

Détermination des surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie française

2- Implantation de la modélisation

Rapport final

BRGM/RP-55031-FR
novembre 2006



Géosciences pour une Terre durable

brgm

Détermination des surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie française

2- Implantation de la modélisation

Rapport final

BRGM/RP-55031-FR
novembre 2006

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM 2006 03RISH03

N. auteur : R. Pedreros

Vérificateur :

Nom : O. Sedan Miegemolle

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Approbateur :

Nom : JM. Mompellat

Date :

Signature :

(Ou Original signé par)

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2000.

Mots clés : Polynésie française, surcote, cyclone, houle, modélisation, SWAN, aléa, tests de sensibilité

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

Pederos R. (2006) : Détermination des surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie française : 2- Mise en place de la modélisation. BRGM/RP-55031-FR, 56 p., 34 fig., 2 tabl.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Ce rapport traite de l'implantation de la modélisation utilisée pour calculer les surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie française. C'est le deuxième des trois rapports consacrés à cette problématique. Cette action s'inscrit dans le projet de "cartographie de l'aléa cyclonique" du programme d'études et de prévention des risques naturels "ARAI".

1- La première partie du rapport montre que parmi les deux modèles susceptibles d'être utilisés, couplage REFDFIF-SHORECIRC ou SWAN, seul ce dernier est suffisamment robuste pour être appliqué en Polynésie française.

2- Afin d'estimer la consistance des résultats de SWAN, des tests de sensibilité ont été effectués en tenant en compte de la résolution spatiale du maillage, de l'étalement directionnel, du frottement au fond et de l'angle d'incidence de la houle. Dans le cadre d'une évaluation de l'aléa, nous avons pris parti de ne retenir que les paramètres capables d'augmenter la valeur de la surcote par rapport aux simulations de référence, c'est-à-dire la résolution spatiale et l'angle d'incidence de la houle. Aussi pour tenir compte de cette influence, il faudrait ajouter aux résultats des différentes simulations les valeurs suivantes :

- 0,05 m : à l'ensemble des sites dépourvus de lagon
- 0,13 m : aux sites caractérisés par la présence d'un lagon

3- Des corrections sont également nécessaires en cas d'application d'une modélisation suivant un profil. En fonction du type d'environnement étudié, les tests effectués indiquent les corrections suivantes :

Environnement	Correction en m à apporter à la surcote « profil »
Passe	0
Lagon	-0,71
Centre baie	-0,15
Zone convergence baie	-0,03
Secteurs homogènes	0

Sommaire

1. Introduction	9
2. Choix du modèle	11
3. Bathymétrie- Construction des MNT	15
3.1. DONNEES EN ENTREE	15
3.1.1. Sondes numériques	15
3.1.2. Cartes Marines.....	15
3.2. OUTILS	15
3.3. METHODOLOGIE	15
4. Configuration des simulations et tests de sensibilité	19
4.1. SENSIBILITE DE LA RESOLUTION SPATIALE.....	21
4.2. SENSIBILITE DE L'ETALEMENT DIRECTIONNEL (« DIRECTIONAL SPREADING »).....	24
4.3. FROTTEMENT AU FOND.....	27
4.4. SENSIBILITE DE L'ANGLE D'INCIDENCE DE LA HOULE	30
4.4.1. Site de Taapuna.....	30
4.4.2. Hanavave.....	33
4.5. SENSIBILITE DE LA HAUTEUR INITIALE DE LA HOULE	35
4.5.1. Taapuna.....	35
4.5.2. Hanavave.....	38
4.6. CONSEQUENCES POUR LA QUANTIFICATION DE L'ALEA DE SURCOTE	41
5. Comparaison modélisation zonale et suivant un profil.....	43
5.1. TESTS EN PRESENCE D'UN RECIF FRANGEANT - TAAPUNA.....	43
5.1.1. Profil au niveau de la passe	44
5.1.2. Profil au niveau de plateau récifal.....	46
5.2. TESTS AU NIVEAU D'UNE BAIE - HANAVAVE	49
5.2.1. Centre de la baie.....	50

5.2.2. Extrémité Nord de la baie (zone de convergence)	51
5.2.3. Secteur homogène	53
5.3. CONCLUSION.....	55
6. Conclusions.....	56

Liste des illustrations

Figure 1 :Hauteurs significatives de la houle calculées grâce à SWAN (A) et REFDIF(B). Baie de Hanavave.	11
Figure 2 : Calcul de surcote sur la baie de Hanavave avec SWAN.	12
Figure 3 : Calcul des hauteurs des vagues avec REFDIF (A) et des surcotes avec SWAN (B). Baie de Taiohae.	12
Figure 4 : Application du modèle REFDIF-SHORECIRC sur un cas simple : A, bathymétrie ; B, surcotes.	13
Figure 5 : Digitalisation des cartes marines sous SURFER. Les croix rouges correspondent aux sondes numériques.	16
Figure 6 : Définition du masque du domaine pour guider l'interpolation.	17
Figure 7 : Etablissement de la carte bathymétrique.	18
Figure 8 : Bathymétries des sites de Taapuna (A) et de Hanavave (B).....	20
Figure 9 : Influence de la résolution spatiale du maillage sur la hauteur de la houle et la surcote au niveau de Taapuna. Vue d'ensemble (échelles en m).	22
Figure 10 : Influence de la résolution spatiale du maillage sur la hauteur de la houle et la surcote au niveau de Taapuna. Ligne de rivage. Axe des X : distance en m depuis le point du rivage le plus au sud.	23
Figure 11 : Influence de l'étalement directionnel, site de Hanavave. Vue d'ensemble (échelles en m).	25
Figure 12 : Influence de l'étalement directionnel, site de Hanavave. Ligne de rivage. Hsig : hauteur significative ; Setup : surcote ; Ref : DSPR=5°; ED_18 : DSPR=18°; ED_30 : DSPR=30°	26
Figure 13 : Influence du frottement au fond, site de Taapuna. Vue d'ensemble.	28
Figure 14 : Influence du frottement au fond au niveau du rivage, site de Taapuna. Ref : Kn=0,05.	29
Figure 15 : : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Taapuna. Vue d'ensemble (échelles en m).....	31
Figure 16 : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Taapuna. Ligne de rivage. Ref=N170°; Dir=N200°	32
Figure 17 : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Hanavave. Vue d'ensemble.	33
Figure 18 : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Hanavave. Ligne de rivage. Ref=N270°; Dir=N315°	34

Figure 19 : Influence de la hauteur de la houle initiale, site de Taapuna. Vue d'ensemble (échelles en m).	36
Figure 20 : Influence de la hauteur initiale de la houle, site de Taapuna. Ligne de rivage. Ref : Hsig = 12 m ; H8 : Hsig=8 m ; H10 : Hsig=10 m.	37
Figure 21 : Influence de la hauteur de la houle initiale, site de Hanavave. Vue d'ensemble.	39
Figure 22 : Influence de la hauteur initiale de la houle, site de Hanavave. Ligne de rivage. Ref : Hsig=7 m ; H4 : Hsig=4 m ; H5 :Hsig=5 m.	40
Figure 23 : Positionnement des deux profils testés sur Taapuna.....	44
Figure 24 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au niveau de la passe de Taapuna.	45
Figure 25 : Comparaisons des surcotes calculées suivant les approches par profil et zonal au niveau de la passe de Taapuna.	46
Figure 26 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au niveau du plateau récifal de Taapuna.....	47
Figure 27 : Comparaisons des surcotes calculées suivant les approches par profil et zonal au niveau du plateau récifal de Taapuna.	48
Figure 28 : Positionnement des trois profils testés sur Hanavave.....	49
Figure 29 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au centre de la baie d'Omoa.	50
Figure 30 : Comparaisons des surcotes calculées suivant les approches par profil et zonal au centre de la baie de Hanavave.....	51
Figure 31 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal à l'extrémité nord de la baie de Hanavave.....	52
Figure 32 : Comparaisons des surcotes déterminées suivant des approches par profil et zonal à l'extrémité nord de la baie de Hanavave.	53
Figure 33 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au nord de Hanavave.....	54
Figure 34 : Comparaisons des surcotes déterminées suivant des approches par profil et zonal au nord de Hanavave	55

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif de l'influence des paramètres testés sur la surcote au rivage.....	41
Tableau 2 : Récapitulatif des corrections à apporter aux surcotes calculées à partir de l'approche profil.	55

1. Introduction

Ce rapport présente la mise en place de la modélisation utilisée pour calculer les surcotes engendrées par les houles cycloniques en Polynésie française. C'est le deuxième des trois rapports consacrés à cette problématique. Cela correspond à l'une des sept tâches du projet de "cartographie de l'aléa cyclonique" mené par le BRGM pour le compte de la Polynésie française dans le cadre du programme d'études et de prévention des risques naturels "ARAI".

La première partie du rapport est dédiée au choix du modèle qui sera utilisé dans cette étude. Ensuite, c'est la méthodologie employée pour la construction des différents MNT qui est décrite. En troisième partie il est question de la configuration du modèle retenu et des tests de sensibilité effectués. Pour terminer, nous effectuons une comparaison entre des simulations zonales et sur un profil pour des configurations types (baie, récif et au voisinage des passes).

2. Choix du modèle

Le premier rapport consacré à la méthodologie faisait état de deux modèles susceptibles, d'un point de vue théorique, d'être utilisés dans cette étude :

- SWAN : calcul des caractéristiques des houles et de la surcote
- et le couplage REFDIR-SHORECIRC : REFDIR calculant les caractéristiques de la houle et SHORECIRC calculant la surcote

Ce paragraphe présente les différents tests effectués sur ces modèles afin de déterminer le plus adapté des deux à la complexité et à la diversité des côtes polynésiennes.

Ci-après (Figure 1), une application des deux modèles sur la baie de Hanavave (Fatu Hiva) : les vagues arrivant de l'ouest et ayant une hauteur significative (H_s) de 7m et une période de 13s.

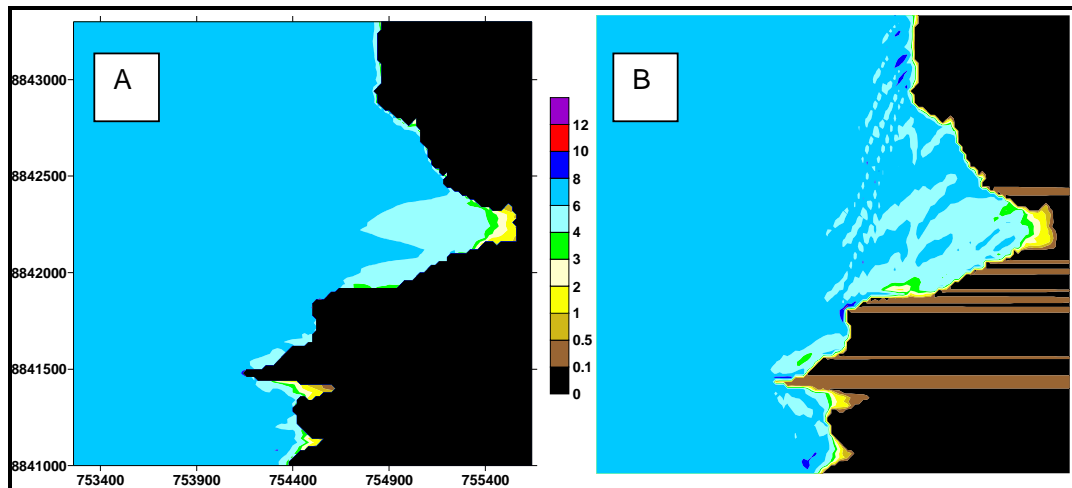


Figure 1 :Hauteurs significatives de la houle calculées grâce à SWAN (A) et REFDIR(B). Baie de Hanavave.

Bien que des différences soient visibles au large de la baie, les deux simulations des H_s présentent les mêmes tendances et des valeurs comparables à proximité du rivage.

Il existe toutefois une différence de taille entre ces deux modèles et cela concerne la détection des zones émergées. REFDIR révèle d'importantes anomalies correspondant aux bandes marron de la Figure 1B. Or ces valeurs aberrantes sont ensuite transmises à SHORECIRC qui ne peut, dans ces conditions, aboutir au calcul des surcotes (explosion numérique des résultats!). Quant à SWAN, il se comporte de façon optimale en écartant ces secteurs des calculs (zone en noir, Figure 1A). Ainsi, il peut finaliser la simulation et fournir une carte des surcotes (Figure 2).

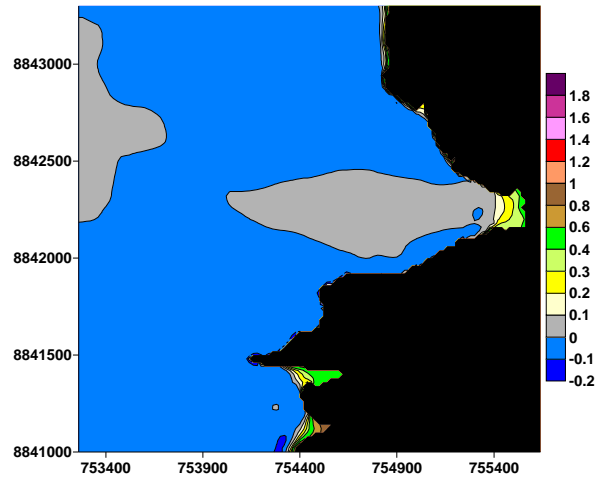


Figure 2 : Calcul de surcote sur la baie de Hanavave avec SWAN.

Ce dysfonctionnement de REFDIF est également rencontré sur la baie de Taiohae (île de Nuku Hiva). Les anomalies sur les terres émergées sont encore plus importantes (Figure 3A) ce qui empêche SHORECIRC de déterminer les surcotes. Pour SWAN, par contre, cela ne pose aucun problème comme le montre la Figure 3B.

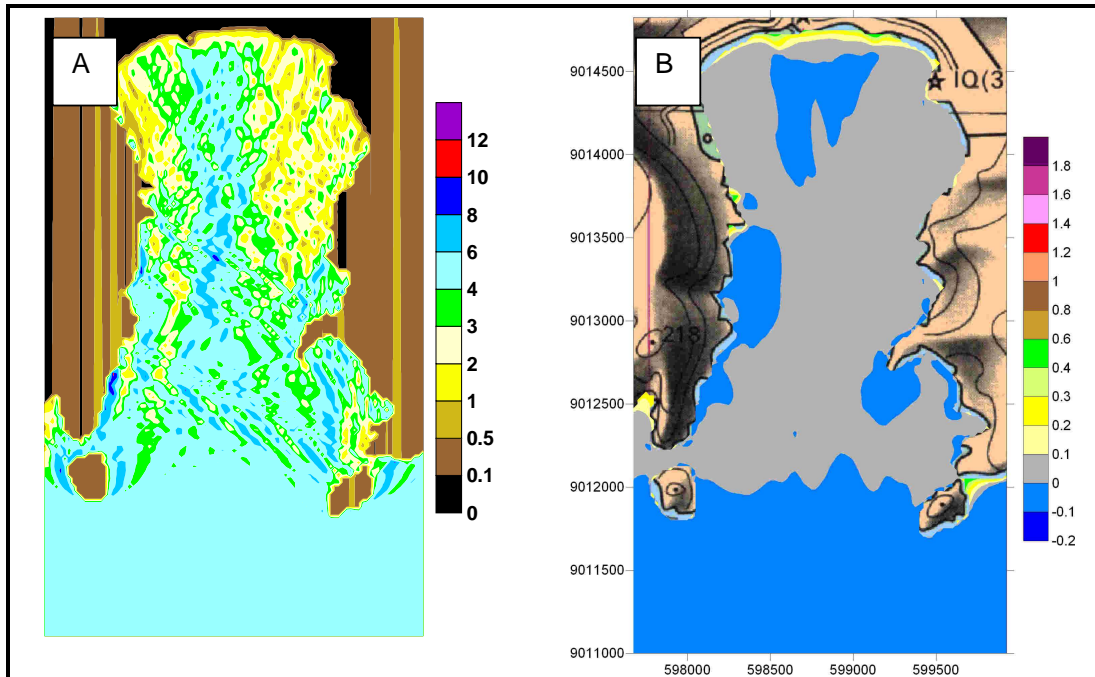


Figure 3 : Calcul des hauteurs des vagues avec REFDIF (A) et des surcotes avec SWAN (B).
Baie de Taiohae.

Des tests supplémentaires ont révélé que le couplage REFDIF-SHORECIRC fonctionnait uniquement pour des configurations simples (trait de côte rectiligne). La Figure 4 correspond à l'un de ces tests. Il s'agit d'une plage idéalisée ayant une pente constante (1,43%). Les résultats de REFDIF sont cette fois-ci corrects permettant à SHORECIRC de modéliser les surcotes (Figure 4B).

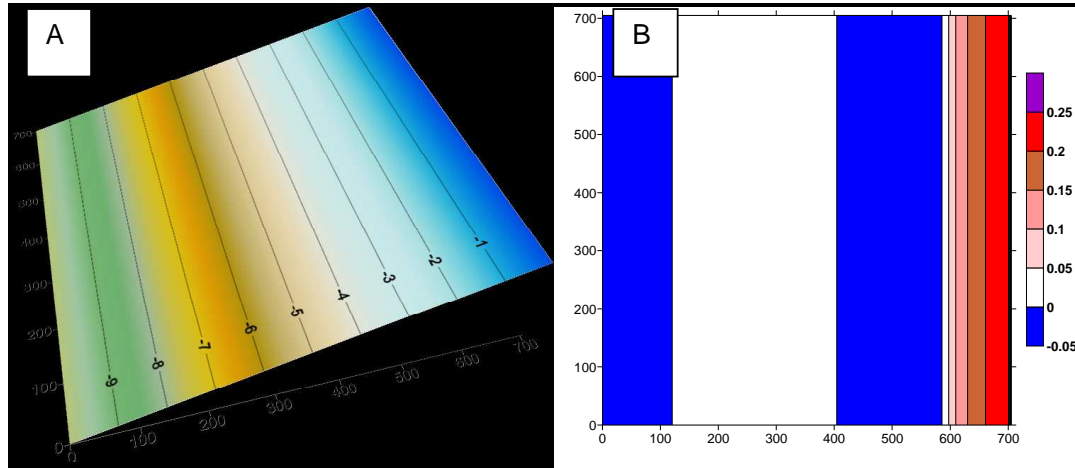


Figure 4 : Application du modèle REFDIF-SHORECIRC sur un cas simple : A, bathymétrie ; B, surcotes.

Les différents tests présentés dans ce paragraphe indiquent que :

- le couplage REFDIF-SHORECIRC est inadapté aux configurations complexes qui devront être traitées dans cette étude. Ceci est lié à la détection et au traitement des zones émergées,
- SWAN s'est montré particulièrement robuste, les résultats de hauteur de houle et de surcote étant toujours cohérents. C'est pourquoi il a été retenu pour réaliser l'ensemble des simulations de cette étude.

3. Bathymétrie- Construction des MNT

Ce paragraphe traite des différentes étapes nécessaires à la construction des grilles bathymétriques utilisées par SWAN en décrivant :

- les données utilisées en entrée
- les outils
- la méthodologie mise en oeuvre

3.1. DONNEES EN ENTREE

Elles proviennent du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine française (SHOM) et se présentent sous deux formes : des fichiers contenant les valeurs des sondes et des cartes marines.

3.1.1. Sondes numériques

Elles sont livrées sous un format de fichier propriétaire (fichiers ASCII .profilgeo) contenant notamment les coordonnées (latitude, longitude), la cote du fond par rapport au zéro hydrographique local, le système géodésique (WGS 84 la plupart du temps), la date des mesures, le nombre de profils, ...

Un programme a été mis au point afin d'extraire et de convertir automatiquement les coordonnées géographiques en coordonnées UTM (ellipsoïde WGS 84), et d'enregistrer ces données sous un format ASCII standard (XYZ date).

3.1.2. Cartes Marines

Elles sont indispensables pour compléter la faible couverture géographique des sondes numériques. Elles nous ont été fournies scannées au format TIFF.

Au total 16 de ces cartes ont été géoréférencées et digitalisées pour le besoin de l'étude.

3.2. OUTILS

Les trois logiciels suivants ont été utilisés :

- SCILAB : pré et post-traitement
- ENVI 3.6 : géoréférencement et projection en coordonnées UTM des cartes
- SURFER 8 : digitalisation des cartes et construction du maillage

3.3. METHODOLOGIE

Elle se décompose en 6 étapes :

- 1- extraction, conversion (en coordonnées UTM) et stockage des sondes numériques depuis les fichiers du SHOM à l'aide d'une routine SCILAB développée pour l'occasion
- 2- géoréférencement des cartes : dans un premier temps, elles sont géoréférencées en coordonnées géographiques (WGS 84) en utilisant le quadrillage de la carte. Cette opération s'est révélée délicate car souvent les coordonnées initiales étaient exprimées suivant un repère local établi par l'IGN en 1951-1959. Il a donc fallu appliquer une correction en latitude et longitude afin de passer en WGS 84. Par la suite les cartes sont projetées en coordonnées métriques UTM pour être homogène avec les sondes. La qualité de ces opérations est contrôlée visuellement en superposant les sondes et les cartes. Les opérations de géoréférencement sont répétées si un écart moyen supérieur à 2 pixels est constaté (environ 10 à 15 m)
- 3- importation des cartes et des sondes numériques dans SURFER et digitalisation manuelle des isobathes et des sondes de la carte (zones non couvertes par les sondes numériques, Figure 5). Cette dernière opération peut se montrer fastidieuse à cause du nombre de points à saisir (jusqu'à 4000 sur certains sites)

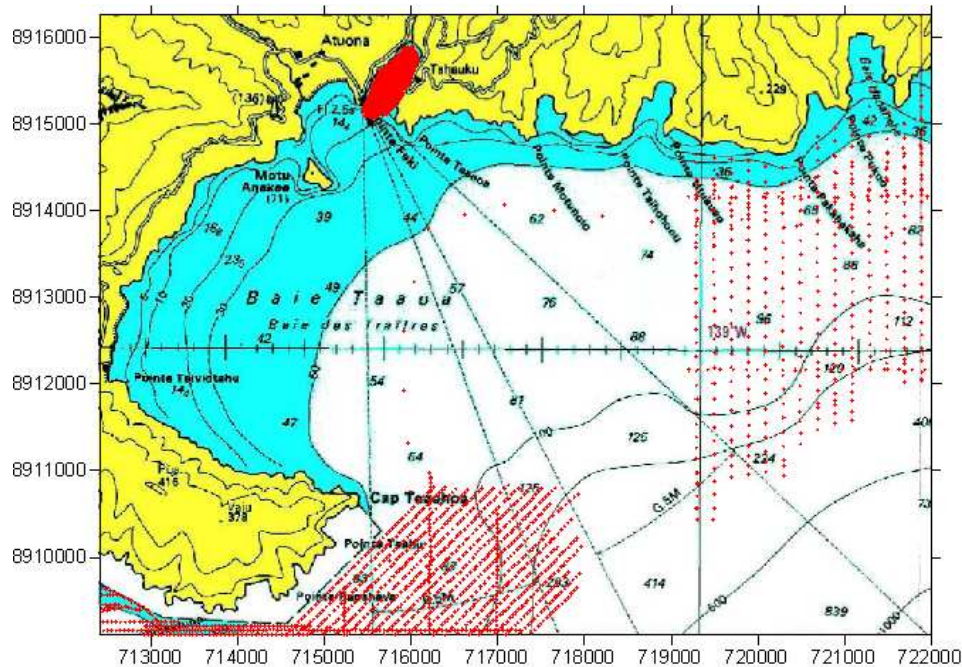


Figure 5 : Digitalisation des cartes marines sous SURFER. Les croix rouges correspondent aux sondes numériques.

- 4- création d'un masque définissant les limites du domaine d'étude. L'interpolation ne s'effectuera qu'à l'intérieur de celui-ci. Les limites de ce domaine sont fixées bien au delà du site d'intérêt pour éviter les problèmes liés aux « effets de bord » que rencontrent la plupart des modèles dont SWAN (Figure 6).

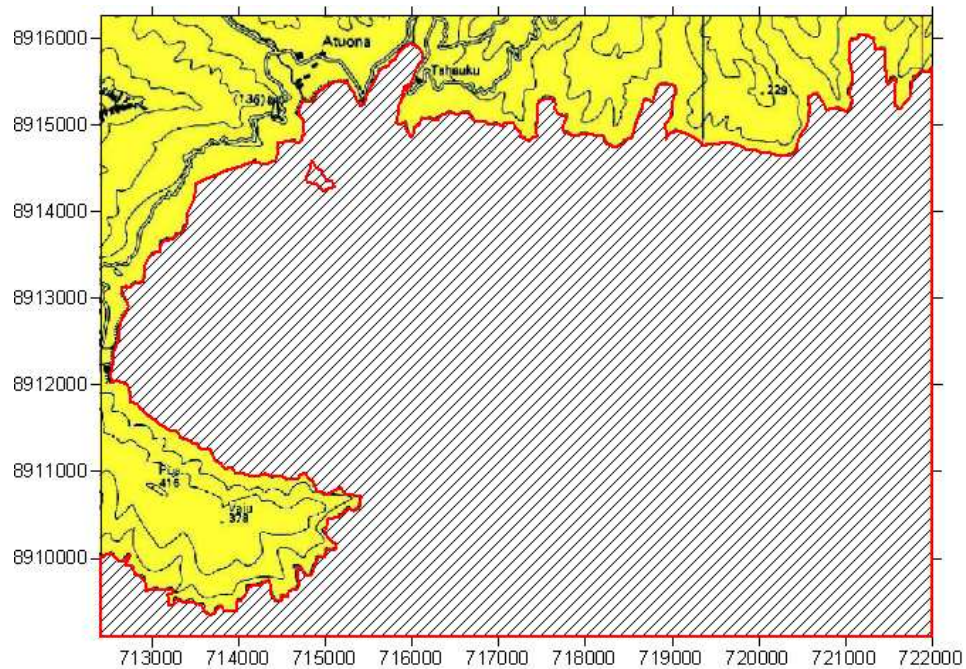


Figure 6 : Définition du masque du domaine pour guider l'interpolation.

- 5- maillage du domaine en utilisant la méthode d'interpolation de Kriging. Il est parfois nécessaire de construire deux types de grilles bathymétriques pour SWAN : une de « grande emprise » et une de « petite emprise ». Les calculs se font en premier dans le modèle grande emprise (maillage d'environ 50 x 50m) qui sont injectés par la suite dans le modèle de petite emprise (centrée sur la zone d'intérêt, maillage de 25x25 m maximum). On parle alors de modèles emboîtés ou gigognes. Cela permet de contourner les problèmes liés au temps de calcul (domaines étendus), aux côtes complexes ou à la méconnaissance de certains secteurs (zones non hydrographiées). Enfin une carte bathymétrique est construite à partir de ce MNT de façon à contrôler visuellement sa qualité (Figure 7). Néanmoins des problèmes peuvent subsister qui se révèlent lors des simulations (erreurs lors de la saisie manuelle, mauvais choix de l'étendue du domaine, secteurs insuffisamment renseignés, ...). Dans ces cas là il est nécessaire de procéder à de nouvelles corrections du MNT.

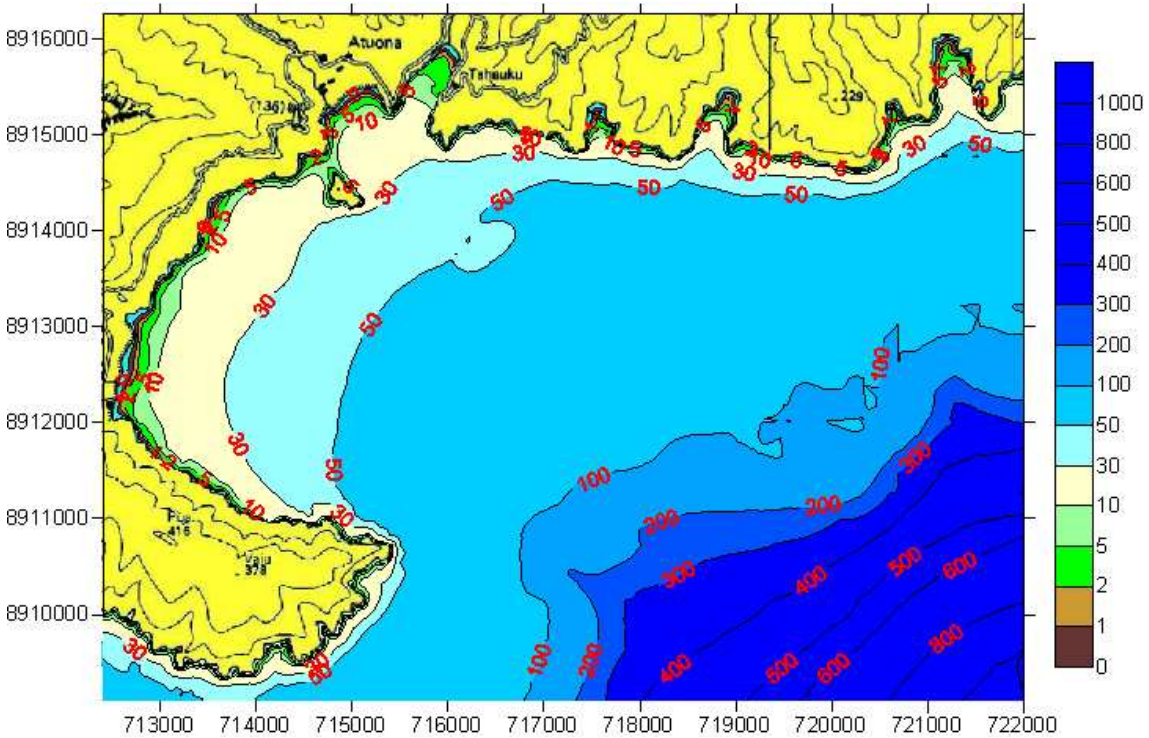


Figure 7 : Etablissement de la carte bathymétrique.

- 6- Exportation de la grille bathymétrique au format SURFER vers un format accepté par SWAN grâce à une routine SCILAB développé pour l'occasion

4. Configuration des simulations et tests de sensibilité

En lui fournissant la bathymétrie et les caractéristiques de la houle au large (hauteur, période et direction), SWAN est capable de déterminer la transformation de la houle lors de sa propagation jusqu'au rivage ainsi que la surcote induite.

Pour cela SWAN utilise un spectre directionnel d'énergie représentatif de l'état de mer (correspondant en général à la superposition de plusieurs trains d'ondes) qui est modifié par les différents processus côtiers (réfraction, diffraction, dissipation, etc...). Pour construire le spectre initial, SWAN utilise les valeurs de hauteur, période et direction de houle indiquées au départ mais aussi des paramètres définissant la forme ou type de spectre. Les paramètres choisis pour cette étude correspondent au spectre de type « JONSWAP » qui est le plus utilisé. Il est également nécessaire de préciser l'étalement directionnel qui tient compte de la variation des directions des trains d'ondes composant le spectre par rapport à la direction moyenne. Par exemple, pour une mer bien formée (semblable à la propagation d'une onde monochromatique), l'étalement directionnel atteint seulement quelques degrés alors que pour une mer désordonnée, il peut atteindre 30 à 50°.

Pour décrire ce spectre, nous l'avons décomposé en 30 fréquences allant de 0.04 à 0.5 Hz (de 2 à 25 secondes) et en 36 secteurs de 10° chacun.

Les autres processus activés dans SWAN, indispensables lors de l'étude de la propagation de la houle jusqu'au rivage, sont : la réfraction, la diffraction, les interactions houle-houle (triplets), le déferlement de la houle et le frottement au fond. Pour ce dernier processus, c'est la formulation de Madsen qui a été choisie (cf. rapport sur la méthodologie) car c'est la plus communément utilisée.

Ne disposons pas de mesures hydrodynamiques de terrain, il ne nous est pas possible d'affiner les valeurs correspondantes aux différentes formulations choisies (pas de calibration pour les différentes modélisations). Ce sont donc les valeurs établies par défaut dans SWAN qui seront utilisées. Ce sont des valeurs moyennes déduites de nombreuses applications sur différents d'environnements.

Il est cependant légitime de s'interroger sur l'influence relative de certains paramètres (à priori importants en fonction des environnements étudiés) sur les résultats du modèle et estimer ainsi leur consistance. Pour cela, on mène à bien des tests de sensibilité du modèle.

Les paramètres testés sont : la résolution spatiale du maillage, l'étalement directionnel, le frottement au fond, l'angle d'incidence de la houle et hauteur initiale de la houle.

Leur impact sera observé en particulier sur la hauteur de la houle et sur la surcote, au niveau de l'ensemble du domaine mais aussi en se focalisant sur la ligne de rivage.

Les environnements choisis pour ces tests correspondent aux sites de Taapuna à Tahiti (présence d'une barrière récifale et d'une passe, Figure 8A) et de Hanavave à Fatu Hiva (baie ouverte, Figure 8B) car ils sont jugés représentatifs de la plupart des environnements rencontrés dans cette étude.

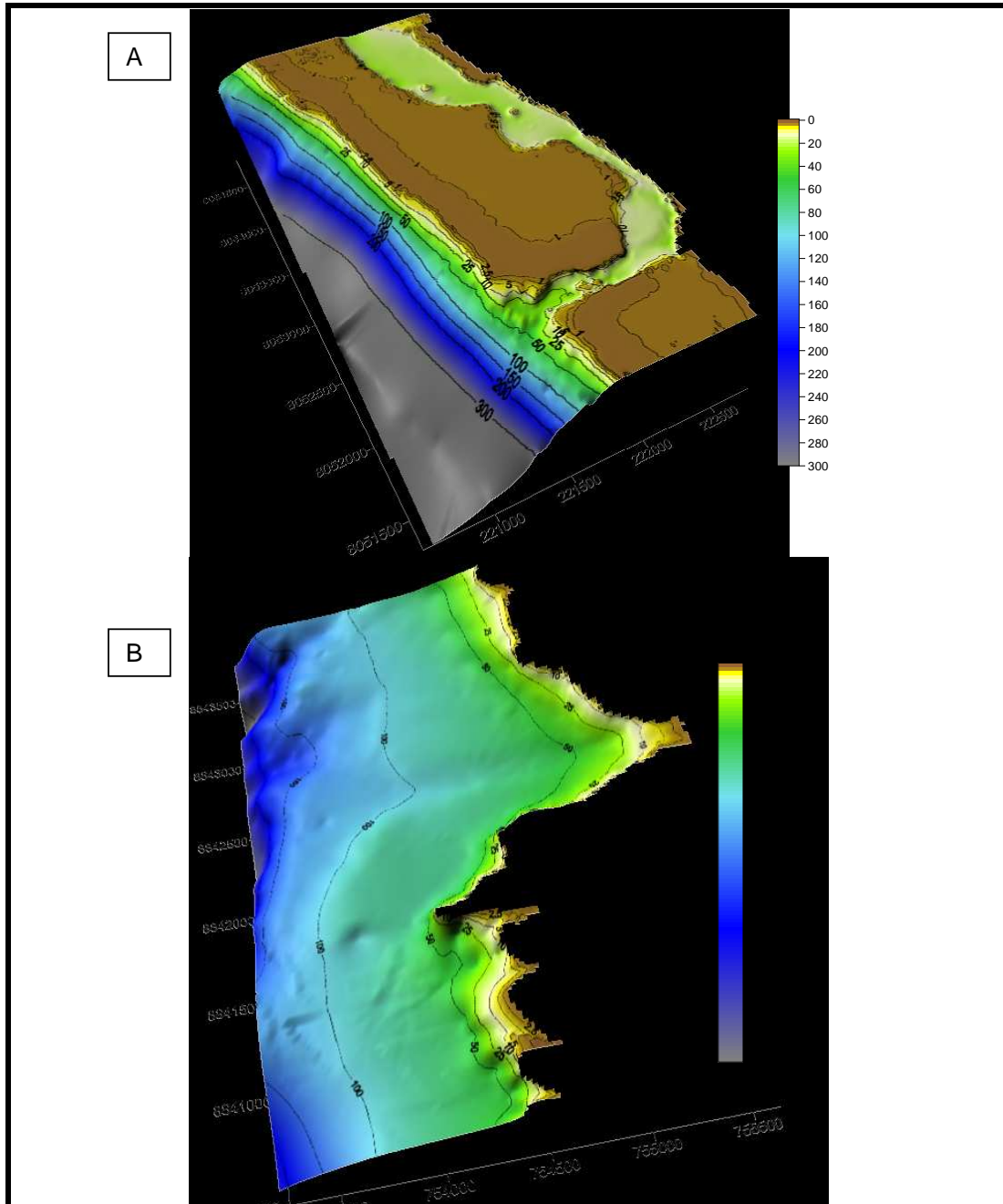


Figure 8 : Bathymétries des sites de Taapuna (A) et de Hanavave (B).

4.1. SENSIBILITE DE LA RESOLUTION SPATIALE

Ce test porte sur le site de Taapuna car la densité de sondes numériques disponibles permet de mailler finement le domaine (10 x 10 m). Sur la plupart des sites les données d'entrée permettent au mieux un maillage compris entre 20 et 25 m de côté. Nous comparons donc un maillage de 20 x 20 m (référence) et un de 10 x 10 m. Les caractéristiques initiales de la houle pour les 2 cas sont : Hs (hauteur significative) de 12m, T (période) 13s et D (direction) de N170°. Les autres paramètres de la simulation sont identiques.

La vue globale du site (Figure 9) indique :

- pour Hs : une structure comparable dans les 2 cas. Les hauteurs correspondantes au maillage le plus grossier sont globalement plus importantes au large et au niveau de la passe.
- Pour la surcote (« setup ») liée à la houle : la différence est plus marquée. La surcote est plus importante dans le cas du maillage fin. Les zones correspondantes aux tranches 1,6-1,8 m et 1,2-1,4 sont bien plus étendues. Il y a des valeurs supérieures à 1,8 m en bordure du récif.

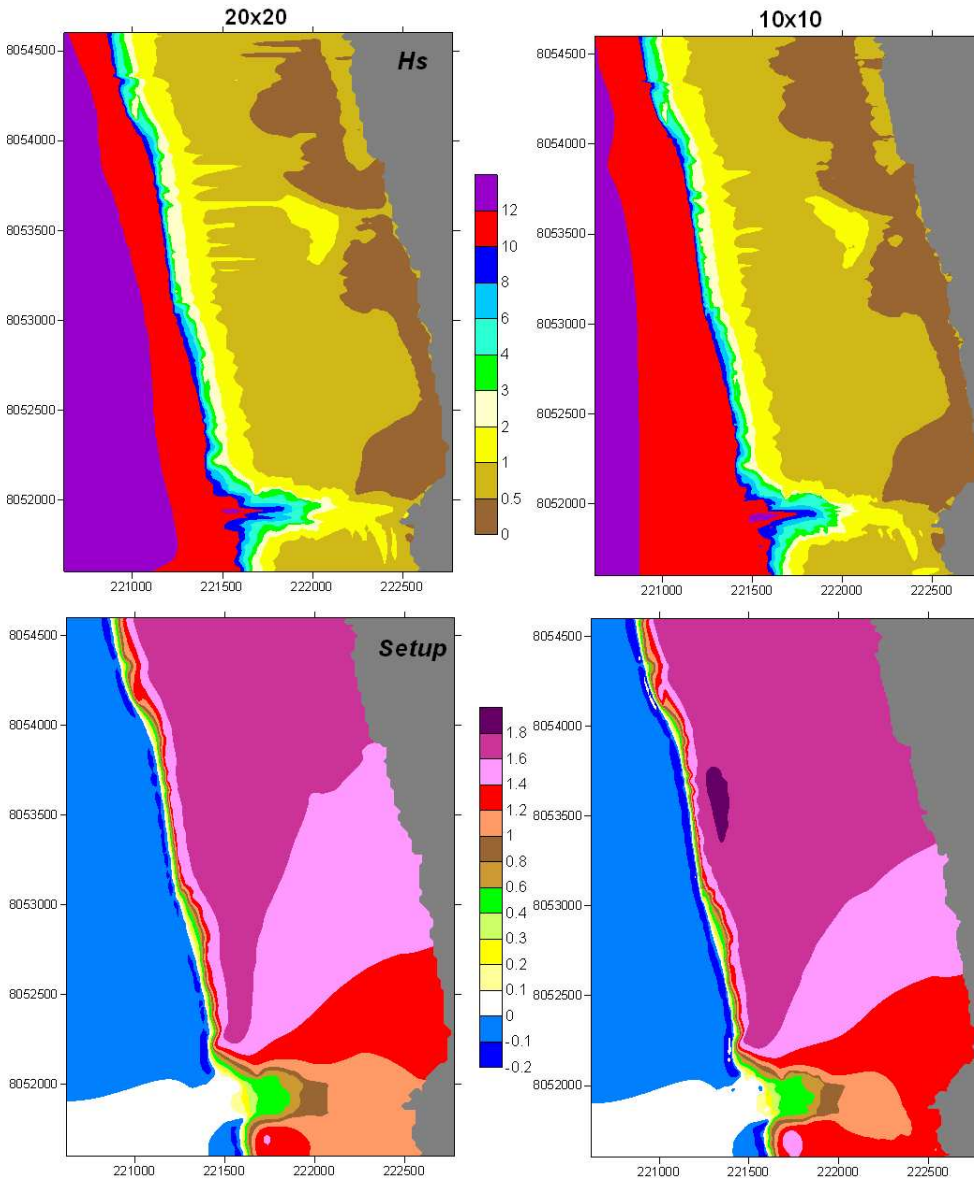


Figure 9 : Influence de la résolution spatiale du maillage sur la hauteur de la houle et la surcote au niveau de Taapuna. Vue d'ensemble (échelles en m).

Ces observations se confirment lorsqu'on se focalise sur la ligne de rivage. Pour Hs les valeurs sont du même ordre présentant une moyenne aux alentours de 0,5 m et un pic de 1,1 au droit de la passe. Cette dernière valeur est légèrement inférieure pour le maillage 10 x 10 m (Figure 10).

Pour la surcote, les valeurs du maillage 10x10 m sont toujours supérieures d'environ 0,05 m par rapport au maillage de 20x20 m, passant de 1,2 m au droit de la passe à 1,7 m en s'éloignant vers le nord de la zone d'influence de la passe.

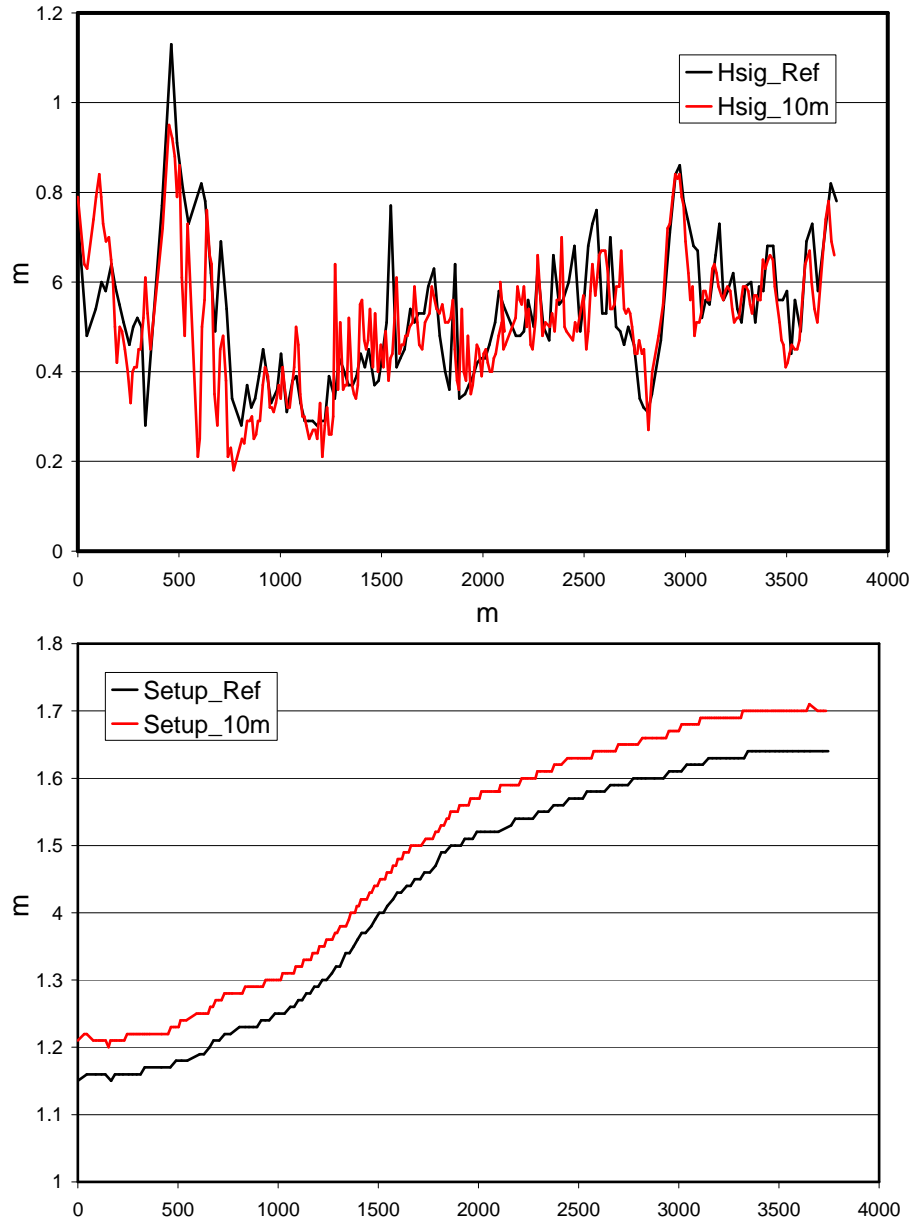


Figure 10 : Influence de la résolution spatiale du maillage sur la hauteur de la houle et la surcote au niveau de Taapuna. Ligne de rivage. Axe des X : distance en m depuis le point du rivage le plus au sud.

4.2. SENSIBILITE DE L'ETALEMENT DIRECTIONNEL (« DIRECTIONAL SPREADING »)

C'est le site de Hanavave qui a été choisi pour ce test. Trois valeurs d'étalement directionnel (DSPR) pouvant correspondre à des houles cycloniques sont testées : mer bien formée (5°, référence), mer intermédiaire (18°) et mer intermédiaire à désordonnée (30°). Pour les 3 cas, les valeurs initiales de la houle sont : $H_s = 7\text{m}$, $T=13\text{s}$ et $D= N270^\circ$.

L'influence du DSPR est clairement illustrée dans l'évolution de la hauteur de la houle depuis le large (Figure 11). Pour un DSPR de 30°, l'état mer est constitué d'au moins deux trains d'onde de direction très différente. Lors de la propagation, les interactions entre les différents composants ont pour effet de faire chuter H_s si bien qu'aucune vague supérieure à 6 m n'atteint la côte. Ce n'est pas le cas pour le DSPR de 5°. Les trains d'onde du spectre se propagent suivant une direction proche. La hauteur moyenne se maintient longtemps à 7 m pour ne chuter qu'à proximité de la baie (le frottement au fond et le déferlement, deviennent alors prépondérants).

En ce qui concerne la surcote, la tendance est moins claire mais on note toutefois des valeurs plus importantes au fond de la baie pour les DSPR 5° et 18°. La tranche 0,4-0,6m est quasi absente pour le DSPR de 30°.

Sur la ligne de rivage (Figure 12) on remarque également que la hauteur de houle est plus importante lorsque le DSPR diminue sauf au niveau de la baie où les valeurs sont sensiblement les mêmes (0,8 à 1m).

Cela ne s'applique pas à la surcote. Au niveau des baies elle est plus importante pour les DSPR de 5° et 18° (variant de 0,33 à 0,66 à Hanavave) que pour le DSPR de 30° (0,09 m en moins en moyenne à Hanavave).

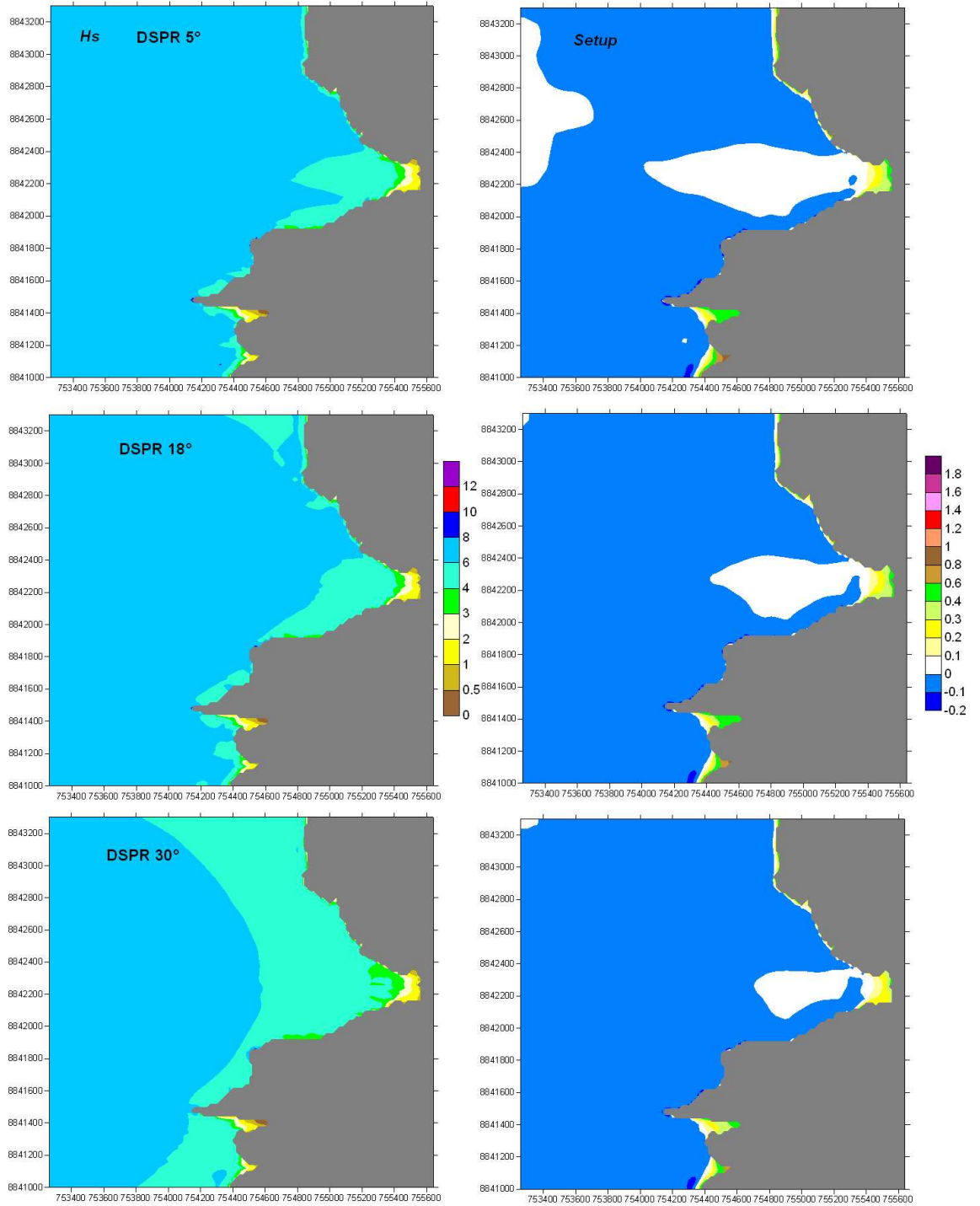


Figure 11 : Influence de l'étalement directionnel, site de Hanavave. Vue d'ensemble (échelles en m).

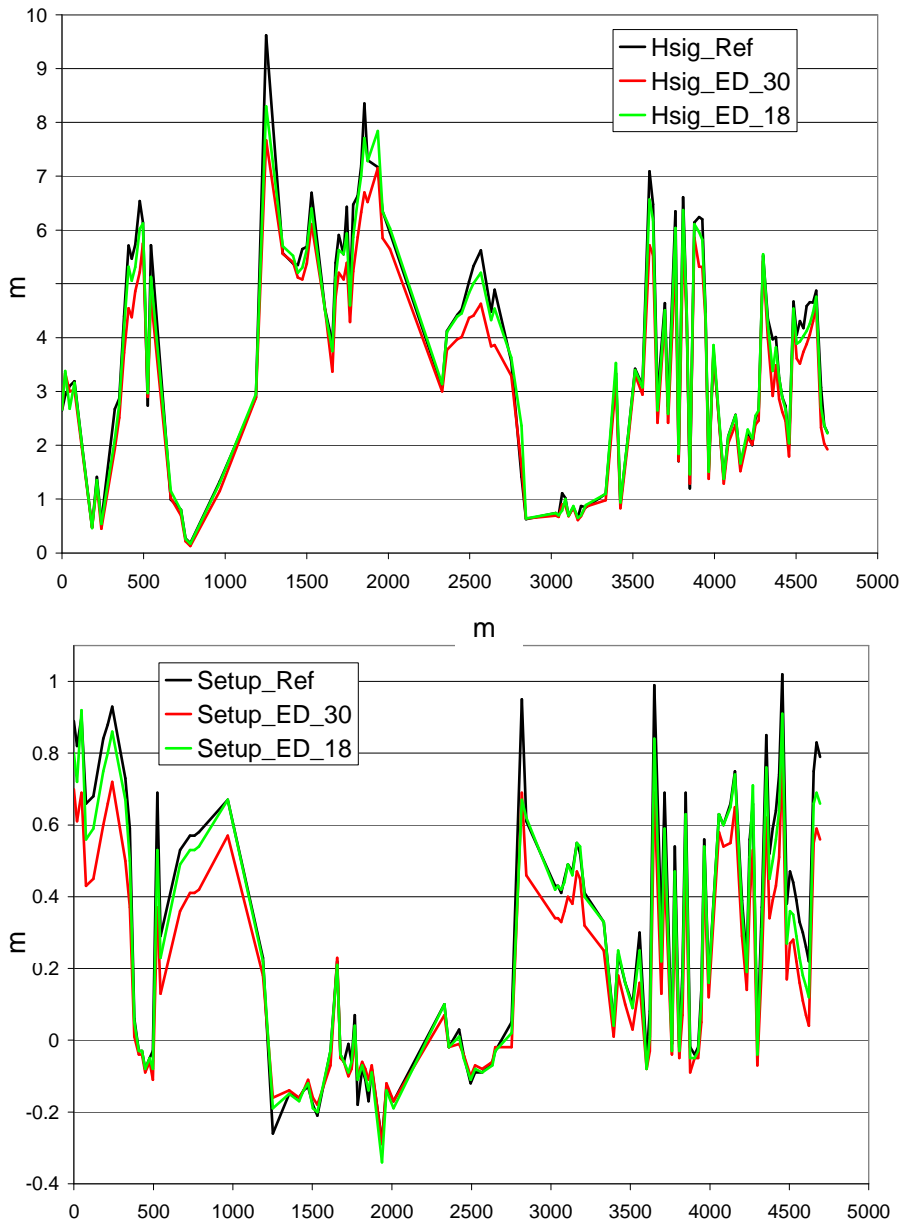


Figure 12 : Influence de l'étalement directionnel, site de Hanavave. Ligne de rivage. Hsig : hauteur significative ; Setup : surcote ; Ref : DSPR=5°; ED_18 : DSPR=18°; ED_30 : DSPR=30°.

4.3. FROTTEMENT AU FOND

Le frottement exercé par le fond est particulièrement important en présence d'une construction récifale. C'est pourquoi le test porte sur Taapuna. Les conditions de houle sont toujours les mêmes ($H_s = 12\text{m}$, $T = 13\text{s}$ et $D = N170^\circ$). Trois valeurs du coefficient de Madsen K_n ont été retenues : la valeur par défaut (0,05, référence), 0,1 et 0,15.

Sur la vue d'ensemble (Figure 13), on distingue une légère diminution de H_s lorsque K_n augmente. Cela est surtout perceptible au niveau de la plateforme récifale. Quant aux surcotes, aucune distinction ne peut être effectuée.

Au niveau du rivage (Figure 14) ces remarques se confirment :

- à l'exception de la passe où les 3 hauteurs sont semblables, H_s est plus important pour K_n égal à 0,05. Il diminue en moyenne de 0,05 et 0,10 m respectivement pour pour K_n égal à 0,10 et 0,15.
- la surcote est complètement indépendante de K_n .

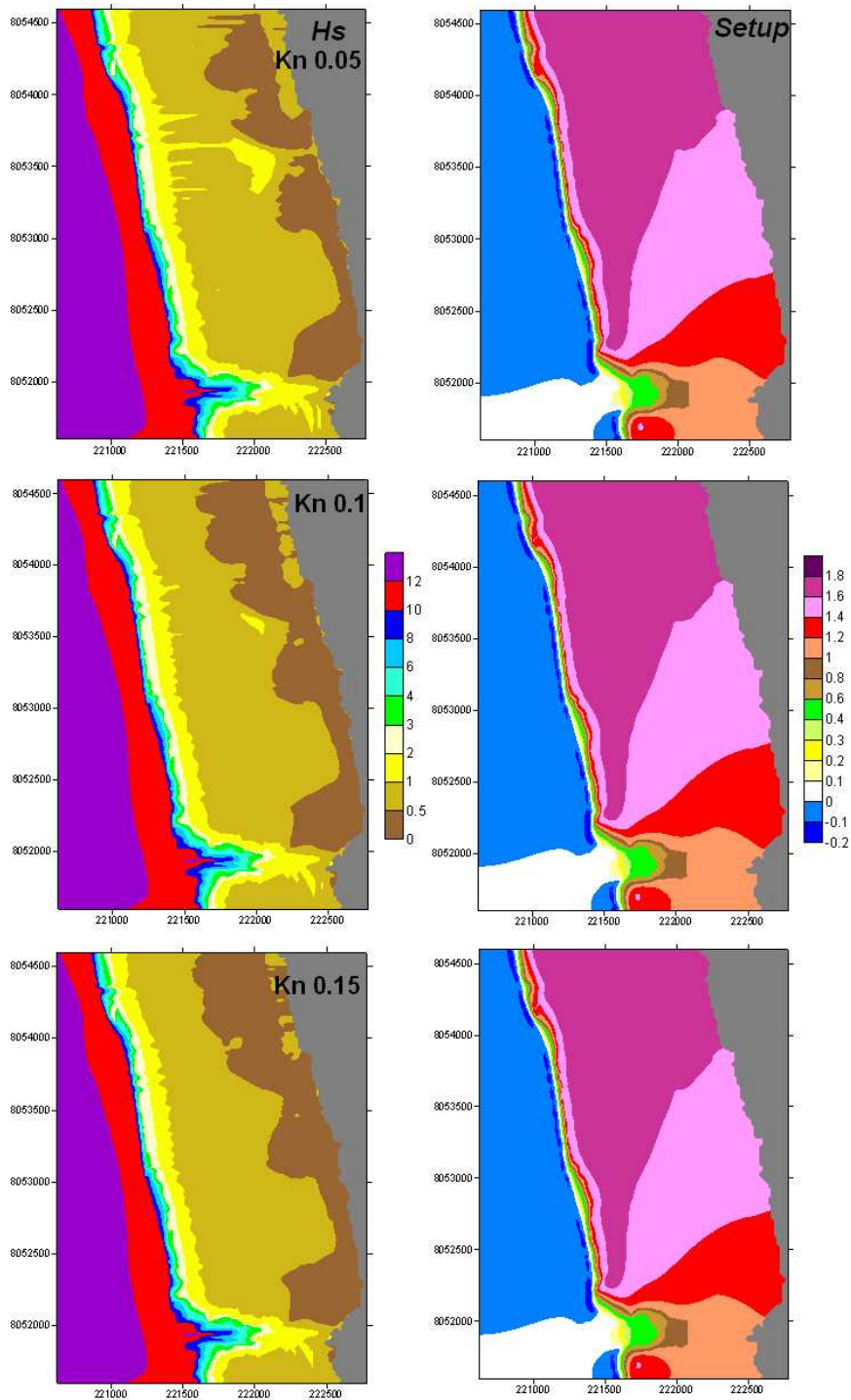


Figure 13 : Influence du frottement au fond, site de Taapuna. Vue d'ensemble.

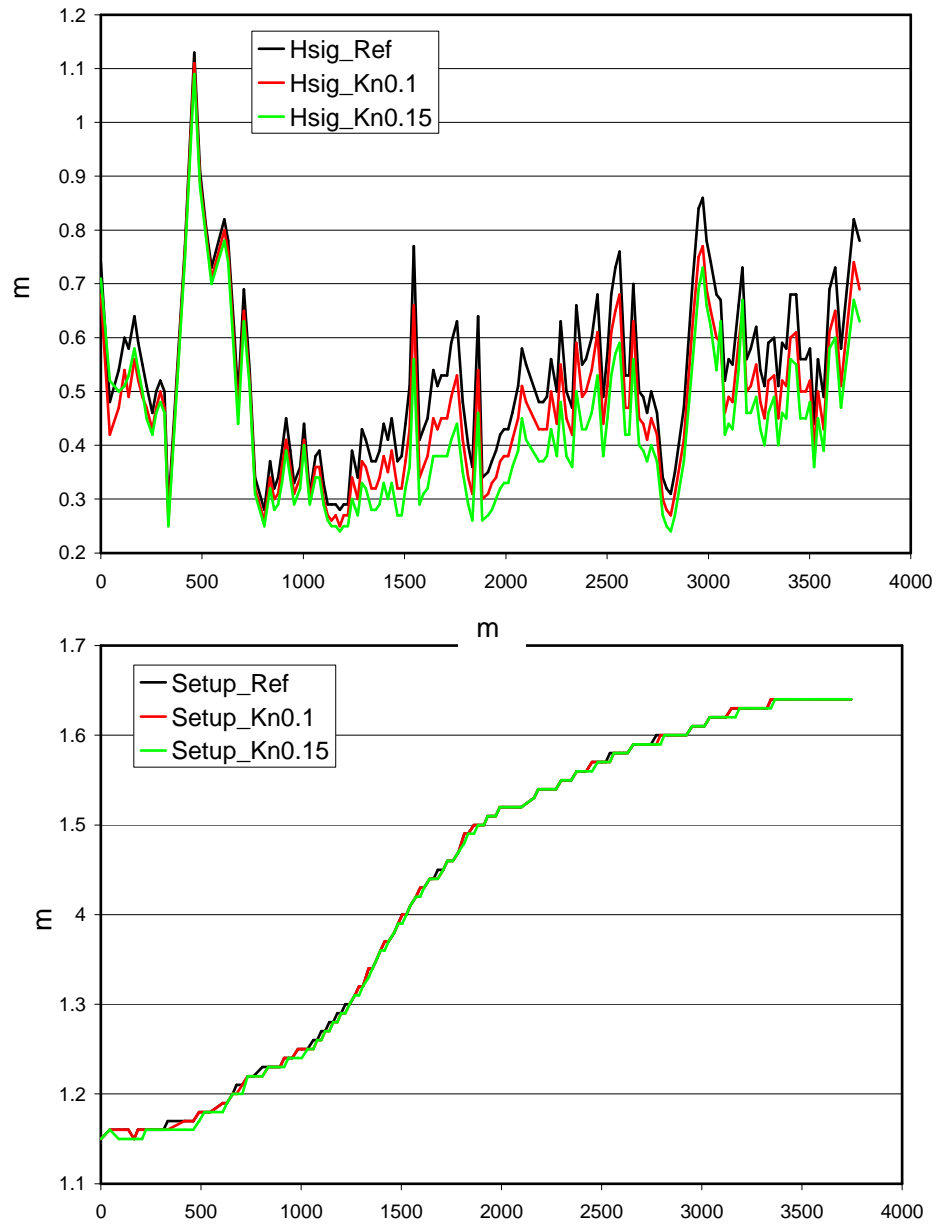


Figure 14 : Influence du frottement au fond au niveau du rivage, site de Taapuna. Ref : $Kn=0,05$.

4.4. SENSIBILITE DE L'ANGLE D'INCIDENCE DE LA HOULE

Ce paramètre a été testé sur les deux sites.

4.4.1. Site de Taapuna

Les forçages des deux simulations se différencient uniquement par l'angle d'incidence : N170° pour le cas de référence et N200°.

La Figure 15 est très instructive. Elle montre que, hormis la passe, Hs augmente pour N200°. Cette augmentation est toujours valable pour la surcote. Dans la configuration N200°, les vagues abordent la barrière récifale sous un angle oblique, c'est-à-dire qu'elles sont soumises à une pente inférieure par rapport à la configuration N170° (direction perpendiculaire au récif). Le rôle de protection du récif est par conséquent moins efficace. D'où des valeurs de Hs et de surcote plus importantes.

Cette influence se propage jusqu'au rivage (Figure 16). L'écart de la surcote pour les deux simulations est en moyenne 0,08 cm.

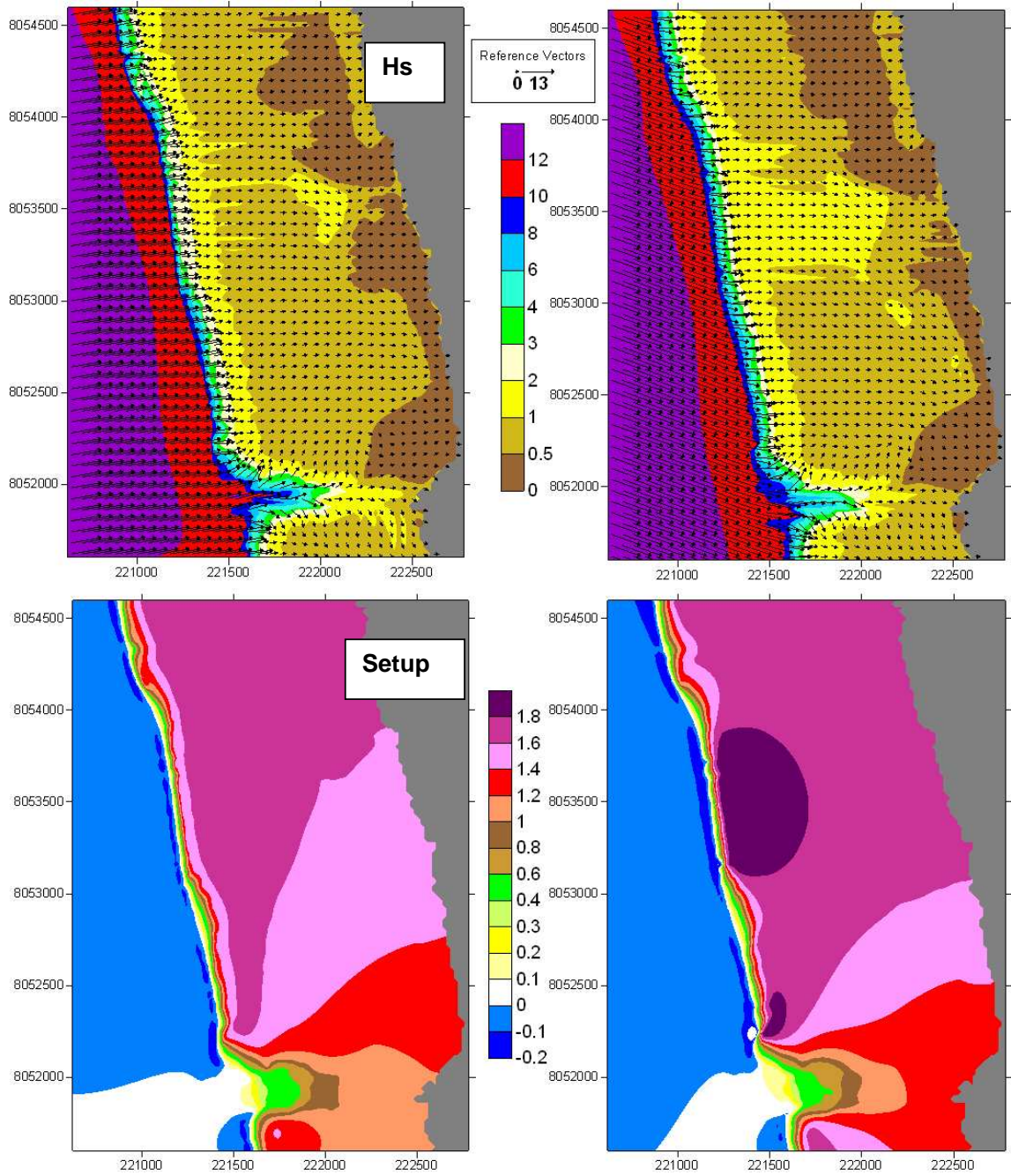


Figure 15 : : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Taapuna. Vue d'ensemble (échelles en m).

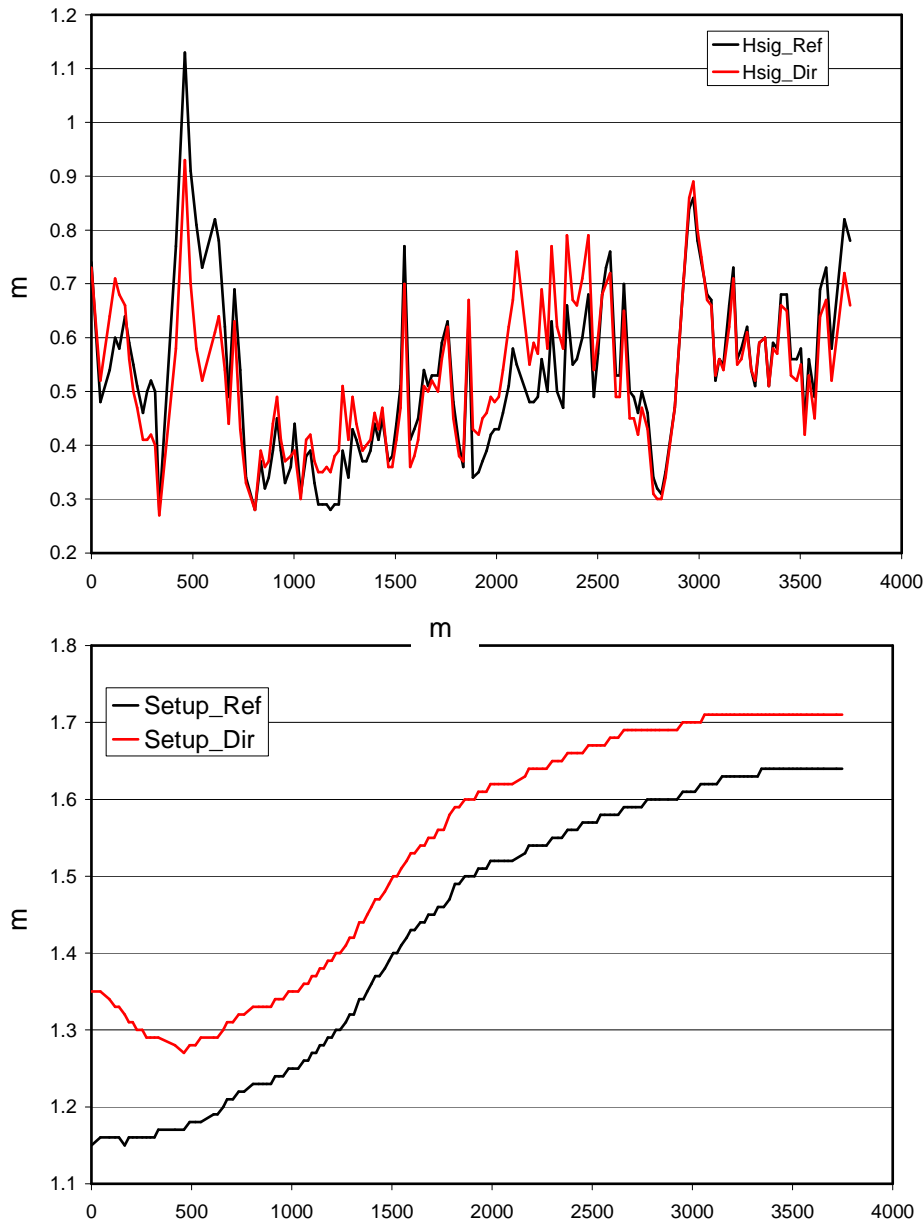


Figure 16 : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Taapuna. Ligne de rivage.
Ref=N170°; Dir=N200°.

4.4.2. Hanavave

L'écart entre les deux simulations est cette fois-ci de 45° (N270° pour la référence et N315°).

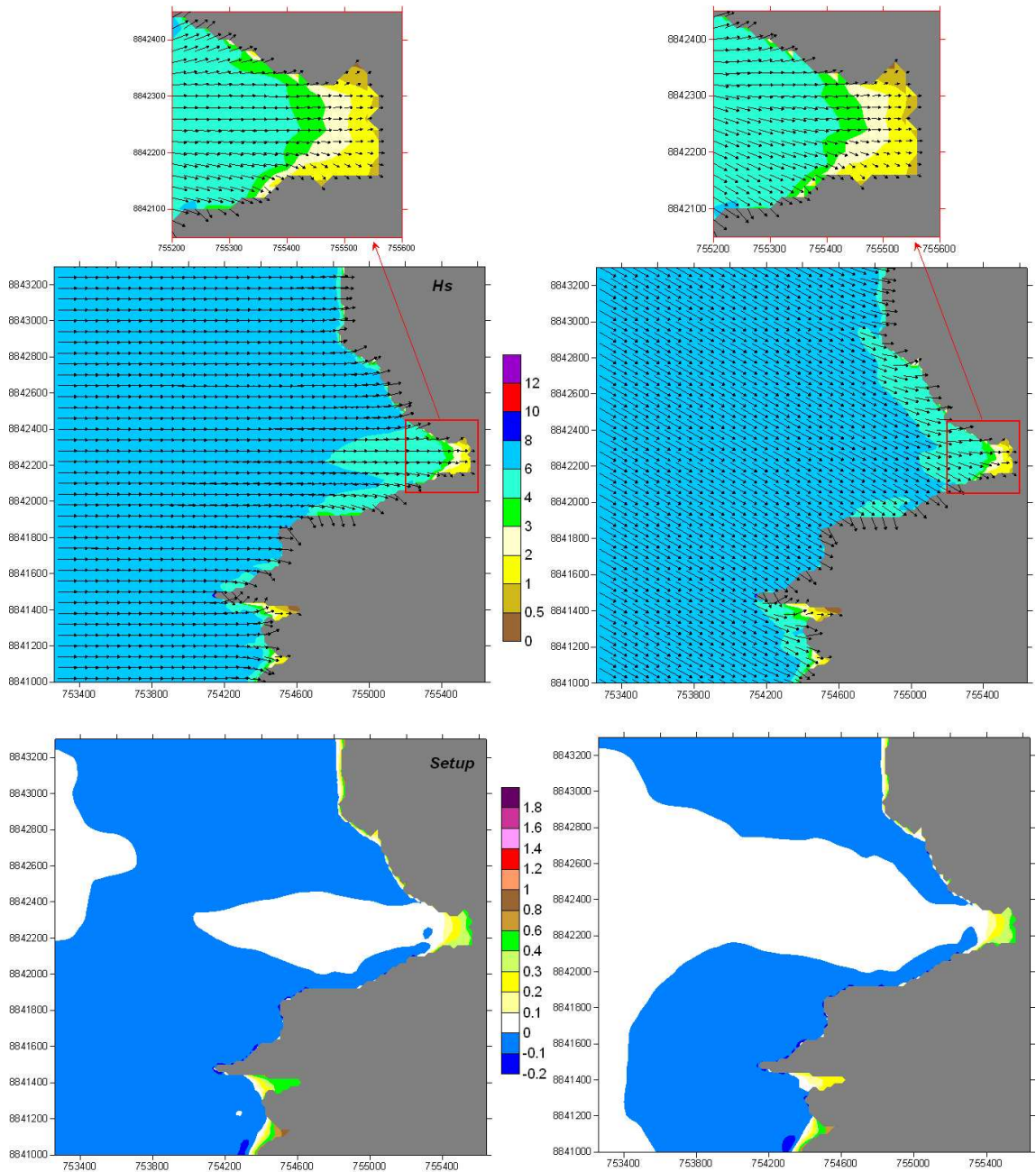


Figure 17 : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Hanavave. Vue d'ensemble.

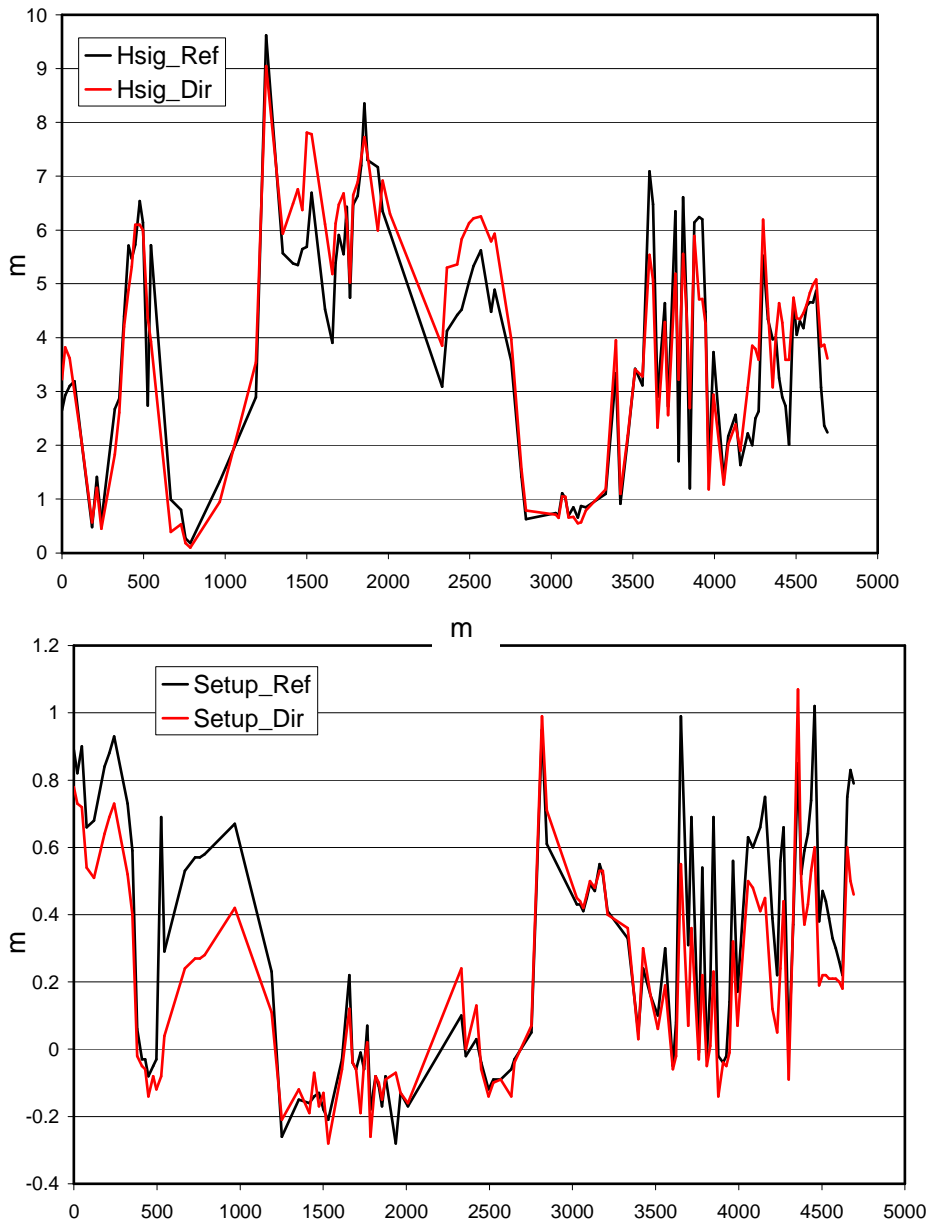


Figure 18 : Influence de l'angle d'incidence de la houle, site de Hanavave. Ligne de rivage.
Ref=N270°; Dir=N315°

L'influence de l'angle d'incidence est ici moins frappante en ce qui concerne Hs. Seule la partie Nord de la baie de Hanavave est plus exposée au N315°. Quant à la surcote les différences sont seulement perceptibles au large (Figure 17).

La figure focalisée sur le rivage (Figure 18) confirme ces premières observations. Il n'y a pas de modification pour Hs et la surcote au niveau de la baie.

4.5. SENSIBILITE DE LA HAUTEUR INITIALE DE LA HOULE

Les hauteurs de référence pour la houle cyclonique établies pour cette étude correspondent à des valeurs moyennes maximales. On peut s'interroger sur le comportement de Hs et de la surcote au rivage lorsque la hauteur initiale de la houle diminue. Hs et la surcote au rivage diminuent linéairement ? Y a-t-il un effet seuil ?

C'est pourquoi, pour ce dernier test de sensibilité, il a été décidé de faire varier la hauteur de la houle et cela pour les deux sites.

4.5.1. Taapuna

Deux hauteurs de houle de 10 et de 8 m sont comparées à la valeur de référence de 12 m.

Les deux figures (Figure 19 et Figure 20) montrent une diminution linéaire de Hs et de la surcote à proximité de la côte. Cela est particulièrement frappant au niveau du rivage (Figure 20). Pour la surcote, par exemple, la diminution d'1 m de la hauteur initiale de la vague entraîne une chute de la surcote au rivage de 0,10 – 0,11 m.

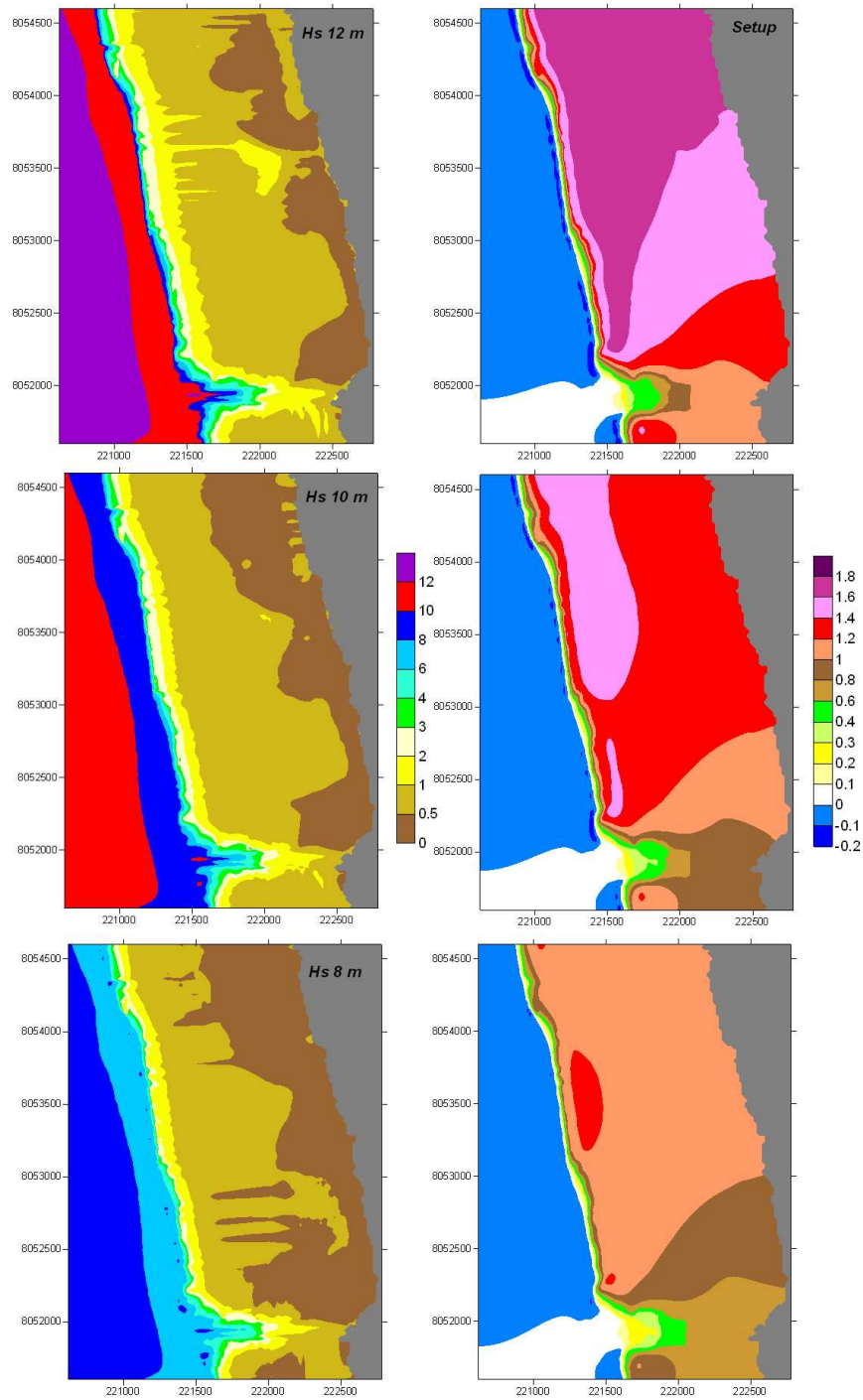


Figure 19 : Influence de la hauteur de la houle initiale, site de Taapuna. Vue d'ensemble (échelles en m).

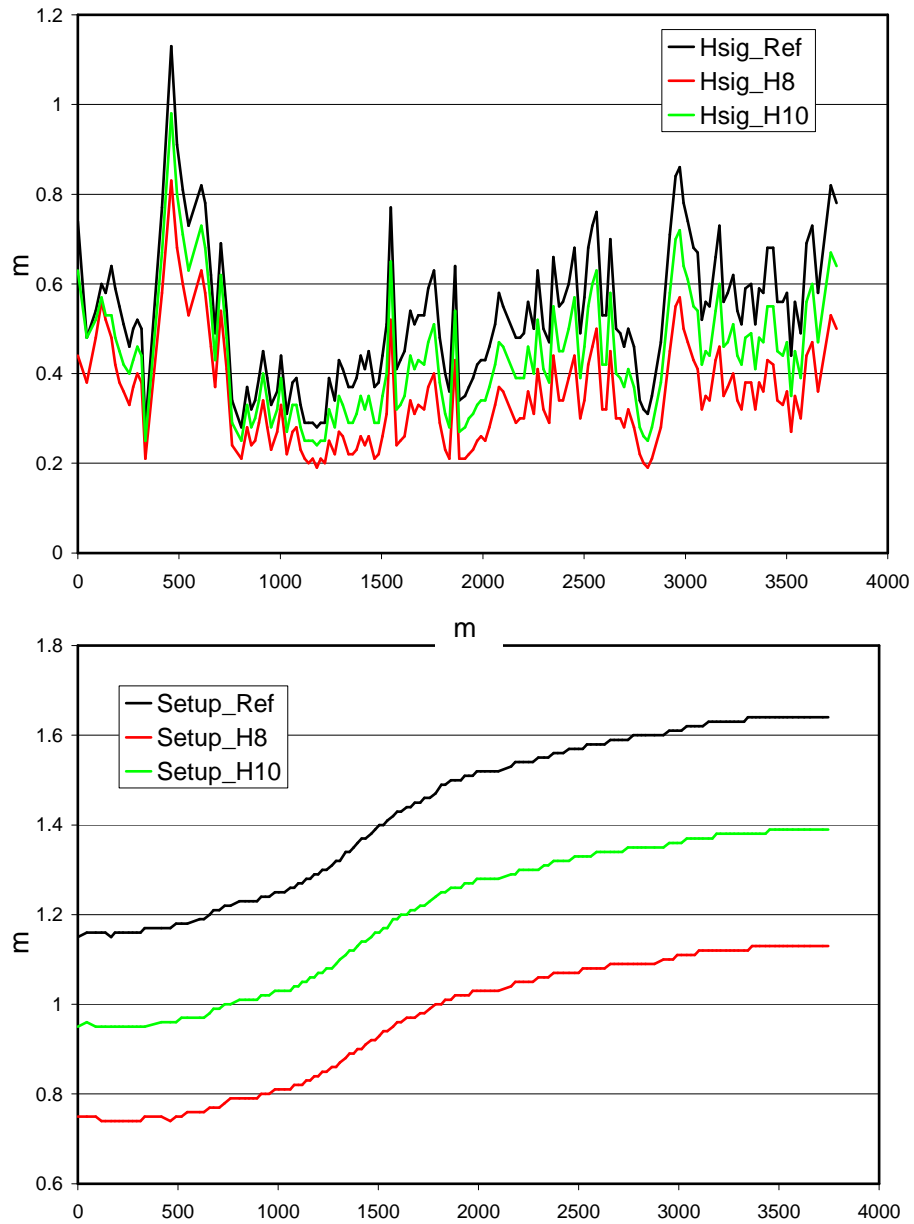


Figure 20 : Influence de la hauteur initiale de la houle, site de Taapuna. Ligne de rivage. Ref : Hsig = 12 m ; H8 : Hsig=8 m ; H10 : Hsig=10 m.

4.5.2. Hanavave

Les hauteurs comparées à la référence de 7 m sont de 5 et 4 m.

Les tendances ne sont pas aussi franches que pour le site précédent (Figure 21, Figure 22). La diminution linéaire existe aussi pour Hs à l'exception de la baie de Hanavave où les valeurs sont du même ordre.

Cela se complique pour la surcote. La variation de la hauteur de la houle modifie la position du déferlement et lorsque les pentes sont abruptes (falaises) cela peut inverser la tendance (surcote plus forte pour une hauteur initiale plus faible). Pour la baie de Hanavave on se retrouve dans le même cas que pour Taapuna (la diminution d'1 m de la hauteur initiale de la vague entraîne une chute de la surcote au rivage d'environ 0,07 m.

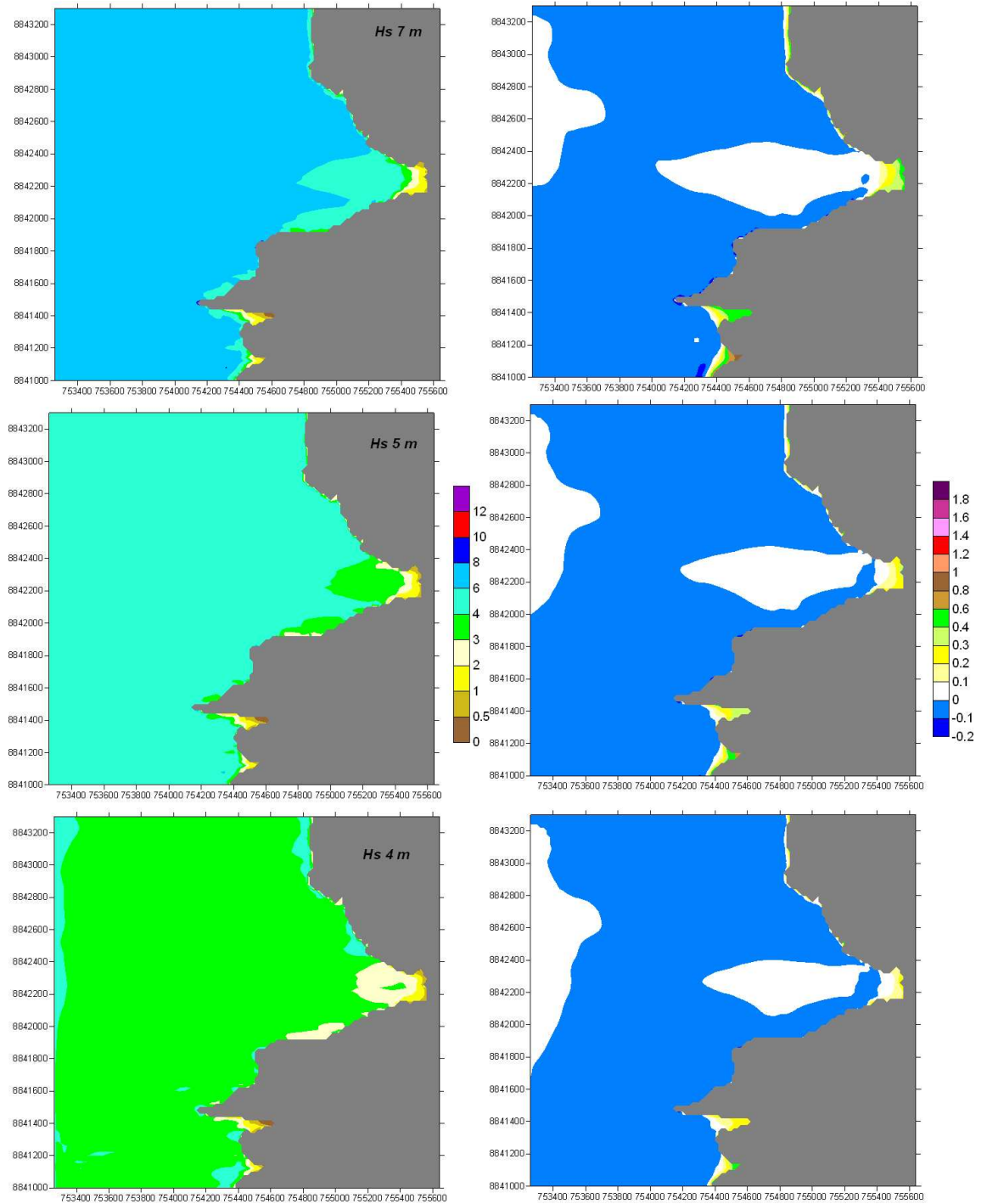


Figure 21 : Influence de la hauteur de la houle initiale, site de Hanavave. Vue d'ensemble.

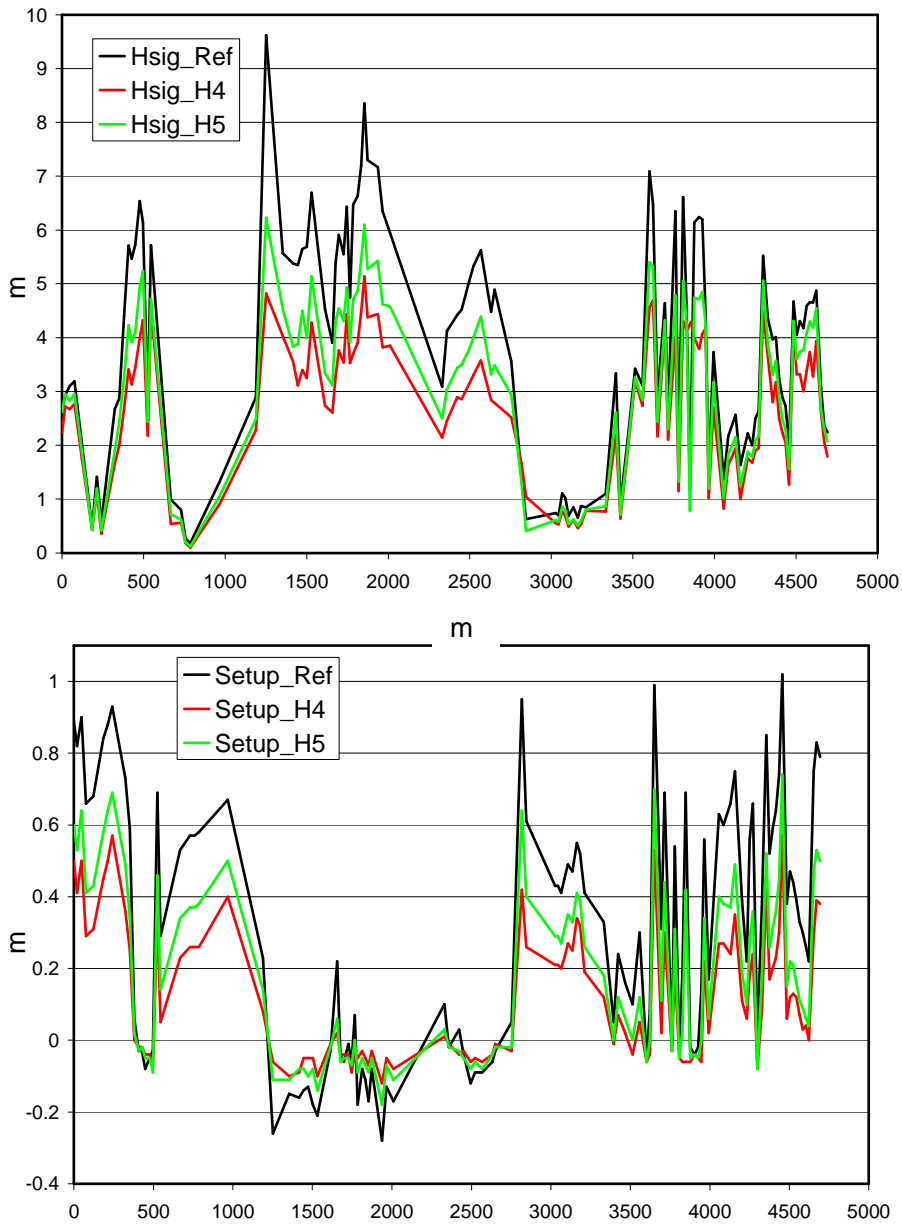


Figure 22 : Influence de la hauteur initiale de la houle, site de Hanavave. Ligne de rivage. Ref : Hsig=7 m ; H4 : Hsig=4 m ; H5 :Hsig=5 m.

4.6. CONSEQUENCES POUR LA QUANTIFICATION DE L'ALEA DE SURCOTE

Le Tableau 1 récapitule les principaux résultats des tests de sensibilité du modèle effectués sur la surcote au rivage.

Paramètre testé	Influence sur la surcote (en m/référence)	Observations
Résolution spatiale + fine	+0,05	
Etal. Directionnel	-0.09	
Frottement au fond	0	
Direction	+0,08	Uniquement en cas de récif

Tableau 1 : Récapitulatif de l'influence des paramètres testés sur la surcote au rivage.

Dans le cadre d'une évaluation de l'aléa, nous avons pris parti de ne retenir que les paramètres capables d'augmenter la valeur de la surcote par rapport aux simulations de référence. Si on admet que les hauteurs de référence sont réellement les maximales atteintes lors des périodes cycloniques, seules la résolution spatiale et l'angle d'incidence de la houle peuvent conduire à une sous-évaluation de la surcote. Aussi pour tenir compte de ces observations, il faudrait ajouter aux résultats des différentes simulations les valeurs suivantes :

- 0,05 m : à l'ensemble des sites dépourvus de lagon
- 0,13 m : aux sites caractérisés par la présence d'un lagon

5. Comparaison modélisation zonale et suivant un profil

Seul un nombre limité de sites (15 en tout) seront modélisés suivant une approche zonale (prise en compte de tout l'environnement). L'aléa de surcote sera estimé sur les autres sites et îles à partir d'une modélisation suivant un profil. C'est une méthode bien plus rapide mais avec certaines limitations. Elle suppose que le profil étudié est représentatif de toute la zone environnante (pas de modifications latérales importantes de la bathymétrie). Cela est vrai, par exemple, pour une plage uniforme. Ce n'est pas le cas pour une passe, une baie,...

Le but de ce paragraphe est d'estimer le biais introduit par cette approche par profil au niveau de ces sites particuliers en la comparant à l'approche zonale.

Pour cela nous avons effectué différents test sur les deux sites témoins : Taapuna et Hanavave. Les résultats sont présentés ci-dessous.

Les modélisations suivant le profil sont aussi effectuées à l'aide de SWAN qui permet également ce mode de calcul.

5.1. TESTS EN PRESENCE D'UN RECIF FRANGEANT - TAAPUNA

Deux environnements très différents sont propices pour tester l'approche suivant un profil : au niveau de la passe et au niveau du plateau récifal (Figure 23).

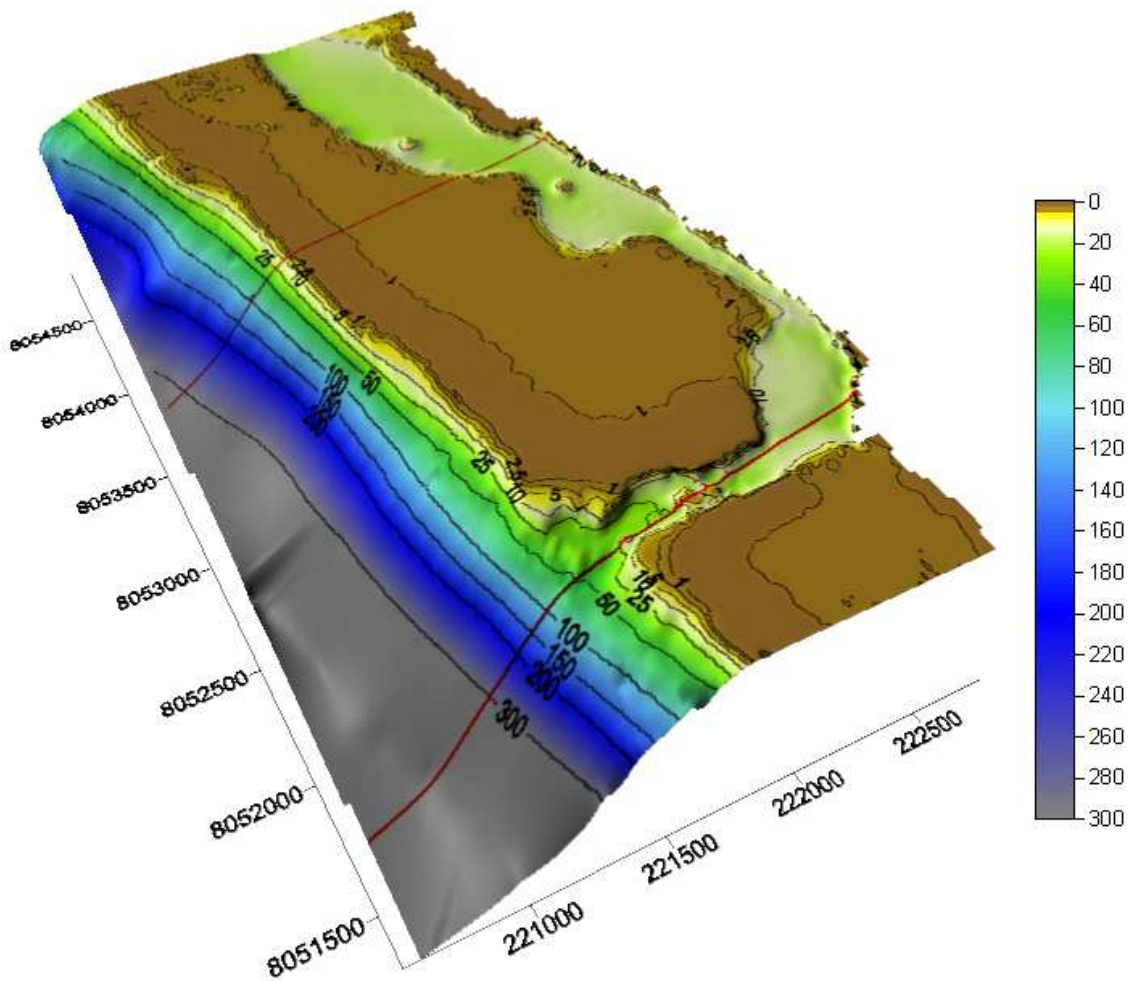


Figure 23 : Positionnement des deux profils testés sur Taapuna.

5.1.1. Profil au niveau de la passe

La Figure 24 présente la comparaison des deux approches pour le calcul de la hauteur significative (H_s). On distingue clairement une surestimation de H_s par l'approche du profil. Le déferlement à proximité du rivage lui permet de se rapprocher quelque peu du H_s zonal. En fait l'approche par profil ignore qu'après la pénétration dans la passe, une partie des vagues se dirige vers le lagon (vers le nord et vers le sud).

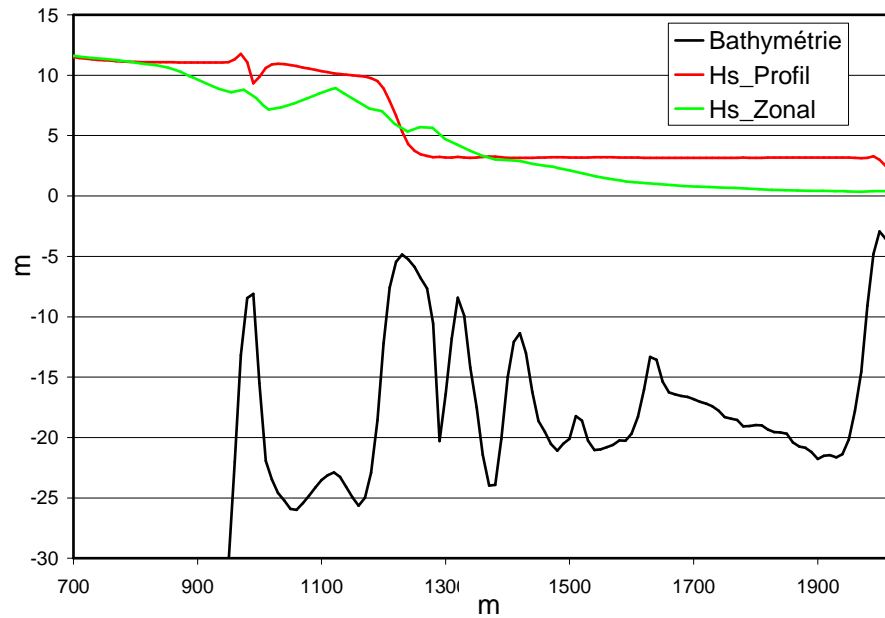


Figure 24 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au niveau de la passe de Taapuna.

Si l'on considère la surcote (Figure 25) on remarque une sous-estimation sur la quasi-totalité du profil (atteignant jusqu'à près de 0,14 m). Néanmoins, au voisinage du rivage, la surcote « profil » augmente de façon exponentielle rattrapant la valeur de la surcote zonale au rivage. Cela est lié au déferlement de la houle qui en quelques mètres transmet une énergie considérable à la colonne d'eau d'où une augmentation brutale du niveau moyen du plan d'eau.

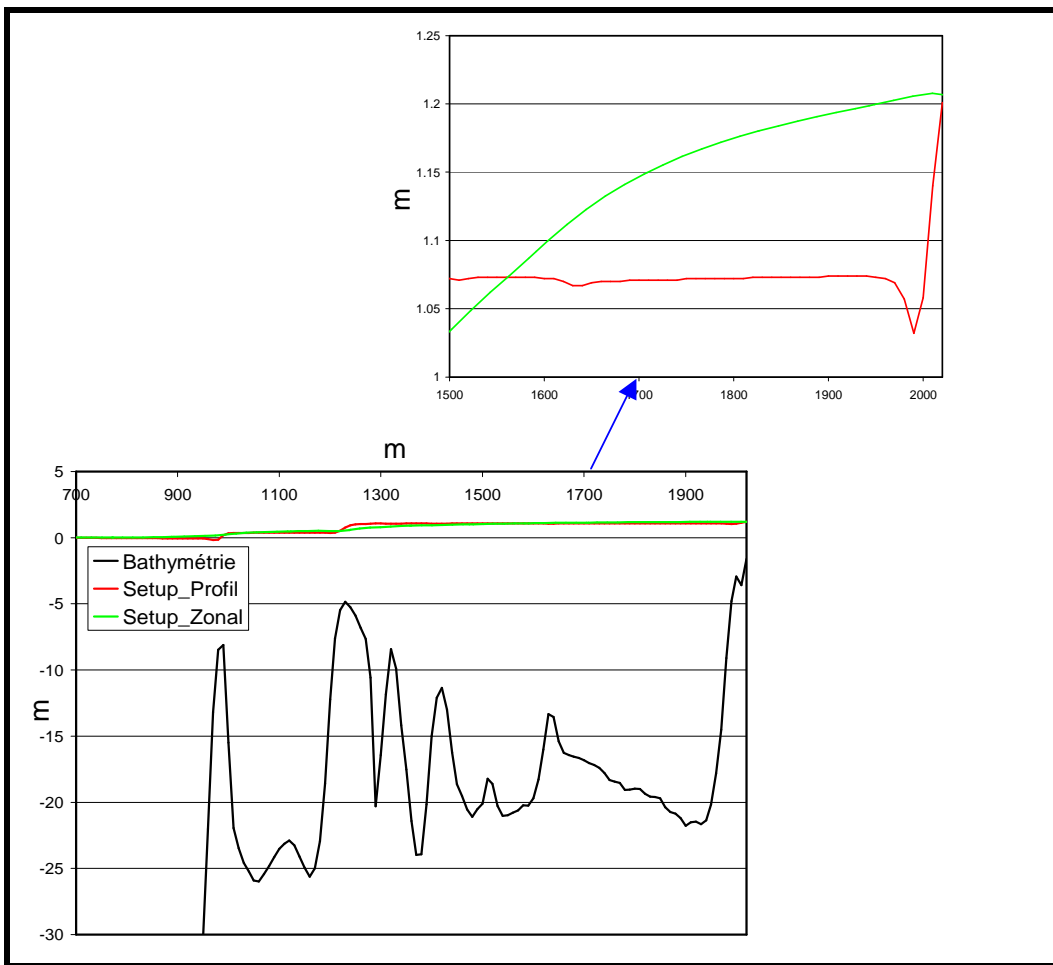


Figure 25 : Comparaisons des surcotes calculées suivant les approches par profil et zonal au niveau de la passe de Taapuna.

5.1.2. Profil au niveau de plateau récifal

La Figure 26 montre là aussi une surestimation du Hs zonal et toujours pour la même raison (une partie des vagues se propage dans le lagon). Cette fois-ci il n'y a pas de déferlement de constaté.

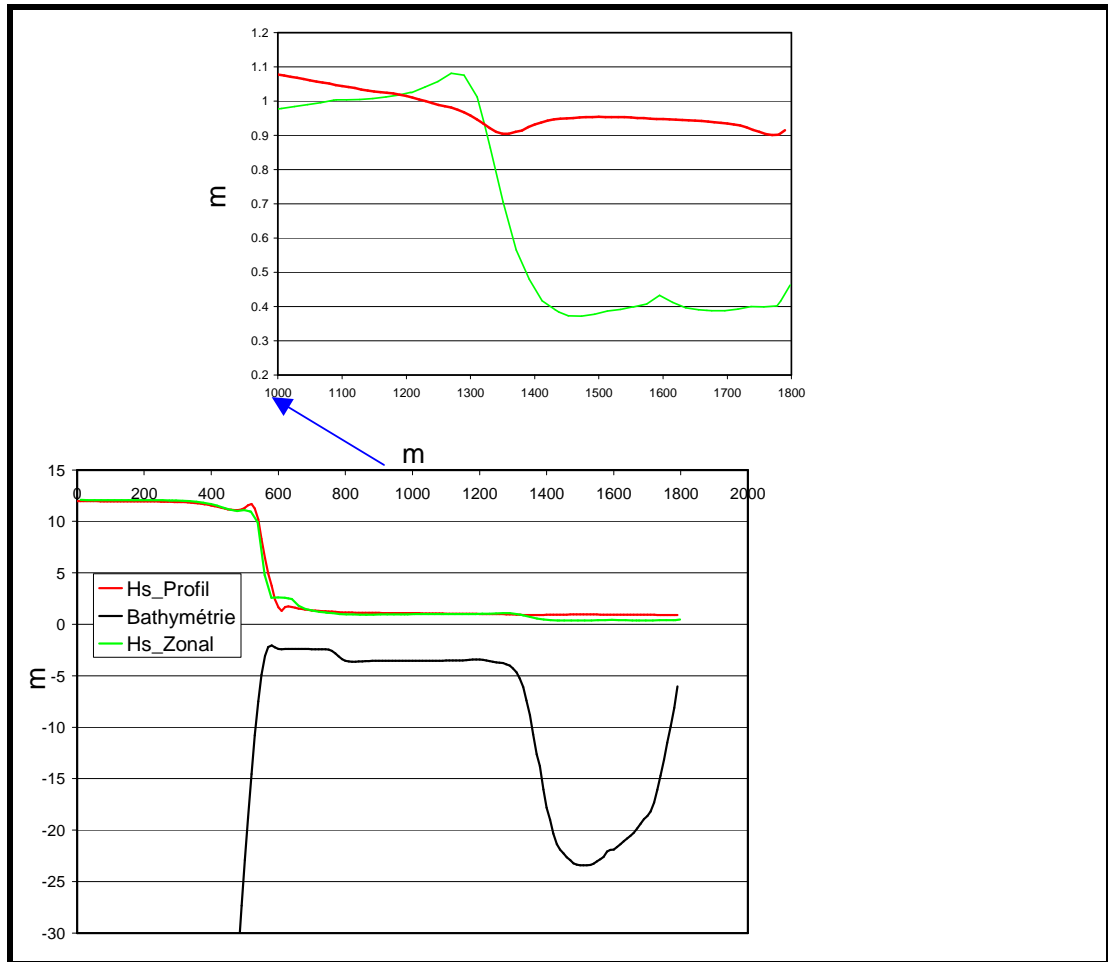


Figure 26 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au niveau du plateau récifal de Taapuna.

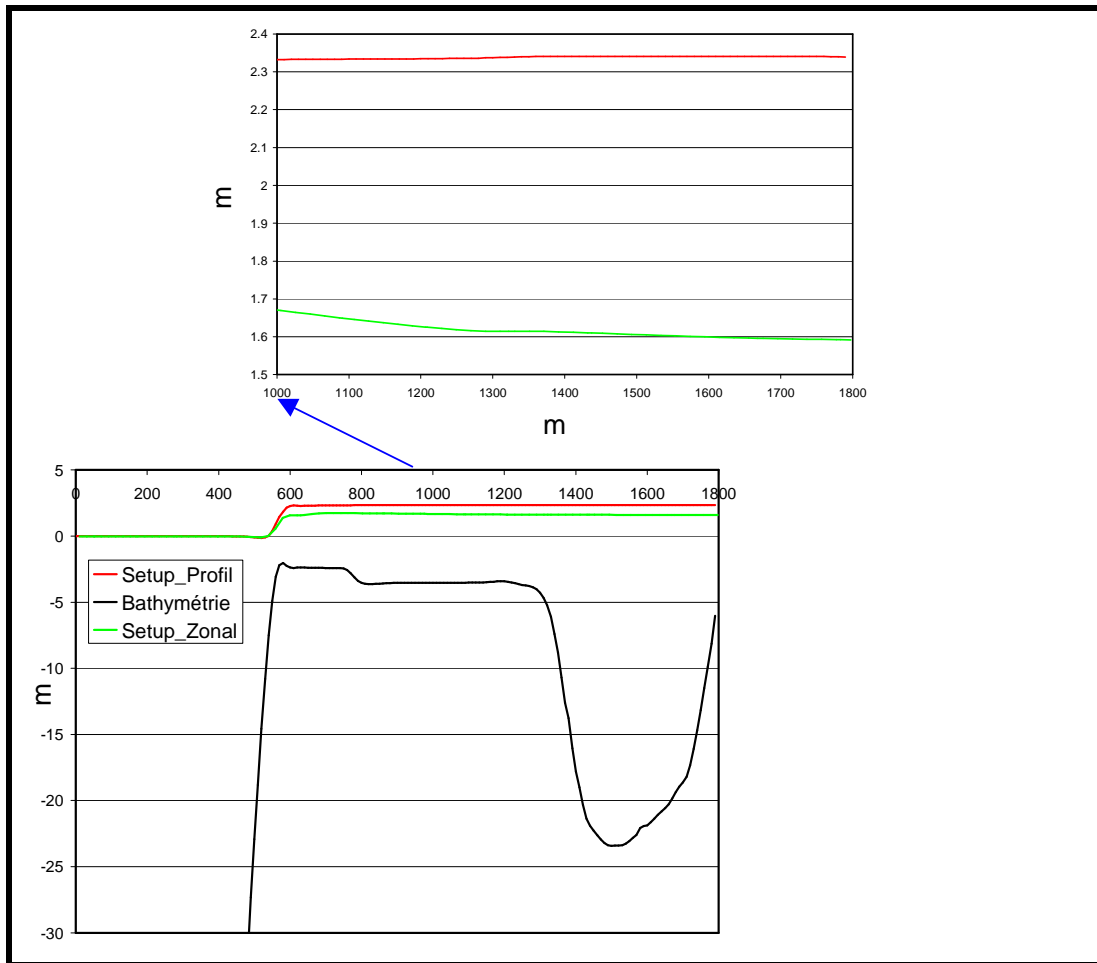


Figure 27 : Comparaisons des surcotes calculées suivant les approches par profil et zonal au niveau du plateau récifal de Taapuna.

La Figure 27 montre une surcote quasi constante à l'intérieur du lagon (pas de deuxième déferlement dans cette zone). La surcote « profil » est largement surestimée, environ **0,71 m**. Elle ignore là aussi que la surcote se répartie sur l'ensemble du lagon.

5.2. TESTS AU NIVEAU D'UNE BAIE - HANAVAVE

Trois cas sont testés au niveau de Hanavave : au centre de la baie, à son extrémité nord et au nord du secteur étudié (zone homogène) (Figure 28).

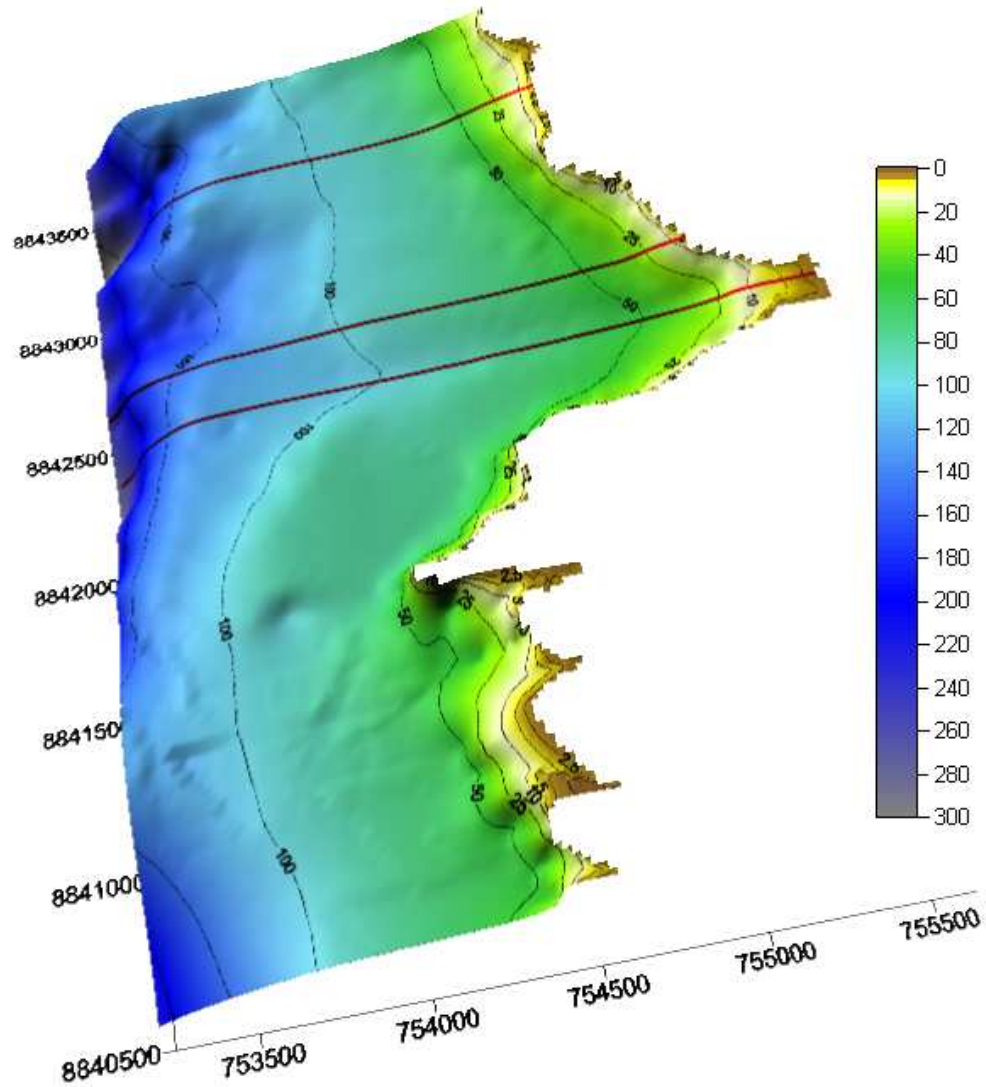


Figure 28 : Positionnement des trois profils testés sur Hanavave.

5.2.1. Centre de la baie

Hs est surestimé selon une constante d'environ 0,25 m après le déferlement.

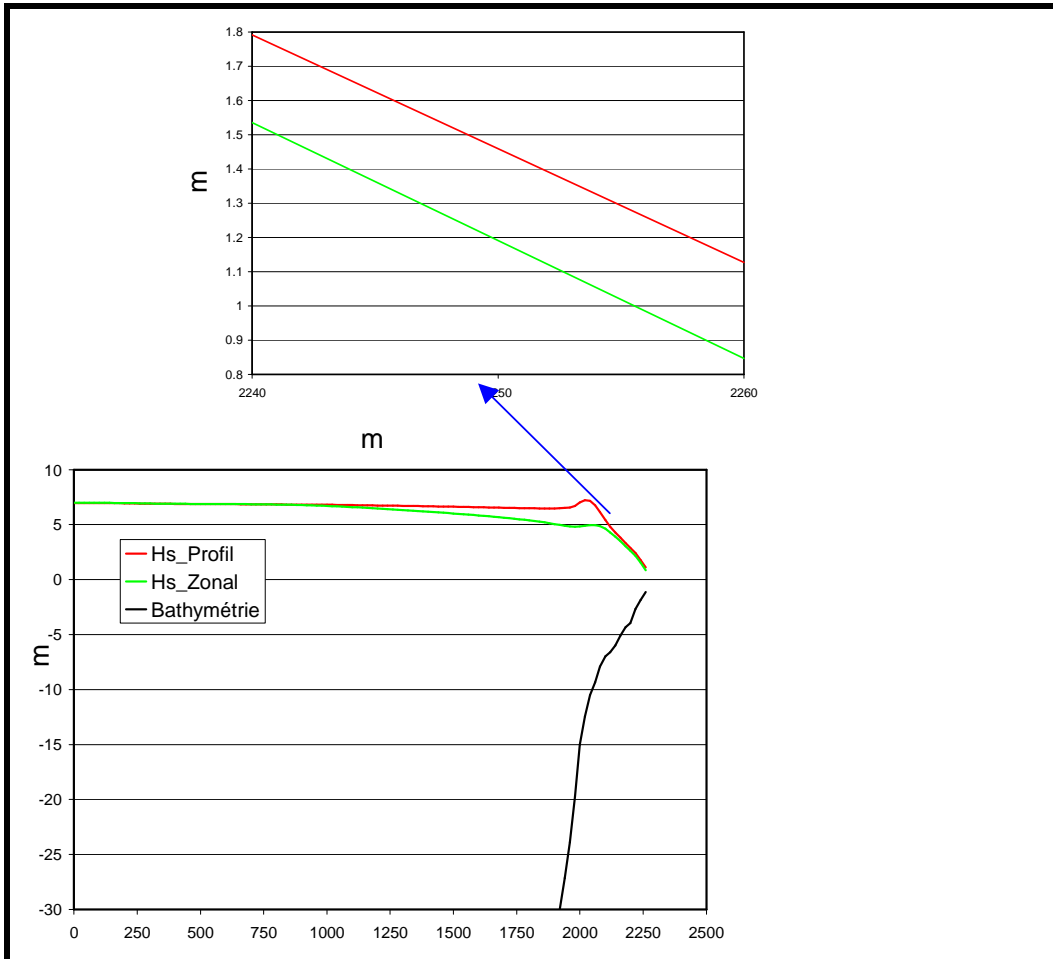


Figure 29 : Comparisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au centre de la baie d'Omoa.

Quant à la surcote, elle est également surestimée de **0,15 m** au rivage. Une partie des vagues est réfractée et s'oriente vers le Nord et Sud de la baie. L'approche selon le profil ne tient évidemment pas compte de ce phénomène. D'où la surestimation.

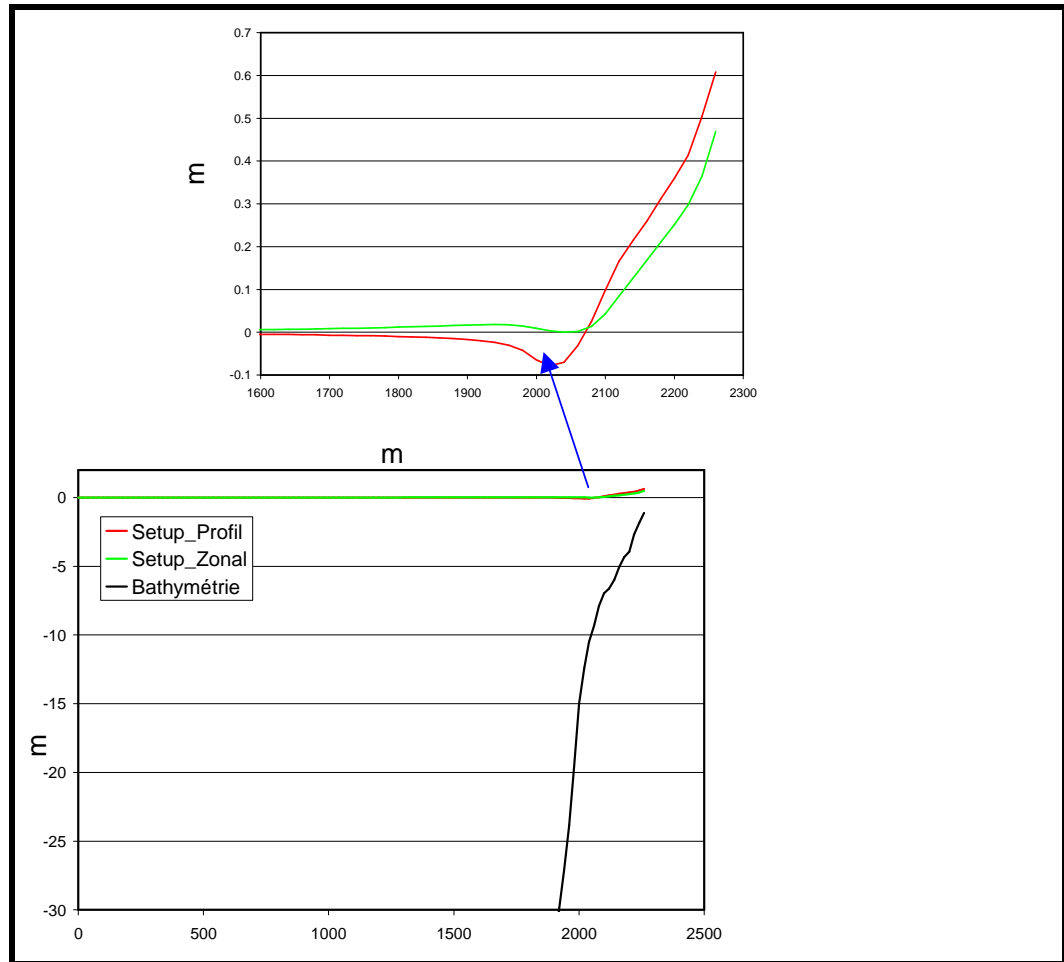


Figure 30 : Comparaisons des surcotes calculées suivant les approches par profil et zonal au centre de la baie de Hanavave.

5.2.2. Extrémité Nord de la baie (zone de convergence)

Ce secteur correspond à une zone de convergence de la houle, c'est pourquoi le H_s zonal est plus élevé. Néanmoins la pente décrite par H_s « profil » à la suite du déferlement.

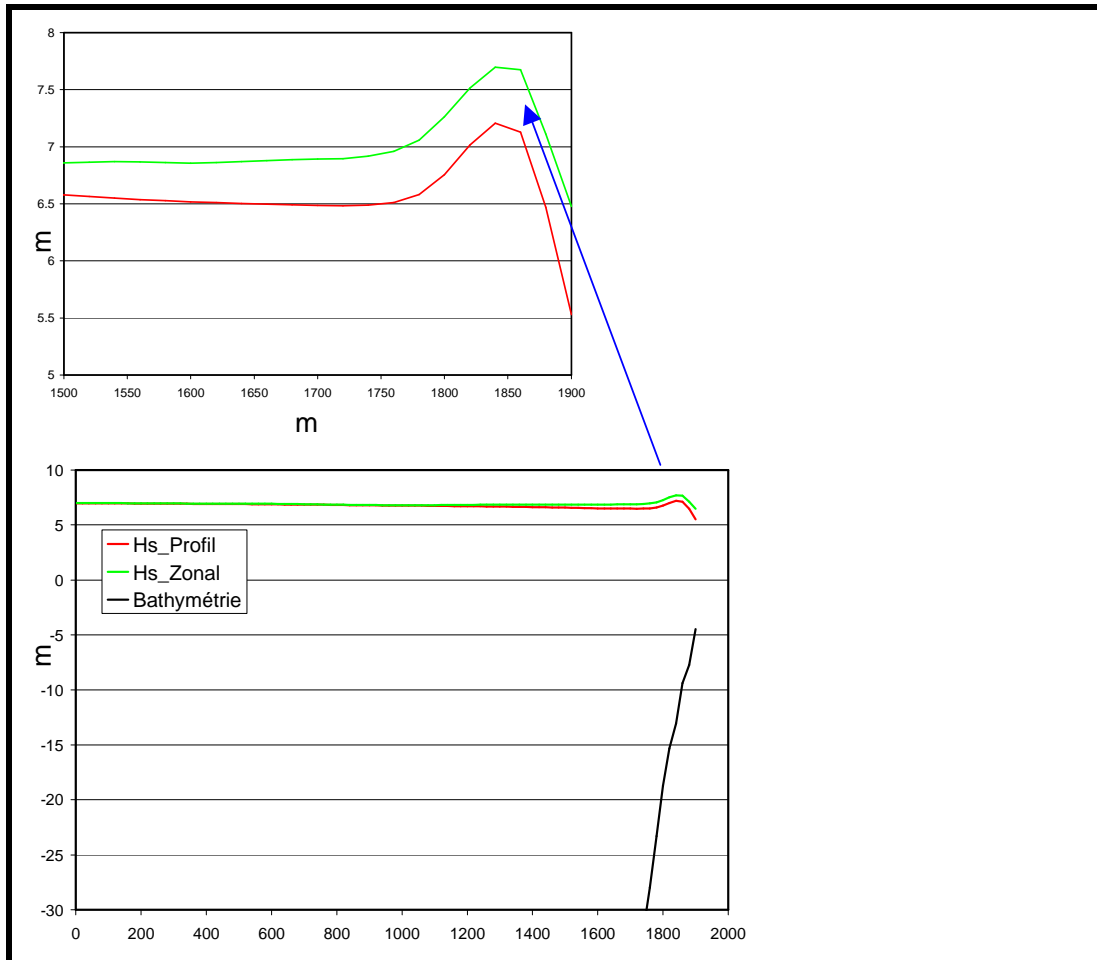


Figure 31 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal à l'extrémité nord de la baie de Hanavave.

C'est pour cette raison que le setup « profil » est légèrement supérieur au setup « zonal » (Figure 32).

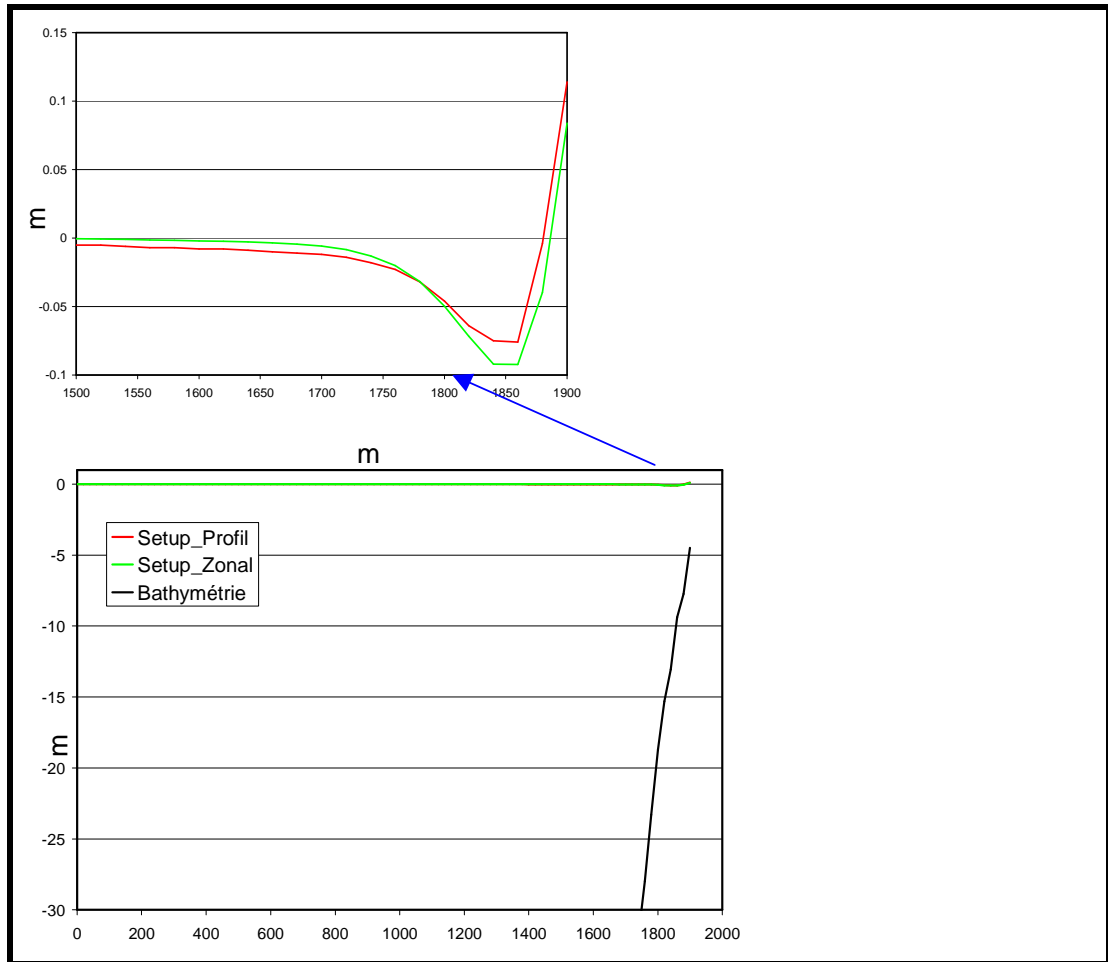


Figure 32 : Comparaisons des surcotes déterminées suivant des approches par profil et zonal à l'extrémité nord de la baie de Hanavave.

5.2.3. Secteur homogène

Pour ce dernier test, nous avons choisi un secteur dont la bathymétrie est homogène latéralement. En théorie les résultats des deux approches devraient être très proches.

Cela est bien confirmé par les Figure 33 et Figure 34.

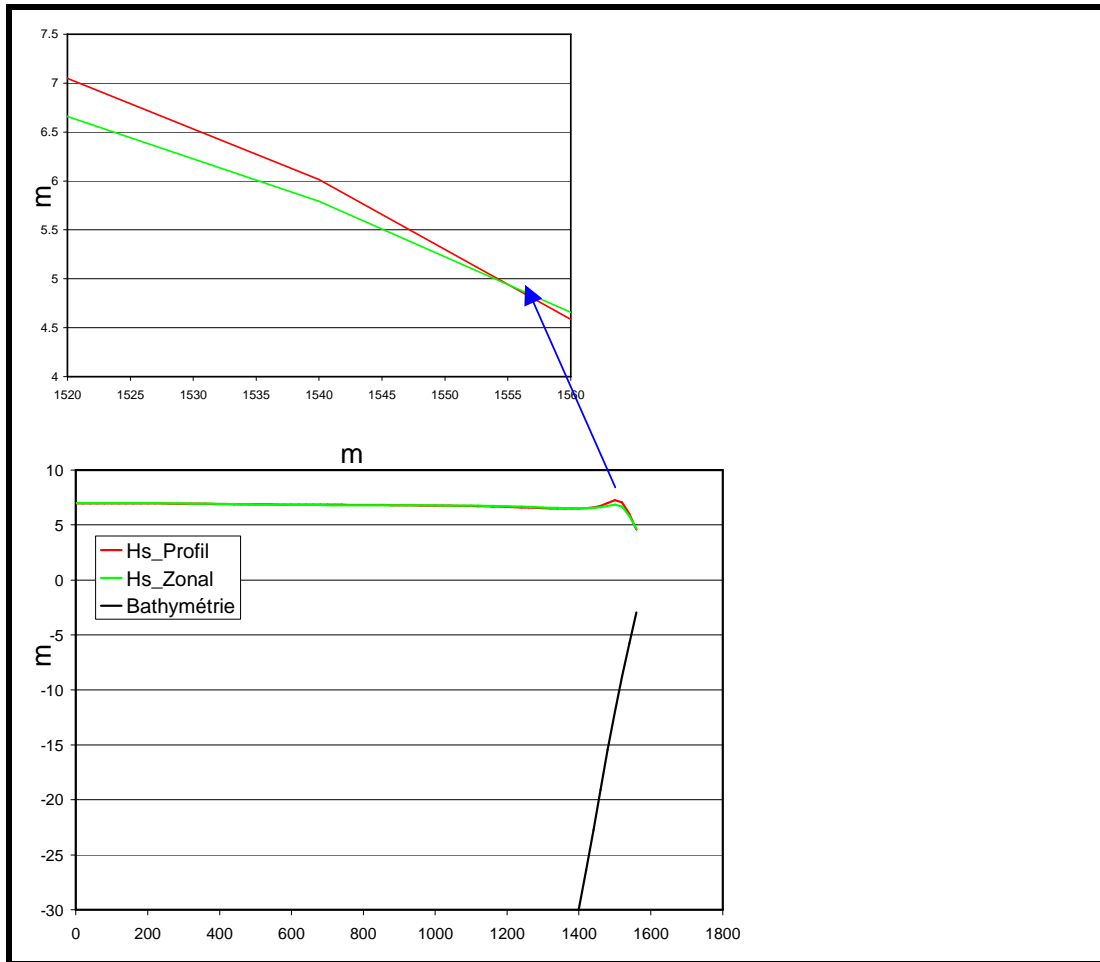


Figure 33 : Comparaisons des Hs déterminés suivant des approches par profil et zonal au nord de Hanavave.

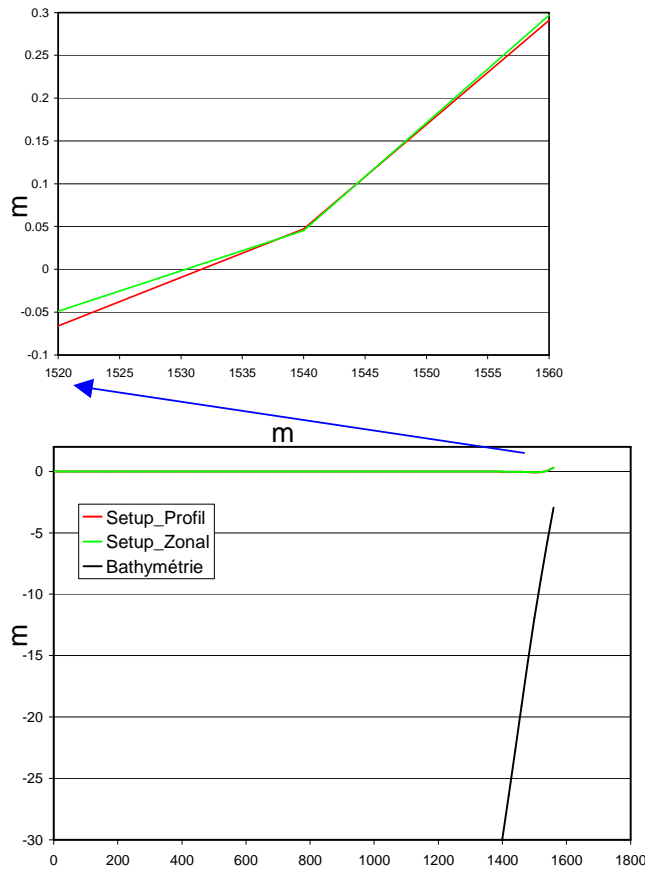


Figure 34 : Comparaisons des surcotes déterminées suivant des approches par profil et zonal au nord de Hanavave

5.3. CONCLUSION

Grâce aux différents tests, il est désormais possible d'estimer une correction à apporter aux surcotes calculées à partir de l'approche profil selon le type d'environnement étudié. C'est ce que montre le tableau ci-dessous :

Environnement	Correction en m à apporter à la surcote « profil »
Passe	0
Lagon	-0,71
Centre baie	-0,15
Zone convergence baie	-0,03
Secteurs homogènes	0

Tableau 2 : Récapitulatif des corrections à apporter aux surcotes calculées à partir de l'approche profil.

6. Conclusions

Les tests effectués ont montré que parmi les deux modèles susceptibles d'être utilisés, couplage REFDIR-SHORECIRC ou SWAN, seul ce dernier était suffisamment robuste pour être appliqué en Polynésie.

Afin d'estimer la consistance des résultats de SWAN, des tests de sensibilité ont été menés en tenant en compte la résolution spatiale du maillage, l'étalement directionnel, le frottement au fond et l'angle d'incidence de la houle.

Dans le cadre d'une évaluation de l'aléa, nous avons pris parti de ne retenir que les paramètres capables d'augmenter la valeur de la surcote par rapport aux simulations de référence, c'est-à-dire la résolution spatiale et l'angle d'incidence de la houle. Aussi pour tenir compte de cette influence, il faudrait ajouter aux résultats des différentes simulations les valeurs suivantes :

- 0,05 m : à l'ensemble des sites dépourvus de lagon
- 0,13 m : aux sites caractérisés par la présence d'un lagon

Des corrections sont également nécessaires en cas d'application d'une modélisation suivant un profil. En fonction du type d'environnement étudié, les tests effectués indiquent les corrections suivantes :

Environnement	Correction en m à apporter à la surcote « profil »
Passe	0
Lagon	-0,71
Centre baie	-0,15
Zone convergence baie	-0,03
Secteurs homogènes	0



**Centre scientifique et technique
Service ARN/ESL**

3, avenue Claude-Guillemin
BP 6009 – 45060 Orléans Cedex 2 – France – Tél. : 02 38 64 34 34