



Ville de Sainte-Maxime

# Commune de Ste Maxime








Boulevard des Mimosas  
83120 SAINTE MAXIME

## Note de calcul : stabilité de la plage du Saint-Hilaire

Mars 2018



### DIAGNOSTIC DU LITTORAL DE SAINTE MAXIME PUIS ETUDE ET PRODUCTION D'UN PROJET D'AMENAGEMENT DU LITTORAL

Maîtrise d'œuvre			
Mandataire	Cotraitant		Cotraitant
<b>Bureau d'études ICTP</b> 90 avenue Notre Dame 06700 ST-LAURENT DU VAR 	Lotissement Attaoufik Zénith II. Sidi Maarouf 20001 CASABLANCA - Maroc 	<b>SARL Allain CHAUVET</b> 4 rue Joseph Quaranta 83990 ST-TROPEZ 	
Sous-traitants			
<b>SCUBA Marine</b> 	<b>SEMANTIC</b> 	<b>Rémy MATTIOLI</b> Architecte DPLG 	<b>SDP Conseils</b> 
<b>N° 16/02 – NDC Stabilité St Hilaire – Indice C</b>			

## SOMMAIRE

1. Préambule.....	3
1.1. Plage du Saint Hilaire.....	3
1.2. Objectif de l'étude .....	4
2. Rappel des conditions hydrodynamiques .....	4
2.1. Climatologie de houle.....	4
2.2. Niveaux d'eau .....	6
3. methodologie : modelisation de l'évolution du profil de plage .....	6
3.1. Description du modèle XBEACH .....	6
3.2. Application au secteur du Saint-Hilaire .....	6
3.3. Post-traitement/ Profil de sortie .....	7
3.4. Application à la plage du Saint Hilaire : données d'entrée et hypothèses de calcul .	8
4. Résultats des modélisations.....	9
5. Synthèse et recommandations .....	12
6. Références bibliographiques .....	12

## TABLES DES FIGURES ET TABLEAUX

### Figures

Figure 1 : Localisation de la plage du Saint Hilaire Saint Hilaire à l'est du port de sainte Maxime .....	3
Figure 2 : Houle décennale de secteur Est [090°N ; Hs large : 2,7m ; Tp : 7,2s ; niveau d'eau : +0,6m IGN69]- ICTP, 2017 .....	5
Figure 3 : Plan de localisation du profil étudié en modèle numérique 1D .....	7
Figure 4 : Profil de plage extrait sur le secteur Saint Hilaire pour la réalisation des modélisations 1D ..	7
Figure 5 : Exemple de simulation XBeach 1D pour une tempête annuelle (ICTP, 2017) .....	8
Figure 6 : Profils types de simulation de tempête – Hs/t.....	9
Figure 7 : Evolution du profil de plage post-tempête T1an sur le secteur Saint Hilaire .....	11
Figure 8 : Evolution du profil de plage post-tempête T10ans sur le secteur Saint Hilaire .....	11

### Tableaux

Tableau 1: Résultats du modèle d'approche sur le secteur du Centre-Ville (ICTP, 2017) .....	5
Tableau 2 : Niveaux d'eau extrêmes (CETMEF, 2013) .....	6
Tableau 3 : Conditions de houle au large et niveaux d'eau retenus pour les simulations .....	8
Tableau 4: Influence des tempêtes sur la largeur de plage (0m et 1,5 m NGF) érodée et les changements volumiques en post-tempête.....	10

### Photographies

Photographie 1 : Plage du Saint Hilaire (ICTP – 2016).....	3
Photographie 2 : Tempête d'Est du 02/12/2017 (FB 2017).....	5

## 1. PREAMBULE

### 1.1. Plage du Saint Hilaire

A l'est du port de Sainte Maxime, au-delà de l'épi du Saint Hilaire et devant le bâtiment du même nom, se localise la plage dite du Saint Hilaire.

Accessible uniquement par un escalier depuis la route départementale, cette plage de sable et de graviers de 50m de long et de 7m de large et présentant une faible pente, est entourée de zones rocheuses.



Figure 1 : Localisation de la plage du Saint Hilaire Saint Hilaire à l'est du port de sainte Maxime



Photographie 1 : Plage du Saint Hilaire (ICTP – 2016)

Le bâtiment du Saint Hilaire est voué à être démoli.  
Afin de connaître l'évolution de la plage à la suite des travaux de démolition (avec maintien de l'épi du Saint Hilaire), une étude hydro-sédimentaire a été menée.

Les résultats obtenus sont présentés ci-après.

## 1.2. Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude est de :

- Déterminer l'évolution du profil de plage en fonction des tempêtes et notamment les volumes érodés et l'évolution du trait de côte (contour 0m NGF) pour la situation aménagée (modélisation 1D hydro-sédimentaire) ;

La présente note se décompose comme suit : un rappel des conditions hydrodynamiques (chapitre 2), une partie méthodologie avec présentation des données d'entrée (chapitre 3) suivi d'une partie résultats (chapitre 4). Enfin, une synthèse et des recommandations sont présentées.

## 2. RAPPEL DES CONDITIONS HYDRODYNAMIQUES

### 2.1. Climatologie de houle

Les conditions de houle pour les secteurs directionnels du NNE au SSE ainsi que différentes périodes de retour ont été déterminées dans une phase antérieure du projet (ICTP, 2017), et sont reprises dans le Tableau 1. Le rapport AVP a notamment mis en avant :

- Le site est exposé aux houles de secteur Est et ESE (le plus pénalisant étant le secteur Est - 090°N) ;
- Les valeurs de houle à la côte varient entre 1,1m et 1,7m pour des conditions annuelles et décennales, respectivement.
- Le site est abrité des houles de NNE, ENE ainsi que SSE et S ;
- Influence de la bathymétrie locale sur les processus de réfraction et diffraction notamment l'effet des hauts fonds situés au droit du Saint Hilaire est clairement visible dans la figure ci-après.
- La houle d'Est atteint le site avec une incidence d'environ 120°N.

La propagation d'une houle annuelle d'Est, illustrée dans la Figure 2 montre clairement que la houle impacte le secteur du Saint-Hilaire (sortie Centre-Ville) avec un faible amortissement par rapport aux plages situées plus au Sud (p.ex. Préconil).

Incidence	Période de retour	$H_s$ , large [m]	$T_p$ , large [s]	$H_s$ , côte [m]	$T_p$ , côte [s]	$C_a$ [-]	$\Theta$ - Angle d'incidence [°N]	Z [IGN69]
Est (090°N)	1 an	2,7	7,2	2,1	7,2	0,7	124	-5,8m
	10 ans	4,4	8,7	3,2	8,7	0,7	126	-5,8m
	50 ans	5,9	10,1	3,6	10,1	0,6	127	-5,8m
	100 ans	6,6	10,8	4,0	10,8	0,6	128	-5,8m

Tableau 1: Résultats du modèle d'approche sur le secteur du Centre-Ville (ICTP, 2017)

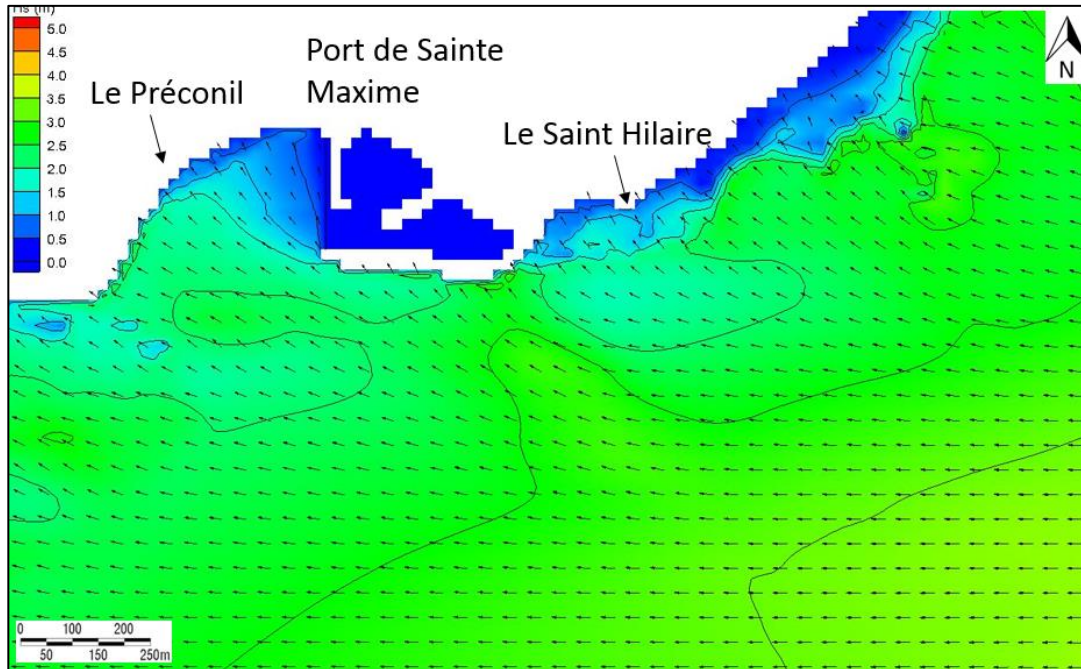
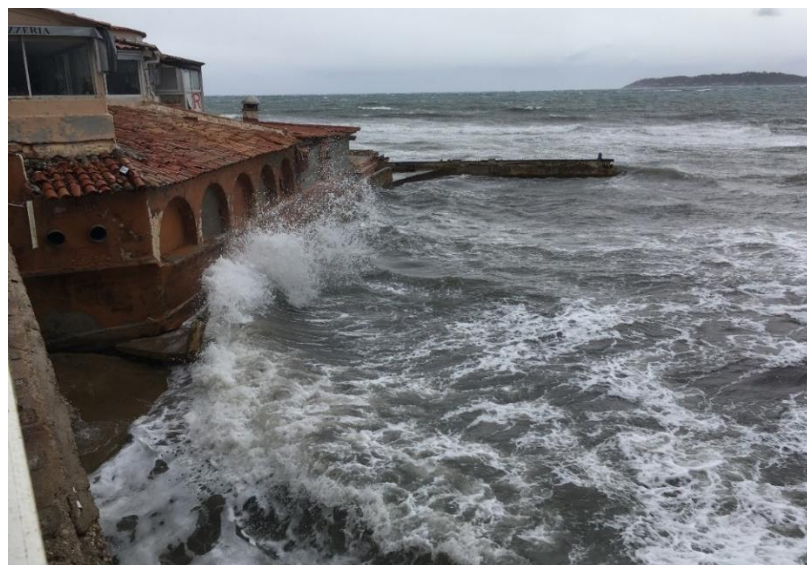


Figure 2 : Houle décennale de secteur Est [090°N ;  $H_s$  large : 2,7m ;  $T_p$  : 7,2s ; niveau d'eau : +0,6m IGN69]- ICTP, 2017



Photographie 2 : Tempête d'Est du 02/12/2017 (FB 2017)

## 2.2. Niveaux d'eau

Le dimensionnement de la hauteur de l'épi prendra en compte un niveau extrême correspondant à une période de retour trentennale, sachant que l'épi a une durée de vie de 30 ans.

<i>Période de retour</i>	<i>Niveau d'eau (m, IGN69)</i>
<i>1 an</i>	<i>0.6</i>
<i>10 ans</i>	<i>0.8</i>
<i>50 ans</i>	<i>1.0</i>
<i>100 ans</i>	<i>1.2</i>

Tableau 2 : Niveaux d'eau extrêmes (CETMEF, 2013)

## 3. METHODOLOGIE : MODELISATION DE L'EVOLUTION DU PROFIL DE PLAGE

### 3.1. Description du modèle XBEACH

Le modèle mis en œuvre est XBeach (Roelvink et al., 2009). Ce modèle a été conçu pour modéliser l'impact des événements climatiques extrêmes sur les dunes et les plages (1 ou 2 dimensions). Les résultats des modélisations permettent de déterminer les phénomènes de sédimentation et mouvements sédimentaires le long du profil et ainsi d'analyser la largeur de plage restante après un événement de tempête avec une période de retour donnée. Il est donc possible de vérifier le dimensionnement des rechargements de plage ainsi que l'impact d'un ouvrage sur la stabilité de la plage. Il s'agit de modélisations du transport sédimentaire transversal à la côte, qui n'intègrent pas le transport longitudinal (effet 2D).

XBeach a été validé avec de multiples études de cas, résultant en d'excellents paramètres par défaut augmentant la confiance que l'on peut accorder aux résultats (Reniers, 2004 ; Van Geer et al., 2015). Le modèle 1D a notamment été utilisé et calé dans le cadre d'études réalisées sur le secteur de Cannes et de Villeneuve Loubet (ICTP, 2017).

### 3.2. Application au secteur du Saint-Hilaire

Le principe des modélisations repose sur le choix d'un profil sur la plage du Saint Hilaire depuis la limite de haut de plage jusqu'à des profondeurs de -25m NGF (Figure 3 et Figure 4). Ce profil est extrait des données bathymétriques du SHOM (base de données Lito3D) et est raccordé à la plage projetée (hauteur +1.5 m NGF en haut de plage) à partir du terrain naturel.



Figure 3 : Plan de localisation du profil étudié en modèle numérique 1D

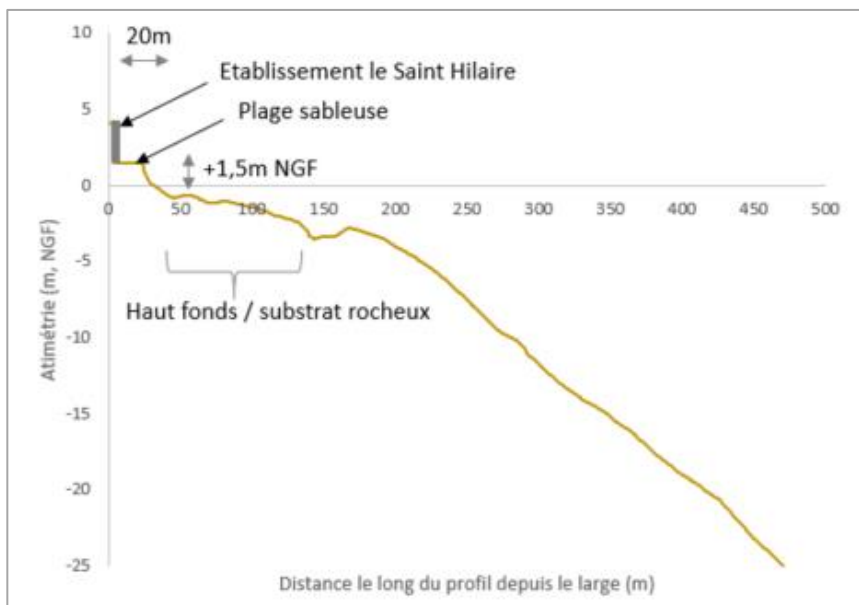


Figure 4 : Profil de plage extrait sur le secteur Saint Hilaire pour la réalisation des modélisations 1D (à l'état projet soit après démolition du bâtiment)

### 3.3. Post-traitement/ Profil de sortie

L'ensemble des résultats est représenté grâce à des scripts Matlab, développés spécialement en interne pour ce genre d'applications et permettant une visualisation en 1D de l'évolution du profil et des conditions hydrodynamiques (niveaux et hauteur de houle) à chaque pas de temps (Figure 5). Les résultats obtenus pour chaque test se traduisent en termes d'évolution du profil de plage et comprendront également les paramètres suivants :

- Volumes érodés/déposés sur la partie émergée de la plage (au-dessus du 0m NGF) ;
- Largeur de plage restante (niveaux 0m NGF et +1,5m NGF).

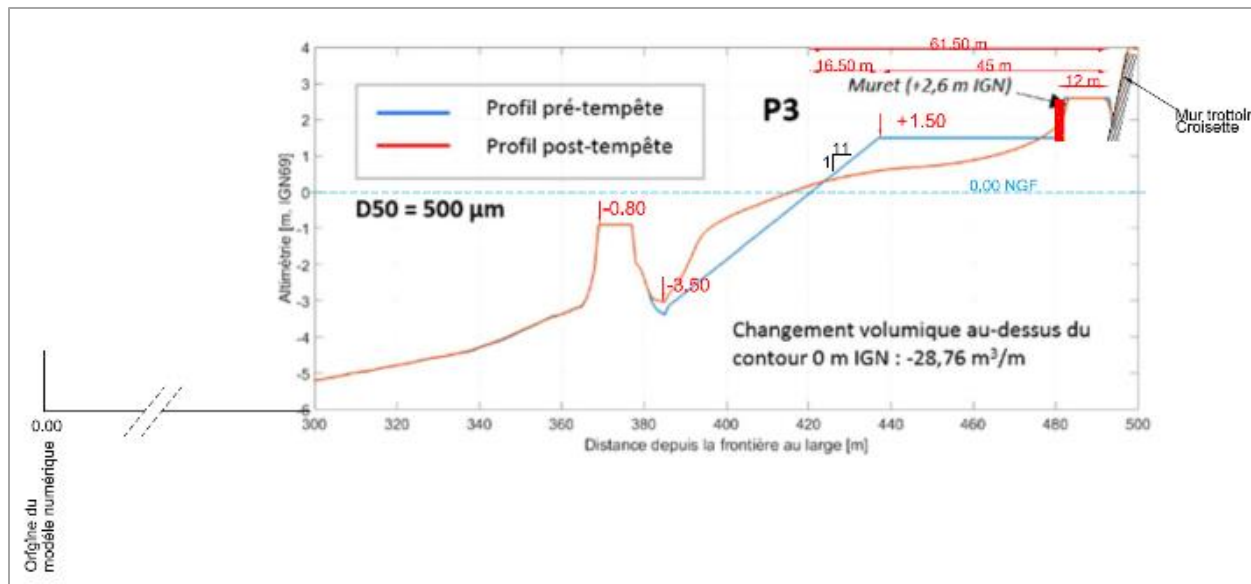


Figure 5 : Exemple de simulation XBeach 1D pour une tempête annuelle (ICTP, 2017)

### 3.4. Application à la plage du Saint Hilaire : données d'entrée et hypothèses de calcul

Le profil de la plage du Saint Hilaire est implémenté dans le modèle et sert de base aux simulations. Sous l'action d'un climat de houle normal à la plage, la pente du profil est remodelée par les forçages hydrodynamiques et un profil d'équilibre se met en place en fin de simulation. XBeach reproduit l'évolution du profil de plage sur une tempête.

Des tests préalables ont été effectués afin d'appréhender la sensibilité du modèle aux paramètres suivants :

- Profil (pente de plage) ;
- Granulométrie ( $D_{50} = 500\mu\text{m}$ ) ;
- Conditions hydrodynamique (niveaux d'eau et hauteurs/périodes de houle) ;
- Incidence de la houle ;
- Durée de tempête (de 12 à 48h avec un pas de temps de 1h ou de 3h).

Les données de houle appliquées à la frontière du modèle XBeach ont été extraites à une profondeur de  $-25\text{m NGF}$  (origine du profil de plage). Les données sont issues des études antérieures (ICTP, 2017) et sont reprises dans le Tableau 3.

Période de retour (ans)	1	10
Hs(m)	2,1	3,2
Tp (s)	7,2	8,7
Niveau d'eau	0,6	0,8

Tableau 3 : Conditions de houle au large et niveaux d'eau retenus pour les simulations



Le profil de tempête sélectionné est présenté à la Figure 6 pour les 2 périodes de retour de la houle. Le choix s'est porté sur une durée totale d'évènement de 24h incluant une augmentation progressive de l'agitation pour atteindre un maximum au bout de 12h puis une baisse progressive entre 15h et 20h. Les résultats des simulations traduisent donc l'état de la plage en termes de volume et de largeur de plage à la fin de l'évènement.

**Dans l'objectif de tester la stabilité de la plage en période hivernale, considérant que plusieurs tempêtes successives peuvent l'affecter sans rechargement préalable de celle-ci, des tests complémentaires ont été effectués dans ce sens sur une durée de 48h pour une période de retour annuelle.**

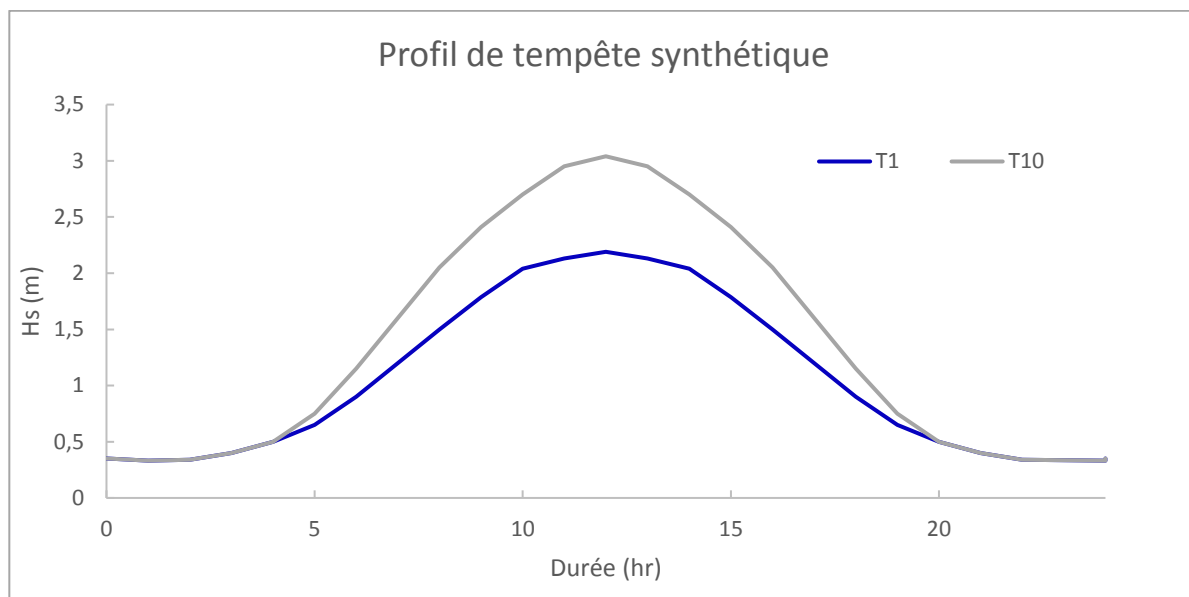


Figure 6 : Profils types de simulation de tempête – Hs/t

Les simulations sont réalisées avec les paramètres suivants qui correspondent aux résultats les plus conservatif :

- Granulométrie ( $D_{50} = 500\mu\text{m}$ ) ;
- Incidence normale ;
- Durée de tempête 24h (T1 et T10) et 48h (T1 coup sur coup).

#### **4. RESULTATS DES MODELISATIONS**

Les résultats des modélisations numériques 1D sont présentés dans les paragraphes ci-dessous, à travers des graphiques représentant l'évolution du trait de côte (contours 0m et +1,5m NGF) ainsi que des tableaux récapitulatifs résumant les changements volumiques et du trait de côte pour les différentes périodes de retour considérées (T1 ou T10).

Les calculs permettent de déterminer la stabilité de la plage en fonction des conditions hydrodynamiques rencontrées.

Le Tableau 4 montre l'influence des conditions hydrodynamiques en termes de largeur de plage et volumes érodés. Globalement, après une tempête dans le cas aménagé (plage sableuse au droit de l'établissement), les résultats traduisent des pertes volumiques comprises entre -9,7 et -15,9 m<sup>3</sup>/m pour les conditions correspondant à une tempête annuelle et décennale, respectivement. Ces pertes sédimentaires peuvent être considérées comme faibles à modérées en comparaison avec les résultats observés pour la plage de la Croisette pouvant atteindre -30m<sup>3</sup>/m pour une T10 (ICTP, 2018).

Concernant l'évolution du trait de côte (contour 0m NGF), les résultats montrent une avancée de +7m à +8m (période de retour T1 et T10, respectivement). Cette avancée s'explique par le rééquilibrage de la plage (abaissement de la crête initialement située à +1,5m NGF) à la suite du processus d'affouillement en haut de plage et au transport sédimentaire vers le large. En effet, la position du contour +1,5m NGF est caractérisée par un recul significatif de -11m (T1) et -19m (T10). Ce processus de translation du profil vers le large est illustré dans la Figure 7 et la Figure 8, représentant l'évolution du profil de plage pour une tempête T1 et T10.

Dans le cas d'une tempête T10, la vague d'érosion atteint pratiquement l'établissement du Saint Hilaire (après démolition) : la cote de la plage située à +1,5m NGF est abaissée sous le niveau +1m NGF bien que le trait de côte (contour 0m NGF) avance de +8m.

**Même dans le cas de conditions sévères (période de retour décennale), la plage est à priori stable sur ce secteur.**

Cas testé	Δ trait de côte (m)		Δ V (m <sup>3</sup> )
	0 m NGF	+1,5 m NGF	
T1 (24h)	+7,0	-11,0	-9,7
T1 (48h)	+7,0	-12,0	-12,1
T10	+8,0	-19,0	-15,9

Tableau 4 : Influence des tempêtes sur la largeur de plage (0m et 1,5 m NGF) érodée et les changements volumiques en post-tempête

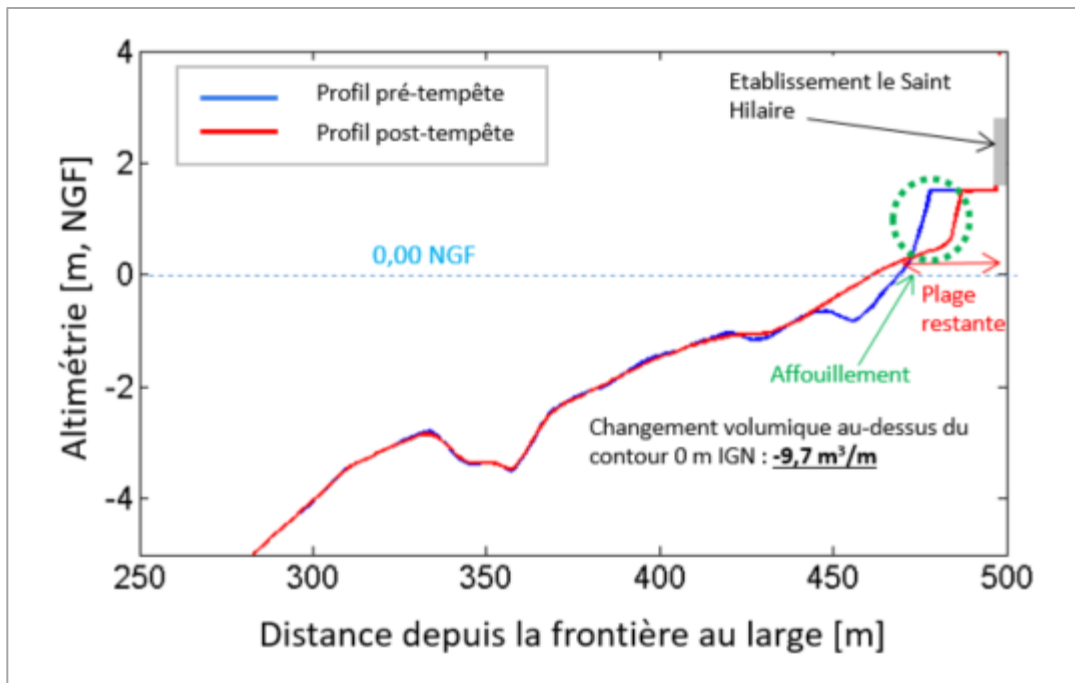


Figure 7 : Evolution du profil de plage post-tempête T1an sur le secteur Saint Hilaire

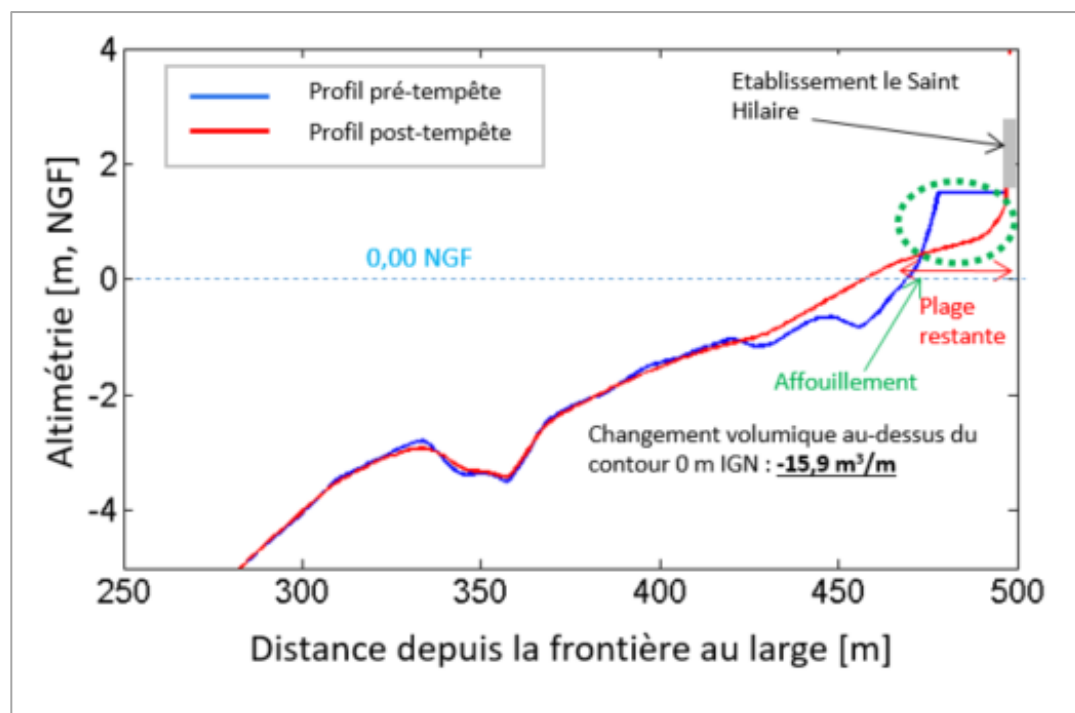


Figure 8 : Evolution du profil de plage post-tempête T10ans sur le secteur Saint Hilaire

## **5. SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS**

Les résultats des simulations d'évolution du profil de plage sur le site du Saint-Hilaire mettent en évidence :

- Des pertes volumiques comprises entre 9,7 et 15,9 m<sup>3</sup>/m (tempêtes caractérisées par une période de retour T1 et T10, respectivement) ;
- Une avancée du trait de côte entre +7 et +8m (T1 et T10, respectivement), à la suite du rééquilibrage/translation du profil de plage et l'abaissement de la crête de plage initialement située à +1,5m NGF ;
- La vague d'érosion pouvant atteindre l'établissement balnéaire pour des conditions T10 entraînant un abaissement de la crête de plage d'environ 0,5m ;
- La géomorphologie locale (haut fonds rocheux) limitant les pertes sédimentaires vers le large ;
- La stabilité de la plage jusqu'à une période de retour décennale (T10).

**La plage sableuse au droit du Saint Hilaire est globalement stable.**

Concernant les infrastructures du futur potentiel établissement, il est recommandé de vérifier les débits franchissant (étude de modélisation de la submersion) qui pourraient les atteindre et les impacter.

Le futur propriétaire devra prendre en compte les phénomènes de franchissement afin de déterminer les aménagements de protection temporaire anti-submersion et d'affiner les matériaux et structures pouvant être mis en place.

## **6. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

EA, ENW and KFKI (2007). Wave Overtopping of Sea Defences and Related structures: Assessment Manual.

ICTP, 2017. Diagnostic du littoral de Sainte Maxime puis étude et production d'un projet d'aménagement du littoral : Rapport d'Avant-Projet / Tous Secteurs – Indice A.

ICTP, 2018. Note de calcul : justification technique des ouvrages de la plage de la Croisette – Indice A.

Site web: <http://www.opentelemac.org>

U.S. Army Corps of Engineers – USACE (2002). Coastal Engineering Manual (CEM 6 volumes. EM 1110-2-1100. 2002.