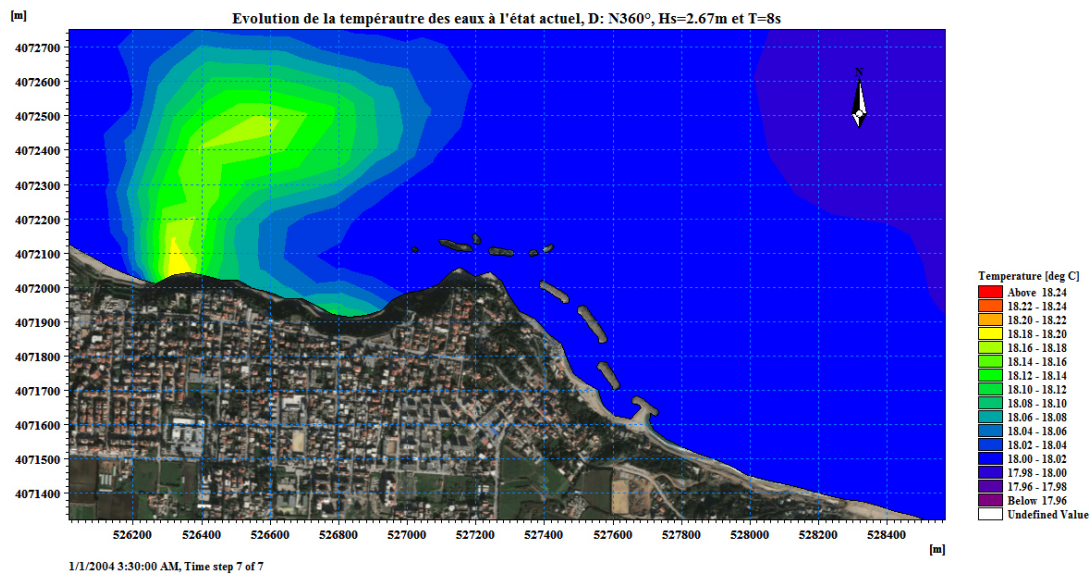
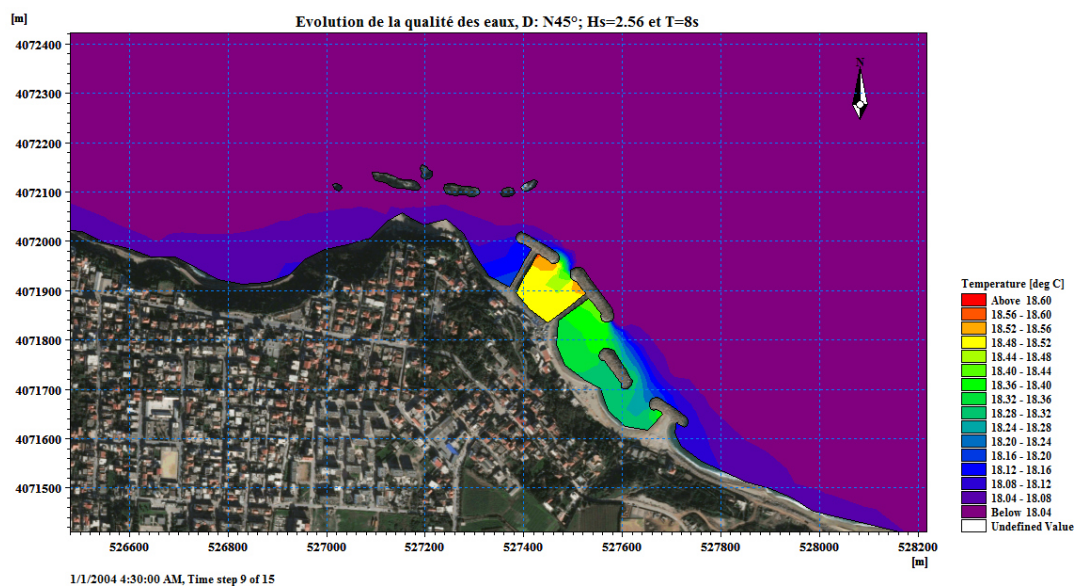


Figure 6.21: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu sans cavaliers selon les houles de direction D : N360°, Hs= 2.67m et T=8s.

6.10.2.3 - Evolution de la température des eaux pour la direction N45° :



6.22: Répartition de la température des eaux de la plage Flot Bleu avec les cavaliers sous l'influence des houles de D : N45°, Hs= 2.56 et T=8s.

Pour les houles de direction Nord-Est, la température des eaux abritées par les ouvrages de protections semblent plus élevées que celles au niveau large. En comparant la même plage, avec les ouvrages longitudinaux mais non pourvus de cavaliers, la température semble homogène pour eaux abritées et au large induisant une circulation régénérante entre les eaux.

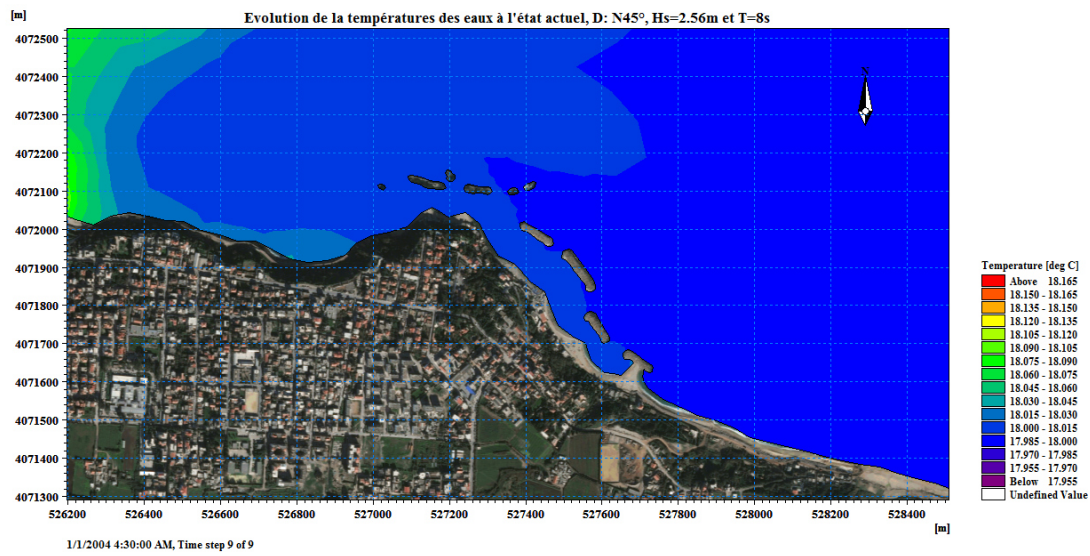


Figure 6.23: Répartition de la température des eaux de la plage

Chapitre VI : *Analyse de la littoralisation*

7 Chapitre VI : Analyse de la littoralisation

En méditerranée, le concept de la Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC) s'est récemment vu consacrer juridiquement dans le cadre du « système de Barcelone » pour la protection du milieu marin et du littoral méditerranéen, à travers l'adoption du protocole sur la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée (Rochette, 2007 ; Billé et Rochette, 2008).

Le protocole définit la GIZC comme : Un processus dynamique de gestion et d'utilisation durables des zones côtières, prenant en compte simultanément la fragilité des écosystèmes et des paysages côtiers, la diversité des activités et des usages, leurs interactions, la vocation maritime de certain d'entre eux, ainsi que leurs impact à la fois sur la partie marine et la partie terrestre. Il est particulièrement clair dans le cas des littoraux méditerranéens que le changement climatique rendra plus obsolètes encore des modes de développement d'ores et déjà non soutenables (Benoit et Comau, 2005).

Il y a différentes manières d'appliquer le protocole GIZC, mais deux approches sont prépondérantes, une approche globale à l'échelle des pays et des régions, une approche locale à l'échelle communale. Nous avons opté pour la deuxième approche, car elle permet d'identifier les acteurs qui régissent la dynamique des différentes problématiques de notre zone d'étude, la synergie entre elles et les différentes solutions aménagistes appropriées pour protéger les différents écosystèmes littoraux de la commune d'Ain Taya dans une optique de développement durable.

7.1 Impact du changement climatique sur la bande littorale :

Les conclusions du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) sont formelles, le changement climatique est en marche et ses effets dans le demi-siècle à venir sont pour partie inévitables (IPCC, 2007). Les enjeux sont donc aujourd'hui à la fois environnementaux (Protection des habitats, maintien des dynamiques naturelles, préservation des ressources, réduction des pollutions, ...) et anthropiques (Régulation des flux d'estivants sur les côtes, établissement de réseaux d'assainissement, Sensibiliser les populations à la nécessité de protéger l'environnement littoral,..).

Le changement climatique est un phénomène complexe mais dont l'effet le plus directement et fréquemment perceptible est l'élévation des températures, ce qui engendre un accroissement des températures des eaux de surface de la mer. La conséquence est une élévation du niveau de la mer par expansion thermique des couches d'eau de surface plus chaudes dû à leurs contacts avec l'atmosphère par l'interface air-mer.

Une augmentation globale de la température d'environ 0.4°C a été en effet mesurée entre 1860 et 1940, suivie d'une légère baisse jusque vers la fin des années quatre-vingts, pour remonter encore de 0.4°C depuis lors. Les grands glaciers continentaux et les calottes polaires ont par conséquent vu leur volume diminuer, augmentant de ce fait la quantité d'eau liquide dans les océans, mais surtout, l'eau chaude occupant plus de volume que l'eau froide, la

tranche d'eau superficielle des océans et des mers s'est dilatée et le niveau moyen de la mer s'est élevée (Paskoff et Clus-Auby, 2007).

Cette élévation du niveau de la mer va générer un phénomène de submersion marine des côtes basses (sableuse, rocheuse et zone humide) mais aussi d'intrusion d'eau marine dans les aquifères, d'où des problèmes de salinisation des nappes phréatiques (Bird, 1993 ; Paskoff, 2001).

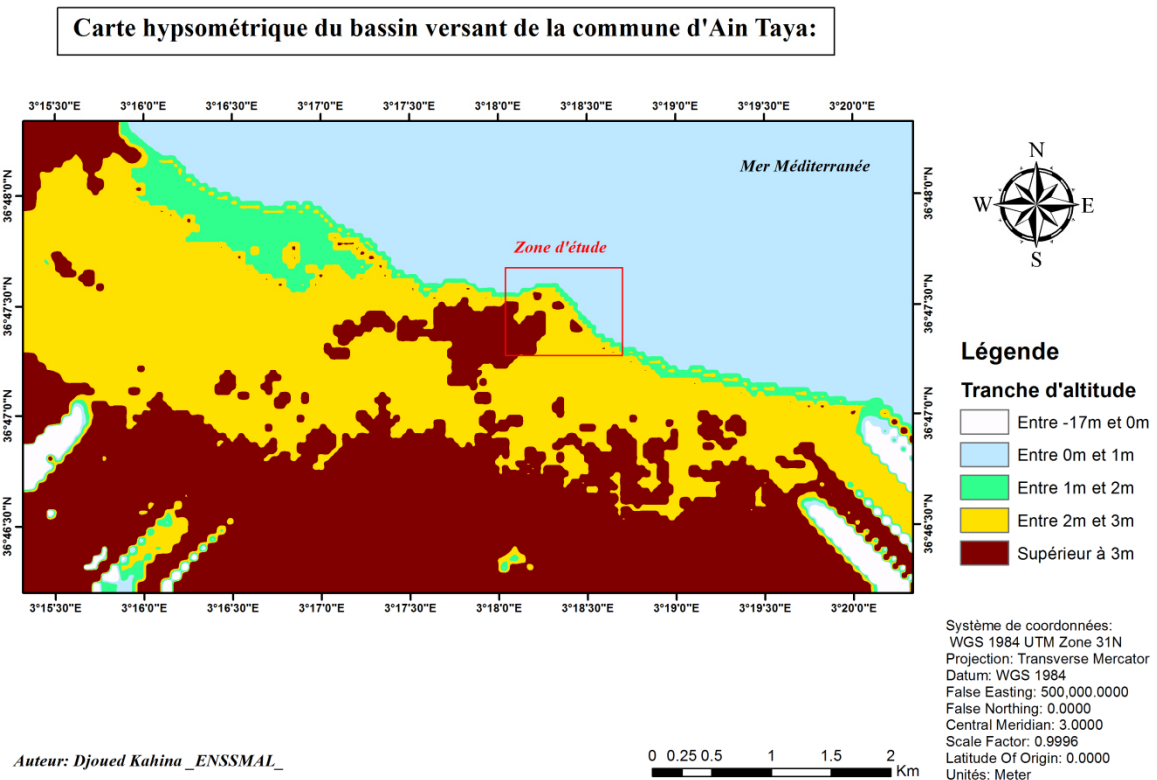
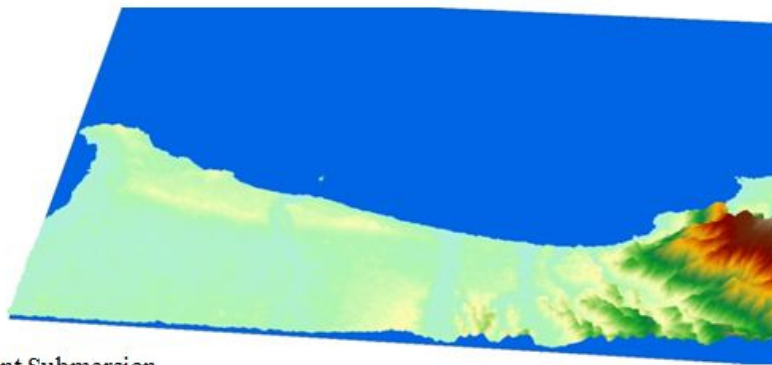


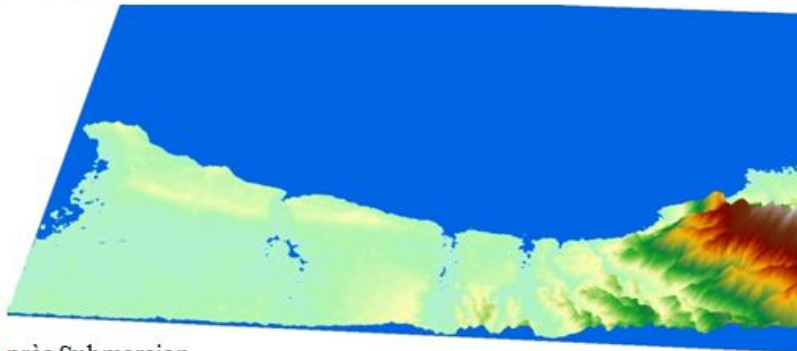
Figure 7.1: Carte hypsométrique de la commune d'Ain Taya réalisée par ArcGis à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT) téléchargé du site USGS.

En observant cette carte hypsométrique nous pouvons déduire qu'au niveau de la bande littoral l'altitude ne dépasse pas les 2m, et qu'en pénétrant dans l'espace supra-littoral l'altitude ne dépasse pas les 3m, jusqu'à atteindre les terres intérieures.

Nous établissons l'hypothèse que la commune d'Ain Taya au niveau de notre zone d'étude semble vulnérable à deux phénomènes qui sont la submersion marine et l'inondation dû à la crû de l'oued Réghaia lors de l'occurrence de tempêtes avec un fort débit de précipitation. Pour étayer cette hypothèse, nous avons effectuée un modèle de submersion/inondation sur toute la côte Est algéroise pour un scénario extrême pour démontrer sa vulnérabilité. Cependant, ce modèle est limité de par le manque de précision du MNT avec une résolution de (-30m), et d'autre part que ce modèle ne prend pas en compte de données hydrodynamiques et météorologiques qui donneraient une meilleure précision sur la prédiction d'occurrence ou non d'un tel scénario extrême.



Cas (1): Avant Submersion.



Cas (2): Après Submersion

Figure 7.2: Modèle de submersion généré à partir de l'extension ArcScene du logiciel ArcGis à partir d'un MNT.

En observant le cas (1), qui présente un modèle de submersion pour un niveau marin de +10m nous pouvons déduire qu'il y a une transgression de la mer sur la partie littoral et la disparition des ilots. On peut supposer que cette submersion est accentuée par l'érosion général des côtes sableuses, et de par la faible altitude de la côte, permettent une pénétration plus étendue de la mer sur les terres.

La diminution de la quantité de sédiments disponible, lente élévation du niveau de la mer, accroissement possible du pouvoir destructeur des vagues, autant de causes qui, agissant ensemble, placent les plages dans une situation précaire. Celle-ci ouvre la voie à une récession, souvent accélérée par les effets, perturbateurs d'équilibre, de l'emprise humaine sur les rivages meubles (Paskoff, 1998).

Nous remarquons que l'inondation des terres un peu plus en retrait de la côte est dû à la crue des oueds et lacs comme le lac Réghaia, avec la formation de langues d'eau de submersion qui dépassent la bande littorale par la connexion des oueds avec la mer, comme l'oued Réghaia qui lié au lac Réghaia dans la partie intérieur terrestre.

L'aggravation de l'érosion des plages est l'une des conséquences que l'on peut craindre de l'élévation à venir du niveau marin. En effet, la force d'impact des vagues ne peut que s'intensifier avec l'augmentation des profondeurs littorales, et ce faisant, des quantités plus grandes de sédiments seront arrachées aux plages (Paskoff & Clus-Auby, 2007).

Carte de la submersion marine de la commune d'Ain Taya à Alger à partir d'un MNT:

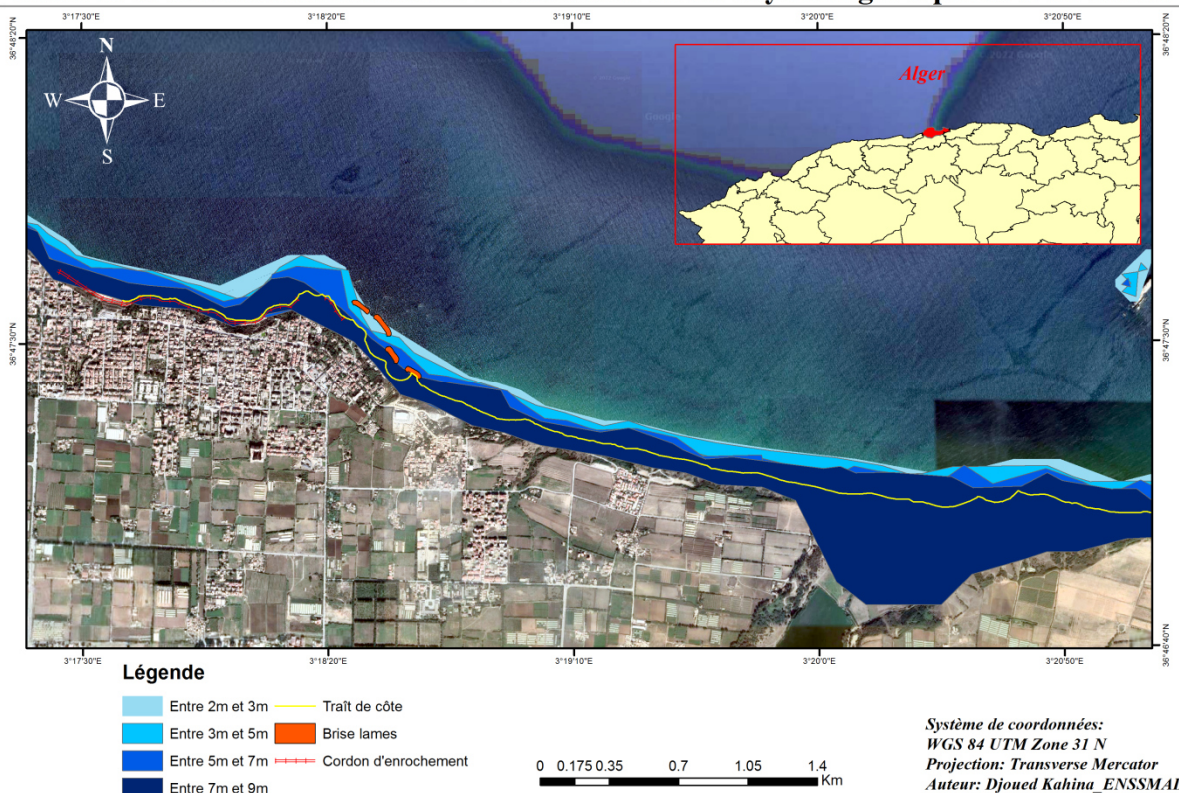


Figure 7.3: Carte de la répartition des hauteurs de houles et des superficies submersibles sur la bande littorale de la commune d'Ain Taya.

Comme nous pouvons le constater sur l'aléa de submersion au niveau de la côte (figure 6.3), il semble que pour chaque hauteur d'élévation du niveau de la mer s'ajoute un franchissement du jet de rive, et une pénétration des eaux marines sur la partie continentale. La distance de pénétration des eaux submergeantes va dépendre de plusieurs paramètres dont le cycle de la marée lors d'une tempête (le niveau marin ne reste pas de manière continue dans le temps à son niveau maximal mais par vagues) et la période de remplissage des côtes basses qui sont limitée dans le temps selon si elles sont protégées par des structures naturelles ou artificielles.

Les sections des brise lames ont été calculés pour les caractéristiques suivantes de la mer et du fond :

- Niveau maximal de la mer : (+1,00) NGA ;
- Profondeur maximal devant l'ouvrage : (-2.50 m) ;
- Pente du fond devant l'ouvrage : $m = 0.05$;
- Période de houle, $T=10s$, amplitude déferlante $H_b= 4.4m$;

Pour le couronnement retenu à (+4,00) et pour un niveau de la mer à (+1.00) NGA, la largeur du couronnement que peut franchir la houle déferlante $H_b=4.4m$ est d'environ 16 à 17m. Il est donc nécessaire de protéger toute la partie supérieure et la partie haute du talus arrière.

Lorsque la houle déferlante s'abat sur l'ouvrage, elle va entraîner une remontée d'eau sur ce dernier. Le niveau maximum de cette remontée est appelé le *Run up*. Pour calculer la hauteur du *Run up*, nous avons utilisé la méthode basé sur l'utilisation d'Abaques (Annexe) représentant l'ascension des lames sur un talus lisse et imperméable obtenus à partir du manuel CERC, afin de déterminer plusieurs paramètres relatifs au talus des brises lames. Parmi ces paramètres nous avons la pente au pied de l'ouvrage ($m=0.05$), la hauteur d'eau au pied de l'ouvrage (H à la côte) et la hauteur de la houle au large (H_0).

Nous avons obtenus les hauteurs de houles à la côte pour chaque de profondeur à partir du modèle de réfraction de la houle à l'état actuel pour la Direction N360° et la période $T=8s$.

Nous avons choisis la direction des houles de direction de propagation Nord, car elles sont les plus à même de créer un déferlement assez puissant pour générer les *Run up* les plus importants de par son attaque frontale sur la construction quasi-verticale du brise lame.

Tableau 7.1: Paramètres et résultats du calcul de la hauteur du Run-Up.

Type de profondeur	d (m)	H à la côte (m)	H_0 (m)	$(H_0) / (g \cdot T^2)$	Run up (m)
Côtière	2	1.98	1.71	0.0027	3.76
Côtière	4	1.84	1.74	0.003	3.83
Intermédiaire	8	2.12	2.23	0.0035	4.46
Intermédiaire	18	2.11	2.31	0.0036	4.62

Les résultats du *Run Up* permettent d'indiquer que les houles venant du large en déferlant sur l'ouvrage au niveau de la côte génèrent une hauteur moyenne du *Run up* de l'ordre de 4.2m.

Pour améliorer le diagnostic, il faudrait prendre en compte d'autres paramètres propre au dimensionnement de l'ouvrage, comme l'indice de vide entre les blocs, le nombre de blocs perdus sur une échelle diachronique, pour évaluer la résistance de la structure et le niveau de son tassement dû à l'action destructrice répétitive des lames.

7.2 Impact anthropique sur la zone littorale :

Les travaux réalisés sur les fleuves, ont réduit, parfois considérablement, leur rôle de pourvoyeur des côtes en matériaux solides. Les barrages en particuliers représentent des pièges à sédiments très efficaces. Or, on les a multipliés au cours des dernières décennies dans les régions de la Terre à tendance sèche, pour étendre les superficies cultivées et accroître les rendements grâce à l'irrigation. Il se trouve que ce sont justement les fleuves de ces régions qui transportent une charge solide, grossière et abondante jusqu'à la mer parce que, pour des raisons climatiques, l'érosion mécanique est active dans leurs bassins versants (Paskoff, 1998).

Carte de la répartition des barrages et et oueds de la côte Est algéroise:

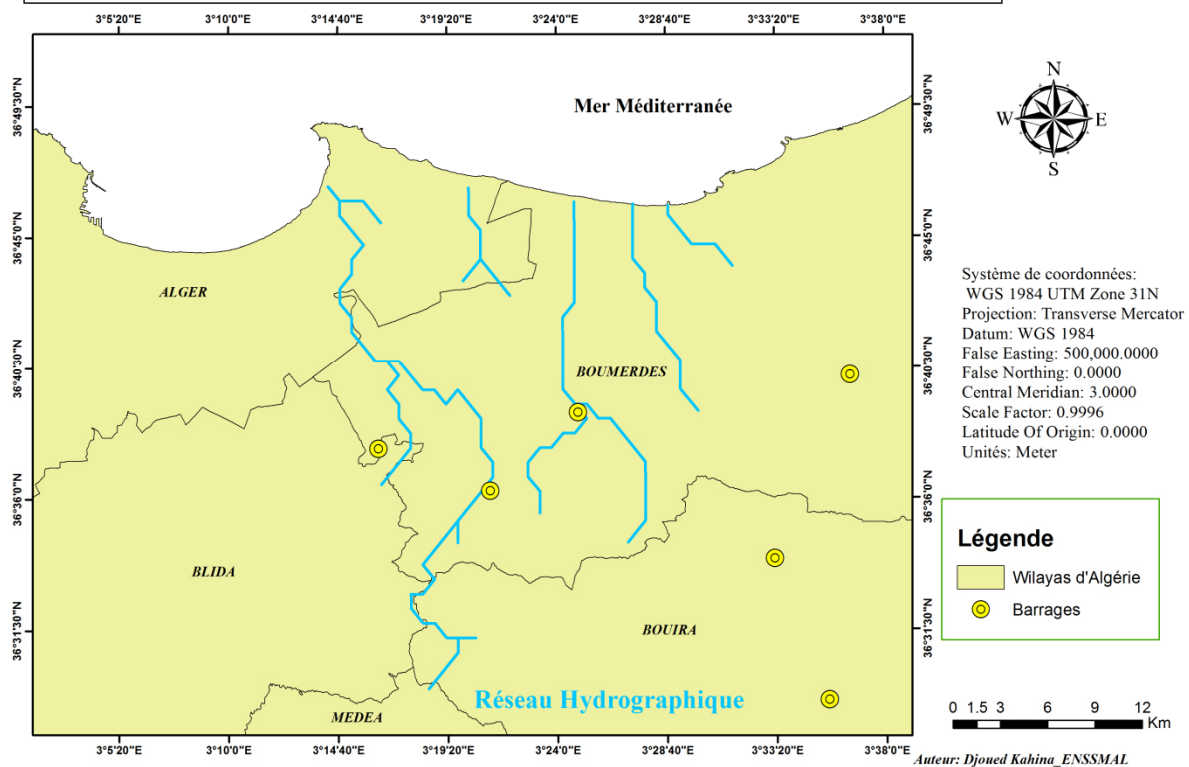


Figure 7.4: Carte de la répartition des barrages et cours d'eau alimentant la zone littorale de la côte Est algéroise

A partir de la carte de la figure 6.4, nous observons que les cours d'eaux principaux qui acheminent les matériaux solides, produits de l'érosion des bassins versant, vers le littoral, sont construits trois barrages, en comptant à partir de l'Ouest :

- **Barrage Barek :** Situé au niveau de la frontière entre la wilaya de Blida, à 94m d'altitude. Cet ouvrage hydraulique aura une capacité de rétention maximale d'environ $28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en alluvions et pourra être mise en œuvre à l'horizon 2025.
- **Barrage Hamiz :** Il se situe au Sud Ouest de la wilaya de Boumerdes à 157m d'altitude. Comme son nom l'indique, il est dans le sillage du cours d'eau principal qui alimente l'oued El Hamiz qui se déverse au niveau de la partie Est de la baie d'Alger. En 1990, il a été mis en service et il fait partie des 65 barrages opérationnels en Algérie. Cet ouvrage est doté d'une capacité de rétention maximale des sédiments solides de l'ordre de $16.28 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ en alluvions.
- **Barrage Keddara :** Dans la wilaya de Boumerdes, il se situe à 148m d'altitude et a été mis en service en 1987. Des trois barrages, c'est celui qui a la capacité de rétention la plus importante, de l'ordre de 142.4 millions m^3 en alluvions.

En Afrique du Nord, les barrages ont une durée de fonctionnement estimée en moyenne à un siècle par suite d'un colmatage rapide dû à leur effet de piégeage sur les sédiments. Les matériaux ainsi retenus, essentiellement des sables et galets qui sont justement les constituants

des plages, représentent autant de sédiments dans le domaine côtier est privé à une époque de pénurie en matériaux (Paskoff, 1998).

Au niveau de notre zone d'étude, dont le lac Réghaia et son oued qui se déverse au niveau de l'embouchure de la plage El Kadous. Plusieurs actions anthropiques ont été perpétrées :

7.2.1 -Artificialisation de l'Oued Réghaia :

L'emplacement de l'embouchure a été modifié au fil du temps comme le démontre ces images dans la figure 3 :

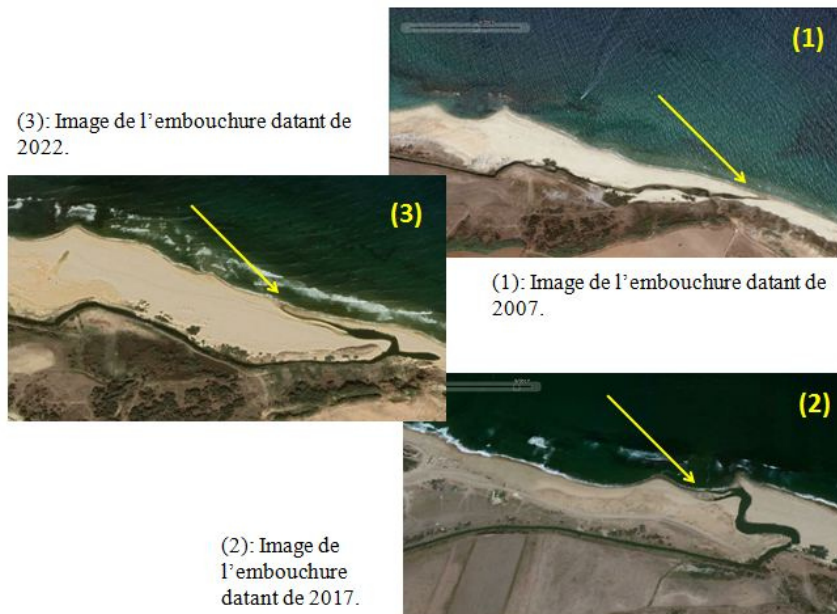


Figure 7.5: Images représentant le tracé de l'embouchure entre 2007, 2017 et 2022 ; obtenues à partir du logiciel Google Earth Pro.

Nous observons que le changement dans le tracé de l'embouchure entre l'image (1) et l'image (2) est bien trop significatif pour ne pas être d'origine anthropique, de par l'aspect en zigzag de l'embouchure ainsi que l'élargissement du cours d'eau.

La sur-fréquentation des plages, l'extraction abusive du sable, la pratique illégale de sport mécanique, la réorientation de l'embouchure de l'oued Réghaia et la fermeture de la valve qui sépare l'oued du lac Régaia, sont les actions d'origine anthropique qui ont fortement perturbée la distribution de l'apport sédimentaire pour les plages. Ce qui a engendré un déficit sédimentaire au niveau de l'oued Réghaia et une intense dégradation de la dune d'El Kadous, qui a toujours constituée une protection naturelle contre l'attaque des vagues (Otmani & al, 2020).

La tentation était grande, à une époque d'augmentation vertigineuse des besoins en sable et en gravier pour la construction (fabrication en béton) et les grands travaux (aménagement de remblais), de recourir, non seulement aux réserves des lits des cours d'eau, mais aussi à celles, facilement accessible, du domaine côtier. Ainsi, on n'a pas hésité à exploiter inconsidérablement les matériaux des dunes, des plages et des avants plages. Or, ce sont là trois éléments solidaires d'un même ensemble. Toucher à l'un a nécessairement des

répercussions sur les deux autres. L'avant dune constitue un réserve en sédiments qui peut être mobilisée par les vagues lors des tempêtes pour construire des barres immergées ; celles-ci atténuent, en éloignant le déferlement du trait de côte, l'érosion de l'estran (Paskoff, 1998).

Il ne fait plus de doute sur la nécessité de protéger le système dunaire de la plage El Kadous au niveau de l'embouchure de l'Oued el Réghaia, pour compenser le déficit sédimentaire.

7.2.2 -Occupation de l'espace littoral :

Pour analyser de manière quantitative et qualitative l'impact de l'occupation anthropique au niveau de la commune littorale, nous avons structuré chaque occupation du domaine littoral selon le type de construction (Habitat, Terre agricole, Réseau routier,..) en l'accompagnant d'une valeur quantitative pour mesurer le taux d'occupation de la surface du domaine côtier de la commune d'Ain Taya. Pour réaliser cet objectif nous avons digitalisée une image satellitaire de haute résolution (Zoom +18) à partir du logiciel SAS_Planet. La digitalisation et l'apport quantitatif par l'outil statistique a été effectué à l'aide du logiciel ArcGis 10.3.

Pour constituer une base de données géographiques, c'est-à-dire la vectorisation, nous avons créé 07 couches vectorielles (shapefile) :

1. Ilôt : Toute occupation du sol regroupé dans un vecteur polygone.
2. Habitat : par un vecteur polygone
3. Equipement : Terres agricoles, complexe sportif,... par un vecteur polygone.
4. Ouvrages de protection : Brise lames et mur d'enrochement par un vecteur polygone.
5. Réseau routier par un vecteur polyligne.
6. Trait de côte par un vecteur polyligne.
7. Petits métiers au mouillage par un vecteur point.

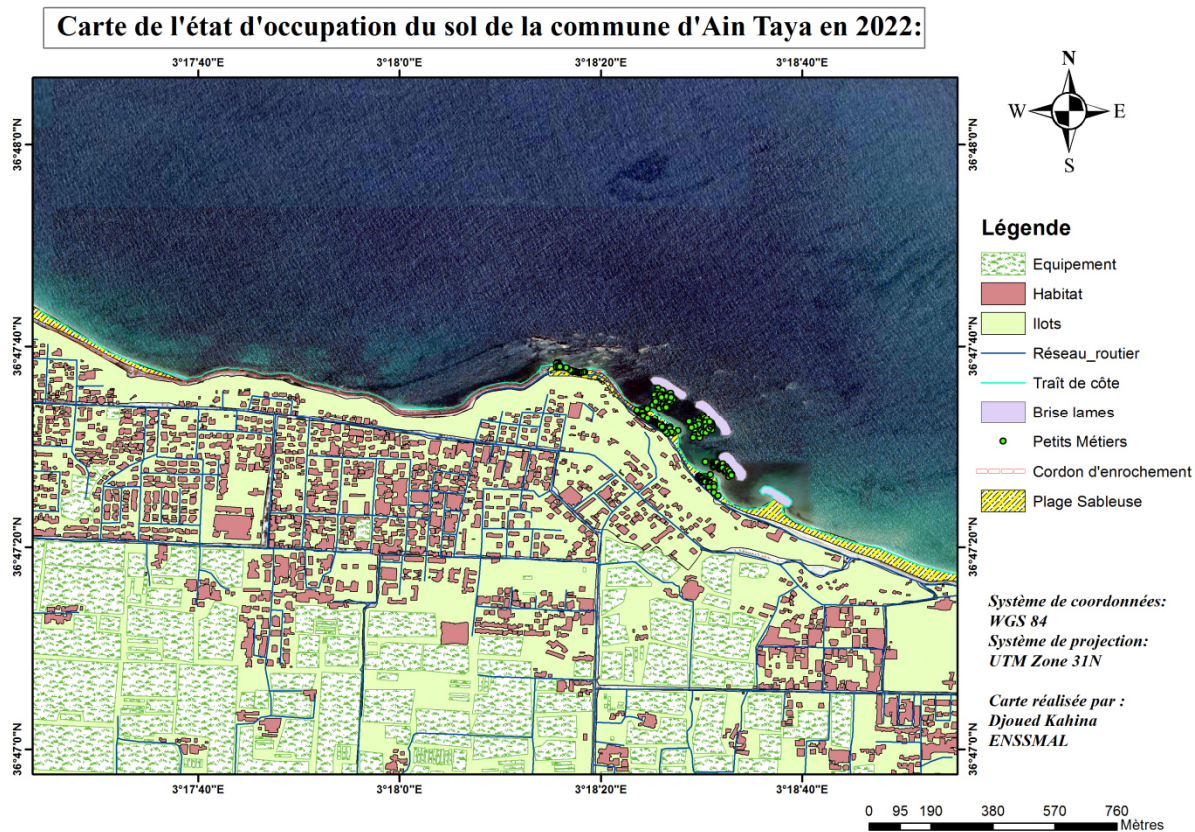


Figure 7.6: Carte de la répartition des différentes constructions (Habitations, ouvrages de protection,..) dans l'espace littoral de la commune d'Ain Taya.

Comme nous pouvons l'observer, au plus près de la côte l'occupation anthropique prime par les habitations, alors qu'un peu plus au Sud, les habitations se raréfient c'est les équipements, surtout du type terre agricole qui domine.

Derrière les ouvrages de protection et sur la plage les Flot Bleus, nous avons dénombré un total de 180 petits métiers, dont 96 sont échoués sur la plage et 84 au mouillage dans l'abri de pêche constitué par les brise lames.

Cela dépeint d'un aspect positif et négatif, le premier correspond à un nouvel apport économique qui va augmenter l'employabilité dans les résidents de la localité de Surcouf, dans la commune d'Ain Taya.

Le deuxième point est le nombre trop élevé des petits métiers par rapport à la capacité d'accueil de la plage Flot Bleu, sachant que ce décompte a été effectué par rapport au mois de juin 2022 qui fait référence à la saison estivale où l'afflux des vacanciers génère par lui seul une sur-fréquentation, couplée avec l'occupation de l'espace côtier de ces barques génère une pression anthropique considérable sur la plage, qui peut se répercuter sur l'évolution de son transit sédimentaire. L'autre point négatif, c'est que le mouillage derrière les brise lames risque de générer une mauvaise qualité des eaux de par la faiblesse des courants au niveau de ce bassin quasi-fermé, qui va induire une circulation faible et donc un taux de régénération de ces eaux assez faible.

Au niveau des cordons d'enrochements, ils débutent à partir de la limite ouest de la plage Flot Bleu sur une longueur de **150m** avant d'atteindre les rochers émergents, et puis la promenade de Tamaris sur un linéaire de **1.34 Km** d'un cordon d'enrochement. Ceci dénote d'une forte artificialisation du rivage côtier, dans le but est soit de créer un espace de promenade en front de mer comme la longue promenade de Tamaris, ou bien de protéger de l'érosion des habitations, villas et autres constructions en bordure même du rivage. Or l'empiètement du cordon rocheux au niveau de l'avant-plage de la partie Ouest de la plage Flot Bleu entre le banc de rochers émergents et le premier brise lame, va amputer la plage d'une accumulation sédimentaire. La proximité du brise lame génère des courants par la diffraction de la houle qui attaque cette zone rendu vulnérable par le manque d'approvisionnement en matériel sédimentaire, dû à la batterie d'épis qui a consommée l'approvisionnement en sédiments du courant de dérive littoral créant des tombolos ou saillants derrière les brises lames, mais aggravant la situation de déficit de cette parcelle de plage vulnérable à l'érosion par l'attaque des vagues. Pour résoudre ce problème, il faudrait recourir à la réalisation d'un autre ouvrage maritime mais dont la résultante sera une plus grande artificialisation de l'espace littoral perturbant la dynamique du transfert littoral.

Les brise lames ont des effets comparables à ceux des jetées. En créant un secteur de calme entre eux et le trait de côte, ils déterminent un effet de freinage de la dérive littorale qui dépose sa charge sous la forme d'un saillant triangulaire ; au-delà, l'arrêt de l'alimentation en sédiments provoque une érosion (Paskoff, 1998).

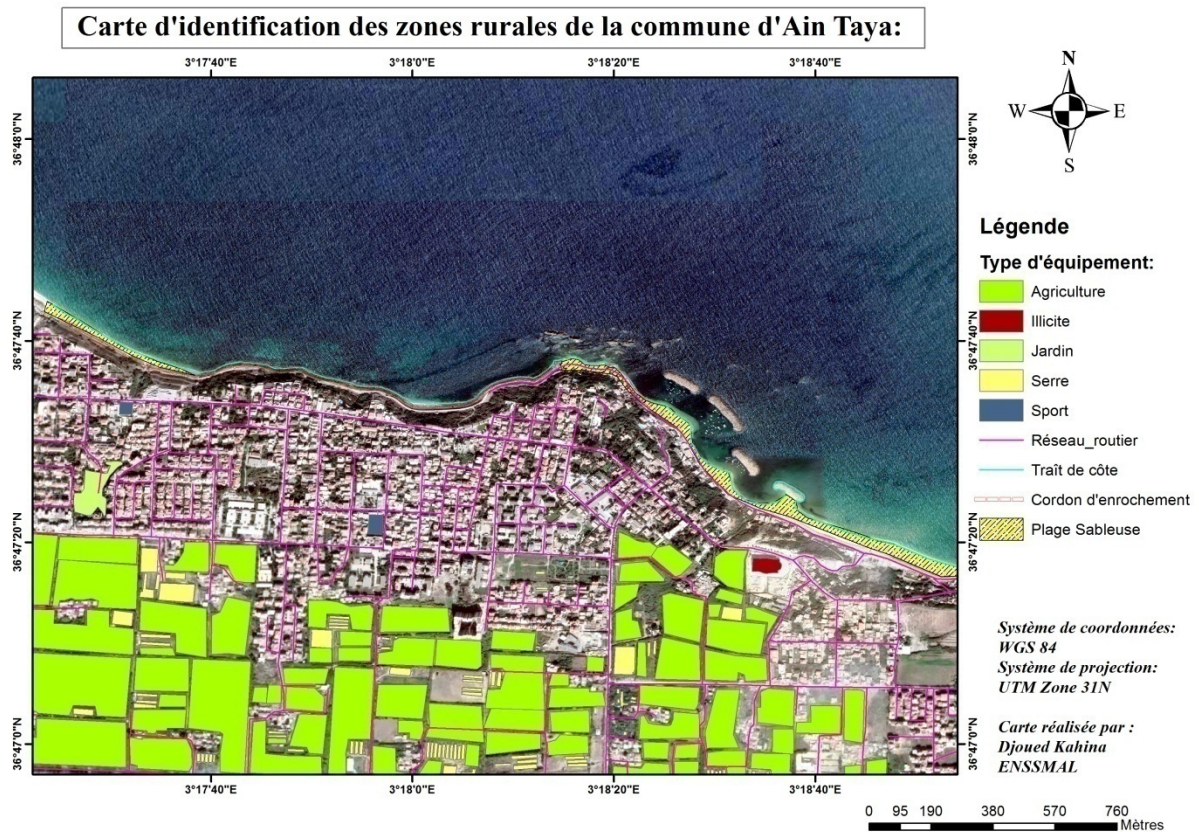


Figure 7.7: Carte d'identification de la nature des équipements occupant le domaine de la commune d'Ain Taya.

A partir de la figure 7.7, nous déduisons que l'activité anthropique principale après l'occupation de l'espace par les habitats, est le développement de l'agriculture par des serres qui occupent une superficie totale de 5 ha, au côté de terres dédiées à l'agriculture qui occupent la majorité de l'espace avec une superficie totale de l'ordre de 75,9ha. On peut supposer que ce soit la principale activité économique de la région de par sa proximité aux espaces résidentiels et de l'éloignement des communes adjacentes comme celle de Rouiba connu pour son complexe industriel qui déverse ses rejets au niveau du lac Réghaia, ou celle d'Alger à l'Ouest qui regroupe une plus grande diversité dans le champs d'activités professionnels.

La proximité de ces terres agricoles au lac Réghaia dont la pollution est démontrée de par sa connexion avec le secteur industriel, avec une possibilité d'étendre cette pollution sur ces terres par une irrigation des eaux polluées du lac.

Au vu de l'élévation du niveau de la mer, et la possibilité de l'occurrence d'une submersion, on peut suspecter l'apparition d'une intrusion saline au niveau des terres agricoles qui risquent de détruire le rendement des récoltes agricoles, et de rendre les terres non utilisables avant l'élimination complète de cette intrusion, ce qui est un travail qui risque de prendre du temps.

7.2.3 – Etude de l'urbanisation:

Nous avons appliqué une configuration zonale en bandes de différentes longueurs pour y appliquer une stratégie d'aménagement dans une optique de préservation et développement durable du littoral de la commune d'Ain Taya, afin de détailler l'impact urbanistique sur la zone d'étude, à l'échelle de l'habitant pour une meilleure visualisation des conséquences de la sur-urbanisation à proximité du rivage .

Voici notre plan de délimitation zonale de la référence (0m) est le trait de côte :

- De 0 à 20m : zone à risque (non-aedificandi), toute habitation détectée dans cette bande est destinée à la démolition.
- De 20 à 100m : zone où toutes les habitations doivent être réhabilitées en des installations réalisées à partir de matériaux légers comme le bois ou le préfabriqué, facilement démontable au terme de la saison estivale.
- De 100 à 300m : zone d'aménagement à extension urbaine mais avec une limite du nombre d'habitations et de la distance entre chaque une à respecter, sans oublier l'aménagement des espaces de villégiature.
- Au-delà de 300m : Toute construction se localisant dans cette zone peut être maintenu à condition d'être entretenu et valorisé au mieux pour les besoins sociétaux mais dans le respect des exigences environnementales du littoral.

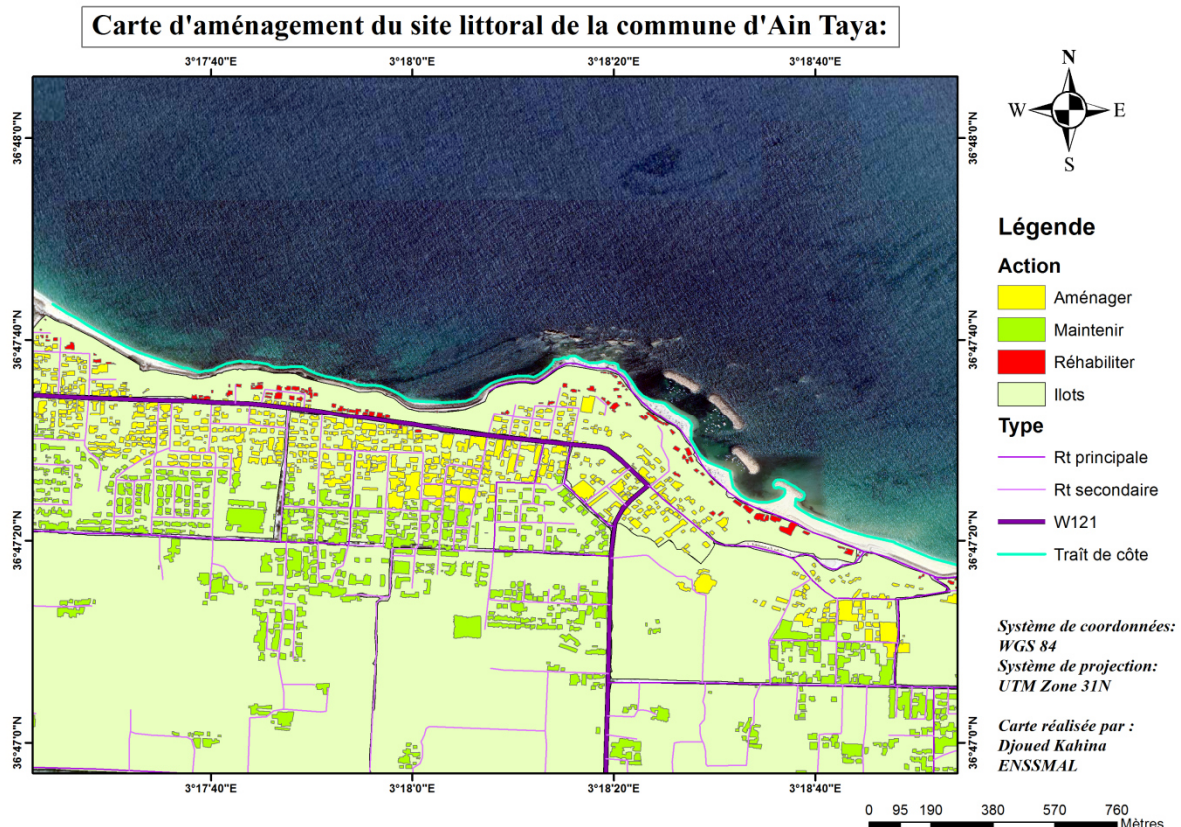


Figure 7.8: Carte de répartition des habitations selon l'action à entreprendre par rapport à leur proximité de la ligne du rivage de la commune d'Ain Taya.

Les résultats de la délimitation peuvent être visualisés au niveau de la figure 7.8, avec un code de couleur faisant référence à l'action à entreprendre sur les habitations.

Pour les habitations de couleur rouge, se situant dans la zone non constructible qui est la plus proche du rivage, l'action à entreprendre est la démolition. Nous obtenons par traitement statistique des résultats un total de 114 habitations à démolir. Si nous supposons que dans chaque habitation vivent quatre personnes, nous aurons un total de 456 personnes à reloger.

Vu l'ampleur de l'action à entreprendre, il faudra l'entamer selon la priorité de vulnérabilité et de la zone littoral et du bien être des habitants, c'est-à-dire que nous allons au début privilégier les habitations qui subissent une érosion intensive de la mer à travers le rejet d'embruns salés qui s'infiltrent dans les structures et les fragilisent par l'haloclastie. Ce risque est décuplé si ces habitations ont été construites avec du matériau de plage qui est beaucoup moins résistant aux effets d'infiltration saline, fragilisant la structure et la rendant dangereuse et inhabitable.

L'autre paramètre de vulnérabilité prioritaire, sont les habitations construites sûr ou en bas de la falaise surplombant la plage de Flot Bleu et de Surcouf.

Cette falaise s'étale sur une superficie de 1.46 ha, avec une hauteur maximale de 35 m, à l'ouest de la zone d'étude. Cette falaise est instable et sujette aux glissements et aux éboulements. Elle est occupée par une végétation constituée de roseaux et d'arbustes. Plus de détails sur sa configuration dans notre site d'étude sont détaillées dans la partie généralités.

Pour la deuxième bande zonale, qui regroupe les habitations à réhabiliter de couleur jaune, nous avons identifiées 588 habitations qui occupent une superficie de 14,63ha. Le tissu urbain semble implanté sur toute la zone avec très peu d'espacement entre les habitations et une quasi-absence d'espaces de villégiature communs. L'ensemble des habitations sont de type individuel et occupent une superficie plus-tôt importante pour ce type de constructions. Si nous devons nous référer au texte de loi littoral 02_02, ces habitations qui font partie de la bande des 300m devraient aussi être détruites, mais au vu du nombre important d'habitation, cela engendrerait des problèmes logistiques et sociaux comme le relogement qui nécessite une stratégie étatique à l'avance, c'est pourquoi nous préconisons une réhabilitation au lieu d'une démolition.

Pour la bande zonale supérieure à 300m, qui regroupe les habitations à maintenir de couleur verte. Elle représente aussi la bande la plus peuplée avec un total de 691 habitations occupant une superficie de 2,4ha. Cette densité démographique est trop importante pour établir un diagnostic de maintien seulement. Il faudrait procéder par une enquête terrain pour recenser les zones à forte pollution générées par cette démographie populaire et agir en conséquence en appliquant une instance de réaménagement pour toute construction ayant un rejet d'eaux usées et domestiques libre, non liés au réseau d'assainissement de la commune.

L'interdiction de toute extension longitudinale du périmètre urbanisé, c'est à dire toute extension parallèle au rivage, ainsi que l'interdiction de l'extension de deux agglomérations adjacentes situées sur le littoral à moins que la distance les séparant soit de cinq (5) km au

moins, cette mesure est établie pour éviter des agglomérations trop importantes sur le littoral et pour préserver les espaces naturels de la commune d'Ain Taya de l'urbanisation.

7.2.4 -Pollution domestique :



Figure 7.9: Carte de répartition des rejets et sources d'eaux au niveau du littoral de la commune d'Ain Taya.

A travers la figure 7.9, nous observons que les plages sélectionnées comme interdites à la baignade sont celles de la partie Ouest du littoral de la commune, représentant la plage Flot Bleu et Surcouf. Cette interdiction s'appuie sur la qualité des eaux de baignade dont l'analyse des paramètres physico-chimiques et bactériologiques a identifiée une contamination fécale étendue sur plusieurs points de prélèvements.

En comparant entre la collection de plages autorisées à la baignade (Canadiennes, Déca plage et El Kadous) et celles qui ne le sont pas, nous pouvons déduire l'origine de cette prise de décision. Au niveau de la partie Est de la zone d'étude, on dénombre une fosse débordante, six non débordante, six unités d'eau et surtout une station de relevage. La fonction de cette dernière est de rassembler les rejets des fosses débordantes et non débordantes, et de les relier au réseau d'assainissement de la commune d'Ain Taya par un système de pompe hydraulique dû au fort pendage de la falaise.

Par contre, au niveau de la partie Est qui correspond à notre zone d'étude, le premier élément qui saute aux yeux est l'absence d'une station de relevage, présence de six fosses non débordantes, une fosse débordante et un rejet collecteur qui rejette directement en mer tous les déchets et eaux usées accumulés dans cette zone, dans le rivage quasi-fermé par les brise lames. La qualité déplorable des eaux de la plage Flot Bleu a de fortes chances d'être dû à ce rejet principal en pleine mer, en plus d'autres facteurs comme la sur-fréquentation de la plage, surtout en saison estivale.

La situation critique de la pollution par les eaux usées ne fait que s'intensifier avec le temps, comme les résultats de la campagne d'analyse la qualité des eaux effectuées par le laboratoire HUPE, le démontre (Chapitre V).

Un programme de résolution de cette problématique d'ordre environnemental et sanitaire s'impose de toute urgence.

7.3 - Bilan des solutions de la plage Flot Bleu :

- Pour pallier au problème de la déplorable qualité des eaux de baignade, il est impératif d'éliminer le rejet du collecteur d'eaux usées dirigé vers la mer, d'installer une station de relevage qui pourra se connecter au réseau d'assainissement de la commune d'Ain Taya. Au vue de la nature incommode du site du point de vue de la forte pente de la falaise, si l'installation de la station de relevage s'avère problématique, on peut opter pour une solution temporaire qui est, la collecte des déchets et leurs enfouissement dans une fosse choisis préalablement en tenant en compte de l'impact nocif que peut avoir cette enfouissage sur l'environnement alentour qui de préférence sera une zone non urbanisée, éloignée du littoral et de terres agricoles.
- L'application de la loi littoral 02-02 sur le tissu urbain, afin d'amoindrir la densité démographique sur le littoral de la commune d'Ain Taya et de sauver les habitants de la plage Flot Bleu d'un risque d'éboulement et glissement de la falaise sur leurs habitations.
- Réguler le flux des estivants qui colonisent les côtes, et plus particulièrement la côte Est algéroise, pour ces ressources en naturels en plages, dunes et régions boisées. Cette régulation est nécessaire au niveau de la plage Flot Bleu de par sa faible superficie par rapport aux plages adjacentes, et de son appauvrissement en matériel sédimentaire au niveau du banc des rochers émergents dû à l'impact des brise lames.
- Interdire l'extraction de sable et du matériel dunaire.
- Multiplier les travaux de restauration des dunes comme l'initiative d'une restauration dunaire par une méthode flexible effectuée en 2015, en implantant des fascines (fagots de branchage placés en haut de plage faisant office de brise-vent dominant), ganivelles (palissage en lattes de bois formant des casiers), couverture de branchage qui limite l'envol du sable et l'implantation d'oyats.
- Limiter les altérations sur le cheminement naturel de l'Oued Réghaia au niveau de son embouchure, ce qui perturbe la dynamique géomorphologique littoral mais aussi le flux de sédiments pourvoyais par ce cours d'eau.
- Le recours vers des solutions d'aménagement littoral moins lourde comme :
 - Le recul stratégique est l'une des options les moins coûteuses, puisque il n'applique pas de travaux de construction et semble la plus adaptée au contexte de l'élévation du niveau de la mer. Ce recul permettra aussi un rechargement de l'avant-plage.
 - La dépoldérisation, c'est-à-dire la réouverture du polder aux intrusions marines pour rétablir l'écosystème originale, sous l'influence d'eau douce et salée pour reformer une zone humide.

- La pose de structures en géocomposite perméables remplis de sable jouant le rôle d'épis ou de brise lames selon l'emplacement pour limiter l'érosion côtière.
- Le drainage des plages qui consiste à abaisser le toit de la nappe phréatique favorisant ainsi le dépôt des sédiments apportés par la mer.
- Le by-pass sédimentaire est recommandée particulièrement pour la partie de la plage Flot Bleu entre le premier brise lame et le banc de rochers émergeant. Ce système permet au transit sédimentaire de franchir artificiellement l'obstacle (brise lames) qui s'oppose à lui.

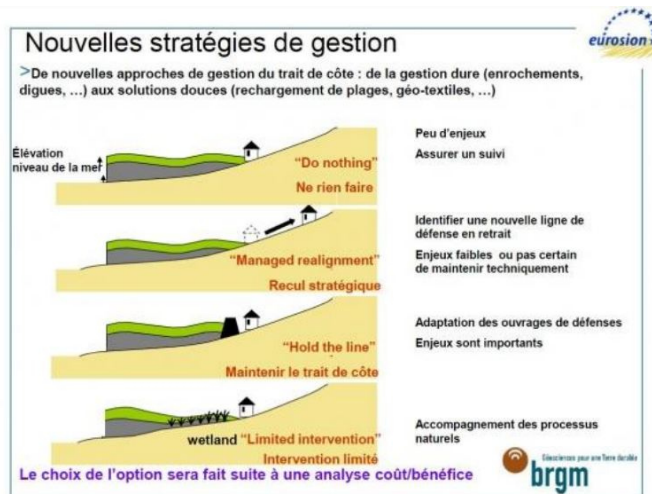


Figure 7.10: Type de solutions d'aménagement selon l'occupation côtière (ULCO, 2021).

Conclusion générale :

Cette étude qui avait pour but d'évaluer l'impact des ouvrages de protection de la commune d'Ain Taya sur la dynamique côtière de la zone d'étude, la qualité de ces eaux de baignade et une analyse de l'occupation anthropique de la bande littorale.

L'analyse diachronique de la cinématique du trait côte a démontré que le littoral a subi plusieurs modifications qui se résume en une dynamique de transgression/régression le long des décennies. Ces changements dynamiques ont fortement été influencés par l'implantation d'ouvrages de protection, changeant complètement le tracé de la plage Flot Bleu en interférant au niveau de son régime hydro-sédimentaire du rivage. Le bilan général de l'évolution du trait côte entre 1959 et 2022 a démontré à un taux de recul moyen de l'ordre de -0.06m/an assez minime malgré la présence d'épisodes d'érosion généralisée. Le bilan sédimentaire total est positif avec une accumulation de l'ordre de 9.66ha. Cette accrétion est principalement dû, au niveau de la plage Flot Bleu à la formation salient dû à l'obstacle qu'on générés les brises lames par rapport au courant de dérive continentale de direction nord-est. Ceci résume donc l'impact positif des brise lames en générant des tombolos au niveau de la plage Flot Bleu.

L'impact négatif de ces ouvrages touche à plusieurs points. Tout d'abord, ils ont intensifiés l'érosion au niveau de la partie Ouest de la plage, entre le banc de rochers émergeant et du premier brise lame. Cette portion de plage est vulnérable de par sa disposition qui fait face au courant dominant du nord-ouest, et aussi par le manque de matériel sédimentaire qui est en temps normal acheminé par le courant de la dérive littoral de direction nord est, mais qui est bloqué par les brises lames.

Ensuite, grâce au modèle de courantologie (HD) de la modélisation numérique par le logiciel Mike21, les résultats obtenus démontrent que la vitesse des courants, pour la direction des houles dominantes du nord ouest (N315°), au niveau des eaux abritées par les ouvrages longitudinaux, est en moyenne de l'ordre de 0.075m/s, ce qui dénote d'une circulation assez faible des eaux marines. Cette faible circulation engendre un plan d'eau calme à tendance de stagnation ce qui va aggraver la qualité des eaux de baignade, si jamais un foyer de pollution est détecté à ce niveau, et il l'a été.

L'analyse des paramètres bactériologiques, physico-chimiques et phyto-planctoniques des eaux de baignade de la plage Flot Bleu, au niveau de trois points de prélèvements avec une multiplicité des campagnes de prélèvements entre 2021 et 2022, a démontré une contamination fécale dont la cause est la sur-fréquentation des côtes en saison estivale et le rejet direct des eaux usées de la localité au niveau de notre zone d'étude.

Une analyse de la littoralisation, sur le point de l'impact combiné climatique et anthropique, a démontré une sur-occupation de l'espace littoral, avec la réalisation d'ouvrages de protection de type cordons d'enrochements dans le seul but est de protéger les habitations qui ont presque pied dans l'eau, ce qui résulte par une sur-artificialisation de la côte avec un risque de perte définitive de plage sableuses par l'occupation de l'estran. Cette proximité au rivage est extrêmement dangereuse, du point de vue climatique de par l'élévation du niveau de la mer avec un risque de submersion très élevé dont l'impact serait la destruction de ces habitations et une inondation des terres avec intrusion saline.

Pour parer à ces impacts négatifs, il faudrait réaliser un processus GIZC à l'échelle locale, qui étudierait plus en détail l'influence de chaque impact sur l'autre, identifierait les acteurs en jeu et leurs degrés de responsabilités, les actions à entreprendre par la voie de la prise de décision effective des autorités en place et son application proactive dans une optique de développement durable du domaine littoral. Un exemple d'action sur terrain est l'application de la loi littorale 02-02, la protection des écosystèmes littoraux comme les dunes et une gestion urgente des eaux usées qui ne ressort plus que du domaine de la pollution environnementale, mais aussi de la santé publique.

Un suivi multifactorielle de l'évolution côtière en générant une base de données SIG, continuellement mise à jour dans le temps et étayée par des enquêtes in-situ, permettrait l'élaboration de scénarios prévisionnels à plus courte durée, donnant une marge de manœuvre sur le plan de la gestion littoral.

Références Bibliographiques :

Afssa-Afsset. (2006). Rapport sur l'évaluation des risques liés à la présence de cyanobactéries et de leurs toxines dans les eaux destinées à l'alimentation, à la baignade et aux autres activités récréatives, éditions Afssa, 227p.

BENALLOU, Imen. (2020). Evaluation des impacts des changements climatiques et des activités anthropiques sur le littoral de la baie de Zemmouri : Vulnérabilité et adaptation. Mémoire de fin d'étude. Discipline : Gestion et Protection du Littoral. Alger : ENSSMAL.

Bengoufa S, Belkessa R, Otmani H (2016) Etude et évaluation de la vulnérabilité des systèmes côtiers dans la région Est d'Alger. Ecole Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du littoral (ENSSMAL), Alger, Algérie.

Bengoufa, Soumia. (2016). Etude et évaluation de l'état de vulnérabilité du système côtier de la zone Est-algéroise. Mémoire de fin d'étude. Discipline : Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL.

BIZZOZERO, Lucie. (2010). Les nouveaux risques biologiques des eaux de baignade sur le littoral méditerranéen : analyse prospective. Mémoire de fin d'études. Ingénieur du génie sanitaire. Ecole des hautes études en santé publique de France.

Bouakline S (2009) Variations historiques de la ligne de rivage et érosion cotière le long de la côte Est algeroise en cap Matifou et l'embouchure de l'oued Réghaia. Université de science et technologie Houari Boumedian (USTHB), Algérie

Bouhamadouche T (1993) Sédimentologie du plateau continentale Est algérois (Boumerdes-Boudouaou el Bahri) morphologie, minéralogie, mécanisme hydrosédimentaire, érosion et protection du littoral.

C. Gandouin, O. Raillard, H. Bourgeois, L. Vigier. Gestion active de la qualité des eaux de baignade. Novatech 2010 - 7ème Conférence internationale sur les techniques et stratégies durables pour la gestion des eaux urbaines par temps de pluie / 7th International Conference on sustainable techniques and strategies for urban water management, Jun 2010, Lyon, France. pp.1-8. fhal-03296312f.

Centre d'Etudes des Techniques Maritimes et Fluviales (CETMEF), (1998). Rapport d'activité. Document non publié. Paris : Ministère de l'Equipement, des transports et du logement.

DRAË-ACHOUR Dalila, KEROUAZ Nacera, BOUTIOUTA Naïma (2004). Estimation de la qualité des eaux de baignade de deux plages situées à l'Est de la ville de Jijel. Mémoire de fin d'études. Microbiologie. Université de Jijel : Faculté des sciences.

Emmanuelle Lemery. Structure et physicochimie des tensioactifs, leurs impacts sur la toxicité cutanée et la fonction barrière. Dermatologie. Université Claude Bernard - Lyon I, 2015. Français. ffnnt : 2015LYO10044ff. fftel-02382545

Faye I (2010) Dynamique du trait de côte sur les littoraux sableux de la Mauritanie à la Guinée-Bissau (Afrique de l'Ouest) : Approches régionale et locale par photo interprétation, traitement d'images et analyse de cartes anciennes. 321 p. https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00472200/PDF/DYNAMIQUE-DU-TRAIT-DE-COTE-ENAFRIQUE-DE-L_OUEST-MAURITANIE-GUINEE-BISSAUVOLUME1.pdf

GIEC, Bilan. (2001). Des changements climatiques : Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au troisième rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat. Rapport du Groupe de travail I du GIEC. Document non publié. GIEC

HADDOUCHE, Chihab et BAOUZ, Yacine. (2019). Etude de protection de la plage de la Verte Rive (Bordj El Kiffan). Mémoire de fin d'études. Discipline : Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL.

Housseyn Otmani, Rabah Belkessa, Soumia Bengoufa, Walid Boukhediche, Nourredine Djerrai et Katia Abbad, Assessment of shoreline dynamics on the Eastern Coast of Algiers (Algeria): a spatiotemporal analysis using in situ measurements and geospatial tools, *Arabian Journal of Geosciences* [En ligne], (2020) 13:124, mis en ligne le 07 janvier 2020. URL: <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5069-6>.

Iwan Le Berre. L'artificialisation des littoraux : déterminants et impacts. Béchet B.; Le Bissonais Y.; Ruas A. *Sols Artificialisés et Processus d'artificialisation Des Sols : Déterminants, Impacts et Leviers d'action*, Expertise Scientifique Collective (ESCo). IFSTTAR, INRA, pp.234-254, 2017. fhal01764526

LARBi, Narimene. (2017). Etude de protection et d'aménagement de la zone de Verte Rive-Bordj EL Kiffan, Recours à la modélisation physique et numérique (MIKE21, LITPACK). Mémoire de fin d'études. Discipline : Aménagement du littoral. Alger : ENSSMAL.

Mamadou Thior, Amadou Abou Sy, Idrissa Cisse, El Hadji Balla Dieye, Tidiane Sane, Boubacar Demba Ba, Boubacar Solly et Luc Descroix, « Approche cartographique de l'évolution du trait de côte dans l'estuaire de la Casamance », *Mappemonde* [En ligne], 131 | 2021, mis en ligne le 08 juillet 2021, consulté le 14 juillet 2021. URL : <http://journals.openedition.org/mappemonde/5939> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/mappemonde.5939>

PASKOFF, Roland et CLUS-AUBY, Christine. (2007). L'érosion des plages, les causes et les remèdes. Paris-Monaco : Institut océanographique. Chapitre 4, Les remèdes à l'érosion des plages, p81.

PASKOFF, Roland. (1998). Conséquences possibles sur les milieux littoraux de l'élévation du niveau de la mer prévue pour les prochaines décennies. *Annales de Géographie*, JSTOR, 233– 248 p.

PASKOFF, Roland. (1998). Les littoraux impact des aménagements sur leurs évolution. 3^{ème} édition. Paris : Armand Colin. Chapitre 3, Les plages, p63.

PETIT, Fabienne. (2020). Rapport sur la qualité des eaux de baignade de l'Eure. Rapport Agence régionale de santé Normandie.

Renard, J., 1984. Le tourisme : agent conflictuel de l'utilisation de l'espace littoral en France. *Noroi*, 121 (1): 45-61. <http://dx.doi.org/10.3406/noroi.1984.7362>

Rochette Julien, Magnan Alexandre, Raphael Billé. Gestion intégrée des zones côtières et adaptation au changement climatique en Méditerranée. In : *Le développement durable dans l'espace méditerranéen : enjeux et propositions*, L'Harmattan, pp99-120.

SALOMON, J. (2008). Géomorphologie sous-marine et littorale. Livre.Paris.(France).orchedy.

SOGREAH, (1983). Avant projet sommaire, note technique N°7 sur la protection du littoral de la wilaya d'El Djazair. Document non publié. Grenoble. Chapitre 7. Site d'Ain Chorb (Surcouf), pp 45-49.

SOGREAH, (1983). Expertise sédimentologique, note technique N°5 sur la protection du rivage de la wilaya d'El Djazair. Document non publié. Grenoble.

SOGREAH, (1983). Reconnaissances géotechniques, note technique N°9 sur la protection du rivage de la wilaya d'El Djazair. Document non publié. Grenoble.

SOGREAH, (1984). Rapport final des études sur la protection du littoral de la wilaya d'El Djazair. Document non publié. Grenoble. Chapitre 9. Site d'Ain Chorb (Surcouf), pp 165-187.

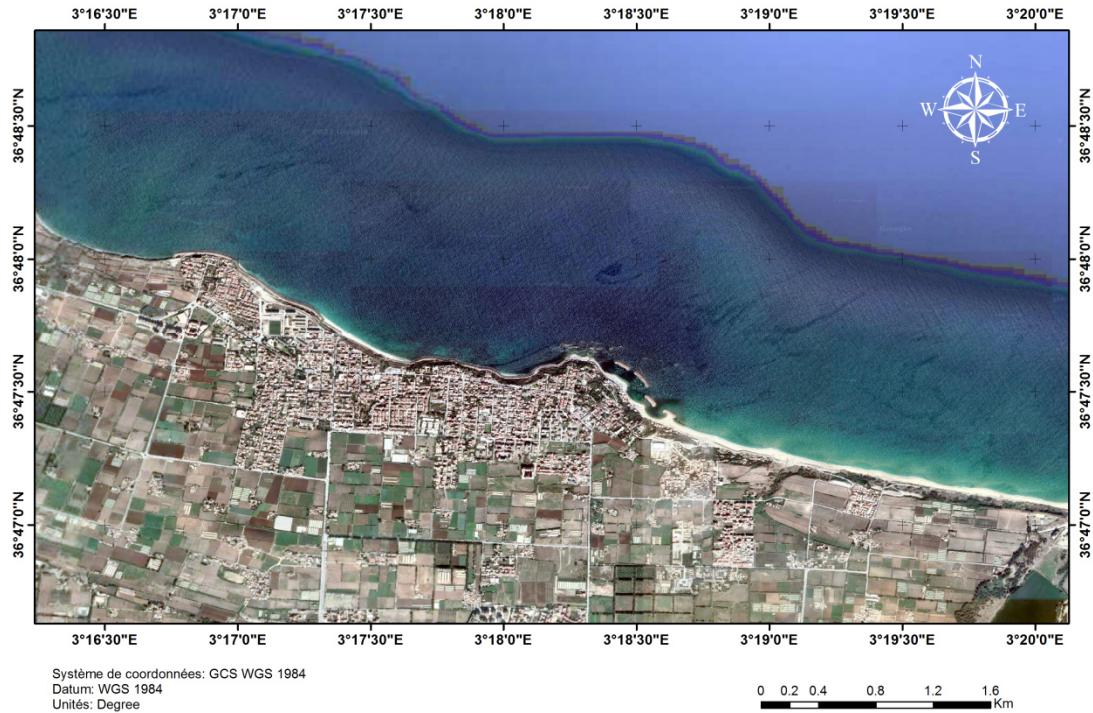
SOGREAH, (2012). Rapport récapitulatifs des résultats du relevé topographique lié à l'étude pour les travaux de consolidation et d'aménagement de la falaise d'Ain Taya, plage de Surcouf-Wilaya d'Alger. Document non publié. Alger : ARTELIA.

SOGREAH, (2013). Rapport R5.2 : Etude d'aménagement lié à l'étude pour les travaux de consolidation et d'aménagement de la falaise d'Ain Taya, plage de Surcouf-Wilaya d'Alger. Document non publié. Alger : ARTELIA.

SOGREAH, (2013). Rapport sur le suivi et l'évaluation des résultats des campagnes de reconnaissance sédimentologique, géologique et géotechnique, hydrogéologie lié à l'étude pour les travaux de consolidation et d'aménagement de la falaise d'Ain Taya, plage de Surcouf-Wilaya d'Alger. Document non publié. Alger : ARTELIA.

Annexe :

Annexe I : Image satellitaire géoréférencée téléchargée du logiciel SAS Planet.



Annexe II : Données d'entrée pour la réalisation des transect via DSAS et résultats statistiques

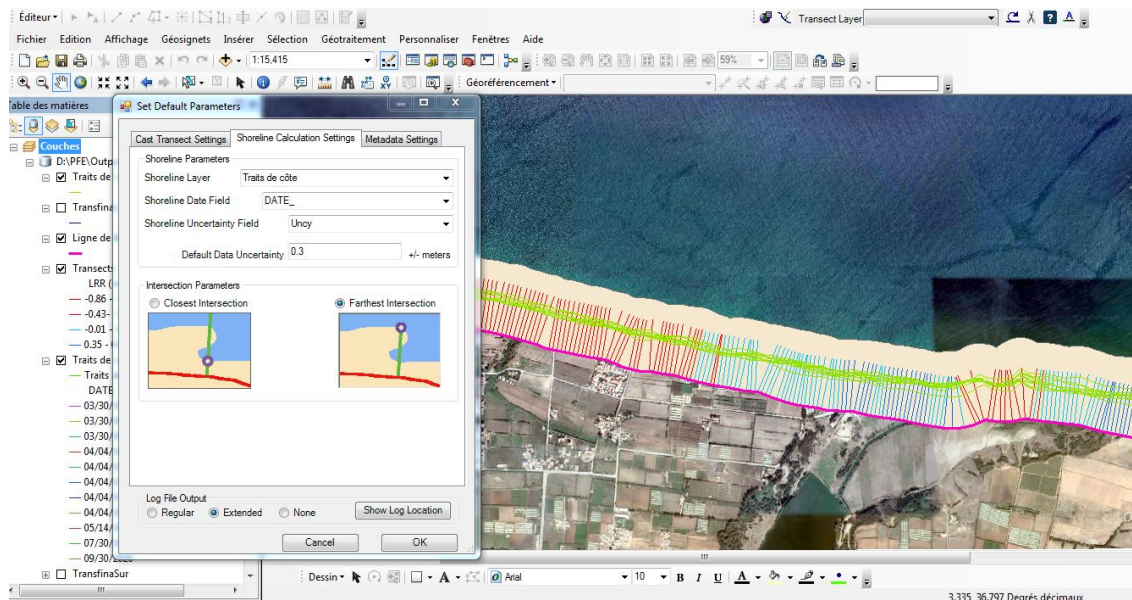


Figure 1 : Exemple sur la fenêtre de l'extension DSAS dans ArcGIS version 10.3, lors du renseignement des paramètres pour la réalisation des transects.

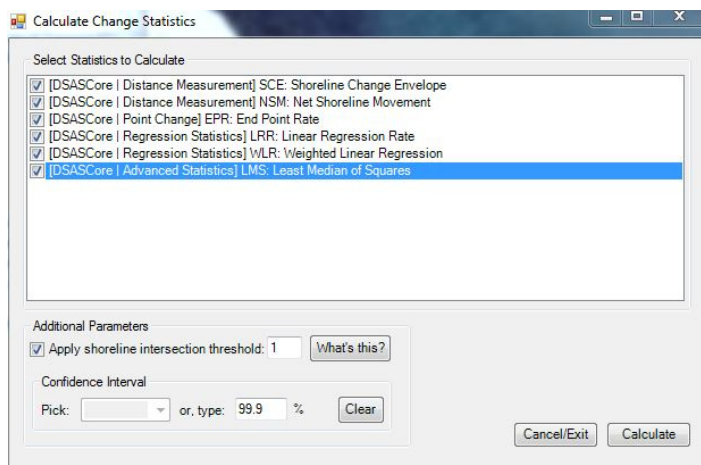


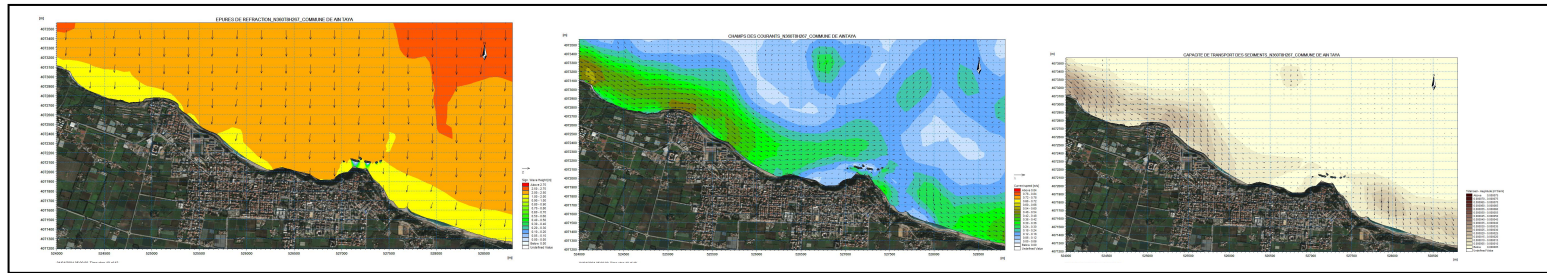
Figure 2 : Exemple de la fenêtre de lancement du calcul des paramètres statistiques (SCE, NSM,...) pour chaque transect.

TransectId	EPR	SCE	NSM	LMS	LRR	LR2	LSE	LCI99_9
11	-0.52	45.15	-32.6	-0.33	-0.48	0.6	8.84	0.619
12	-0.52	41.11	-32.81	-1.07	-0.53	0.75	6.94	0.486
13	-0.5	39.08	-31.24	-0.51	-0.54	0.77	6.69	0.468
14	-0.42	37.27	-26.7	-0.45	-0.49	0.73	6.78	0.474
15	-0.28	37.99	-17.78	-0.37	-0.38	0.55	7.76	0.543
16	-0.15	36.7	-9.77	-0.27	-0.26	0.31	8.8	0.616
17	-0.08	39.94	-5.18	-0.14	-0.15	0.08	11.35	0.794
18	-0.01	27.47	-0.86	0.07	0.06	0.02	9.13	0.639
19	-0.62	42.11	-39.05	-0.62	-0.63	0.7	9.4	0.658
20	-0.74	53.29	-46.69	-0.76	-0.77	0.67	12.24	0.856
21	-0.76	54.86	-47.96	-0.81	-0.81	0.68	12.74	0.891
22	-0.7	47.3	-44.17	-0.72	-0.75	0.72	10.51	0.735
23	-0.74	53.39	-46.95	-0.78	-0.79	0.68	12.25	0.857
24	-0.72	53.45	-45.36	-0.78	-0.76	0.66	12.47	0.873
25	-0.39	34.26	-24.33	-0.38	-0.35	0.41	9.47	0.663
26	0.24	49.62	15.1	0.28	0.31	0.14	17.66	1.236
27	-0.03	41.44	-1.69	-0.46	-0.37	0.27	13.72	0.96
28	-0.2	47.7	-12.88	-0.72	-0.56	0.46	13.6	0.951
29	-0.28	51.11	-17.68	-0.9	-0.65	0.53	13.77	0.964
30	-0.3	53.55	-19.06	-0.73	-0.68	0.55	14.05	0.983
31	-0.35	60.24	-22.38	-0.93	-0.74	0.56	14.88	1.041
32	-0.39	58.73	-24.38	-0.93	-0.74	0.59	14.2	0.994
33	-0.39	59.13	-24.59	-0.96	-0.74	0.6	13.76	0.963
34	-0.41	59.96	-25.98	-0.94	-0.75	0.61	13.59	0.951

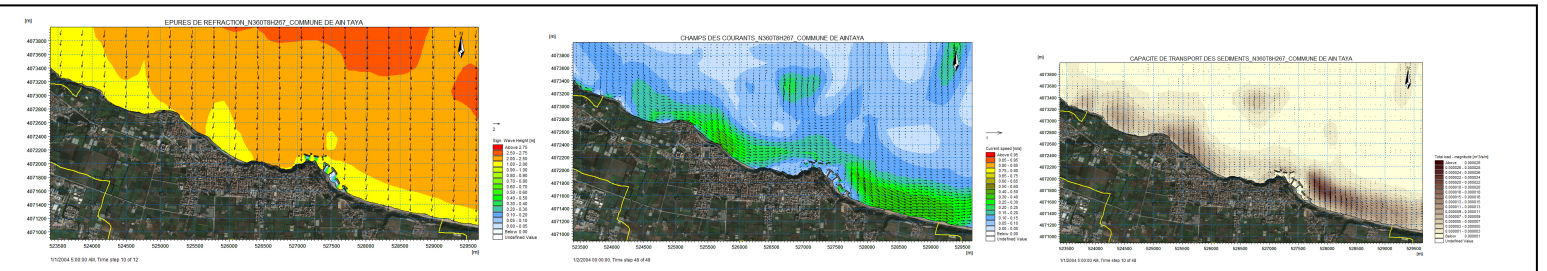
Tableau 1 : Exemple des résultats statistiques obtenus après le calcul lancé par le DSAS pour chaque transect.

Annexe III : Résultats de la simulation par Mike21.

1- Cartes de réfraction de houles de direction N360° :

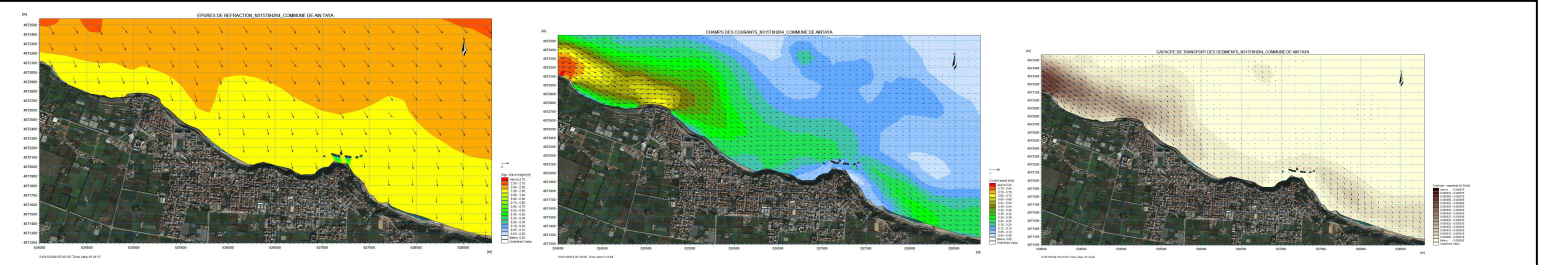


Cartes de réfraction de la houle à l'état initial sans brise lames pour les trois modèles SW, HD et ST.

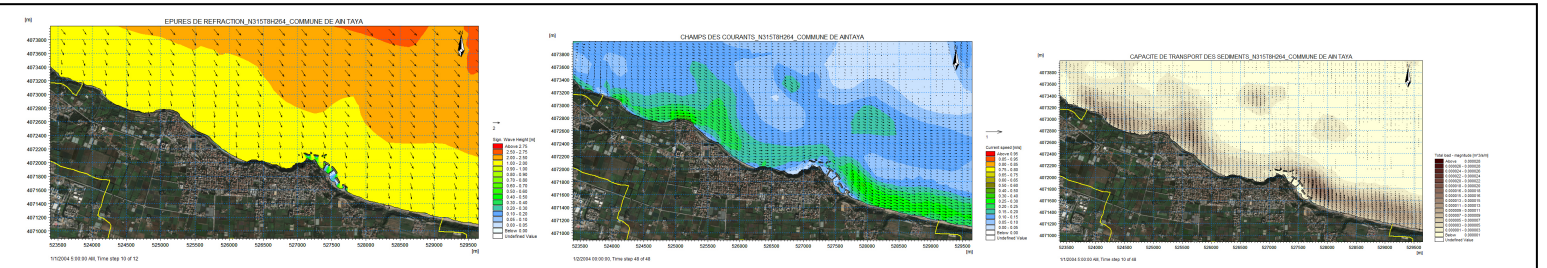


Cartes de réfraction de la houle à l'état actuel avec présence de brise lames pour les trois modèles SW, HD et ST.

2- Cartes de réfraction de la houle de direction N315° :

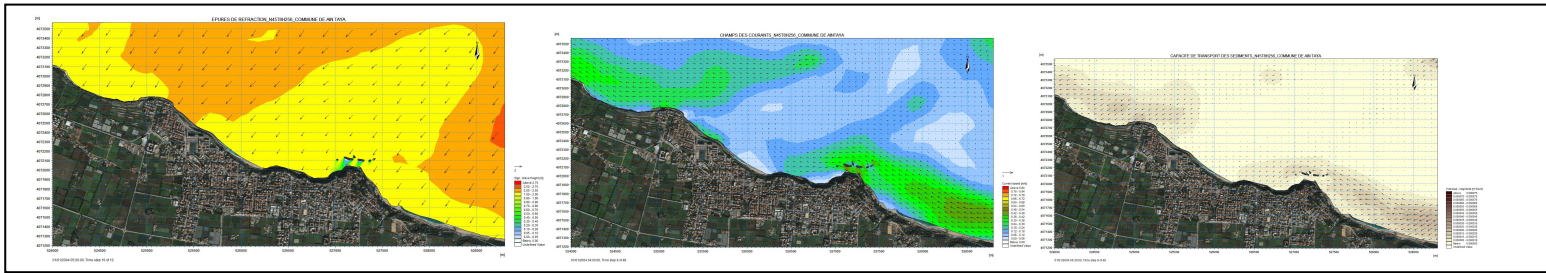


Cartes de réfraction de la houle à l'état initial sans brise lames pour les trois modèles SW, HD et ST.

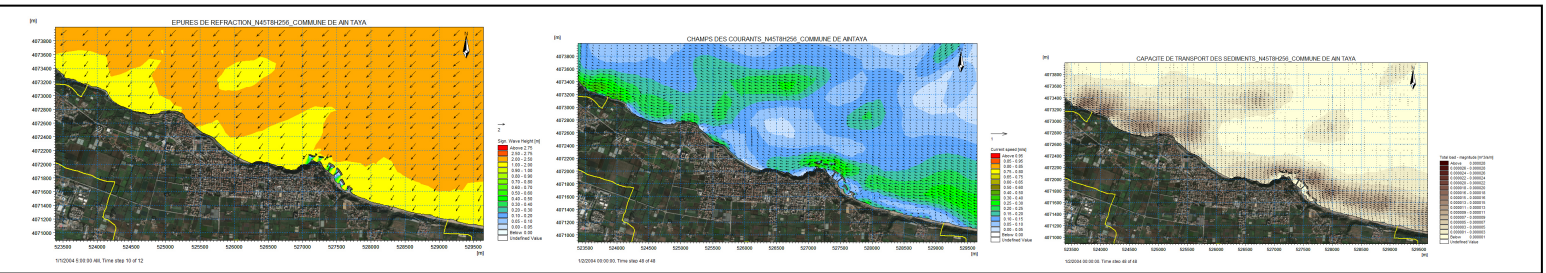


Cartes de réfraction de la houle à l'état actuel avec présence de brise lames pour les trois modèles SW, HD et ST.

3-Cartes de réfraction de la houle de direction N45° :



Cartes de réfraction de la houle à l'état initial sans brise lames pour les trois modèles SW, HD et ST.



Cartes de réfraction de la houle à l'état actuel avec présence de brise lames pour les trois modèles SW, HD et ST.

X	Y	Z
526808.66	4072219.49	-15.1
526807.18	4072224.28	-15.36
526805.37	4072229.74	-15.55
526803.78	4072234.59	-15.68
526802.28	4072239.5	-15.9
526800.89	4072244.4	-15.95
526799.8	4072249.36	-16.22
526798.47	4072254.22	-16.32
526796.95	4072259.09	-16.59
526795.16	4072263.87	-16.8
526793.44	4072268.6	-17.1
526791.07	4072277.03	-17.38
526789.77	4072281.88	-17.7
526833.36	4072132.32	-9.49
526831.5	4072137.09	-9.74
526829.93	4072141.88	-10.23
526828.46	4072146.74	-10.73
526827.15	4072151.64	-10.81
526826.02	4072156.59	-11.2
526823.81	4072164.77	-11.24
526822.85	4072169.8	-12.06
526821.25	4072174.7	-12.5
526819.76	4072179.61	-12.88
526818.14	4072184.52	-13

Tableau 2 : Exemple de points bathymétriques sous format XYZ utilisés comme données d'entrée dans la simulation par le modèle DHI Mike21.

Résumé :

Toute implantation d'un ouvrage de protection au niveau du rivage, génère des effets positifs et négatifs sur le milieu côtier sur une échelle spatio-temporelle vaste. Pour comprendre le niveau d'influence des brise lames implantés dans la commune d'Ain Taya, sur le régime hydro-sédimentaire du milieu côtier et la qualité des eaux de baignade avant et après la réalisation de ces ouvrages, nous avons effectué une étude d'impact qui englobe les inter-actions entre les impacts directs des brise lames et indirectes du milieu littoral de la zone d'étude. Les résultats obtenus présentent une protection du rivage avec génération de tombolos et diminution de la vitesse des courant dans la zone d'abri, mais la génération de même d'une zone confinée sujette à la pollution de ces eaux de par l'afflux anthropique sur la côte.

Mots clés : Brise lames, régime hydro-sédimentaire, qualité des eaux de baignade, étude d'impact, littoral.

Summary :

Any installation of a protective structure at shore level generates positive and negative effects on the coastal environment on a vast spatial-temporal scale. To understand the level of influence of the breakwaters implanted in the commune of Ain Taya, on the hydro-sedimentary regime of the coastal environment and the quality of bathing water before and after the realization of these structures, we carried out a study of impact which encompasses the interactions between the direct and indirect impacts of the breakwaters on the littoral environment of the study area. The results obtained present a protection of the shore with generation of tombolos and reduction of the speed of the current in the shelter zone, but the generation at the same time of a confined zone subject to the pollution of these waters by the anthropic influx on the side.

Key words: Breakwaters, hydro-sedimentary regime, quality of bathing water, study of impact, littoral.

ملخص

إن أي تركيب لهيكل وقائي على مستوى الشاطئ يولد تأثيرات إيجابية وسلبية على البيئة الساحلية على نطاق مكاني وزماني واسع. لفهم مستوى تأثير حواجز الأمواج الواقعة في بلدة عين طاي على النظام المائي الرسوبي للبيئة الساحلية ونوعية مياه الاستحمام قبل وبعد إنجاز هذه الأعمال ، قمنا بإجراء دراسة عن تأثيرها. يشمل التفاعلات بين التأثيرات المباشرة وغير المباشرة لحواجز الأمواج في البيئة الساحلية لمنطقة الدراسة. النتائج التي تم الحصول عليها توفر حماية للشاطئ مع توليد تومبولوس وانخفاض في سرعة التيارات في منطقة المأوى ، ولكن توليد حتى منطقة محصورة عرضة لتلوث هذه المياه من خلال التدفق البشري على الساحل

كلمات مفتاحية: لحواجز الأمواج النظام المائي الرسوبي نوعية مياه الاستحمام
دراسة عن تأثير البيئة الساحلية