

IV. LES OUTILS DE PROGRAMMATION

Un objet de cette étude est le développement de modèles numériques permettant une reproduction correcte des phénomènes côtiers, en particulier du transport sédimentaire. Les simulations faites dans le cadre de ce programme de LITEAU ont, en conséquence, été réalisées en mettant en œuvre différents codes de calcul. Ils seront présentés séparément dans ce paragraphe.

1. Le code numérique MODHYS

Le code numérique MODHYS a été développé au sein de l'IMFT (Spielmann, 2002) pour analyser les bénéfices que l'on pourrait retirer d'une modification des profils de plage vis-à-vis de l'érosion littorale. Ce modèle permet de prédire l'évolution à court et moyen terme d'un profil de plage, essentiellement dans des conditions hydrodynamiques de moyenne et de forte houle. L'évolution des structures morphologiques comme les barres littorales est relativement bien estimée par cet outil (cf. rapports intermédiaires).

Dans le cadre de ce projet, le but est d'utiliser le modèle MODHYS dans des configurations de bathymétrie propres aux objectifs de la tâche C, partie modélisation. A partir des études conduites sur le site expérimental (Certain, 1999 et 2002), les quatre profils de bathymétrie rechargée définis (fig. 40) et les trois scénarios de forçages pour la houle, typiques des conditions les plus fréquemment rencontrées sur ce site (tabl. 13) ont été utilisés. Les résultats obtenus nous permettront d'analyser le rôle des barres sur l'érosion de la plage.

Le code numérique MODHYS (Spielmann, 2002 ; Spielmann *et al.*, 2004) permet de prévoir l'évolution du profil d'une plage sableuse soumise à l'action de la houle. Il décrit les processus hydrodynamiques et sédimentaires dans un plan vertical perpendiculaire à la ligne de côte.

Le modèle est basé sur la description stationnaire de la propagation de la houle et du rouleau de déferlement ainsi que des courants induits qui en découlent. La réfraction et la dissipation de la houle sont décrites par le modèle de Battjes et Janssen (1978) pour une houle aléatoire à partir des modèles de houle linéaire et cnoïdale au 1^{er} ordre. Le modèle de Nairn *et al.* (1990) amélioré par l'approche de Stive et De Vriend (1994) est retenu pour modéliser le rouleau de déferlement.

Dans le module de courant, la modélisation de la turbulence est effectuée à partir d'un modèle à 0-équation prenant en compte la génération de turbulence par le cisaillement sur le fond induit par le mouvement orbital de la houle et par le déferlement de la houle (Spielmann *et al.*, 1999). Le niveau moyen de la surface libre est ensuite calculé à partir de l'équilibre entre le gradient de pression horizontal et celui des contraintes de radiation induites par la houle et le rouleau de déferlement. L'estimation de la structure verticale de la vitesse horizontale moyenne est basée sur l'équation de la quantité de mouvement stationnaire (moyennée sur une période de houle) où les termes d'advection et de diffusion horizontales sont négligés en raison du caractère dominant de l'injection de turbulence en surface par le déferlement de la houle.

Dans le module sédimentaire, le flux de sédiments prend en compte le flux par charriage et le flux par suspension. Le charriage, induit par la non-linéarité de la vitesse orbitale de houle sur le fond, est estimé à l'aide de la formule de Bailard et Inman (1981) basée sur la houle cnoïdale au 1^{er} ordre. Le flux en suspension est calculé explicitement à partir des profils verticaux de la vitesse horizontale moyenne (module de courant) et de la concentration moyenne de sédiments en suspension, calculée à partir de l'équation de conservation de la masse des sédiments. Plusieurs paramétrisations classiques de la concentration de référence ont été testées ainsi qu'une nouvelle formulation basée sur le cisaillement en surface induit par le déferlement de la houle (Spielmann *et al.*, 2001).

Finalement, l'évolution de la bathymétrie est calculée à partir de l'équation de conservation des sédiments en supposant une porosité nulle.

2. La chaîne de calcul TELEMAT

Les premiers travaux, réalisés par le LEGI, ont consisté en la mise en place d'une procédure quasi-permanente liant les calculs de houle, d'hydrodynamique et de transport sédimentaire, en utilisant le code de calcul TELEMAT (EDF-Chatou). Différentes formules de transport semi-empiriques pouvant être utilisées pour ce code ont été également testées.

La chaîne de calcul TELEMAT constitue un modèle complet utilisant la méthode aux éléments finis et permettant la réalisation de différents calculs hydrodynamiques sédimentaires.

La modélisation de la houle se fait par l'intermédiaire du code ARTEMIS qui résout l'équation de Berkhoff avec intégration des processus de dissipation par déferlement et frottement sur le fond.

La modélisation des courants se fait avec le code TELEMAT2D (résolution des équations de Barré Saint-Venant) et le transport solide est simulé à l'aide du code SISYPHE (résolution de l'équation de conservation de la matière) pour lequel différentes formulations ont été utilisées pour prendre en compte les effets combinés de la houle et du courant de houle sur la remise en suspension et le transport de sédiment.

Il est important de choisir la (ou les) formule(s) de transport la (les) plus appropriée(s) au domaine d'étude afin d'obtenir les résultats les plus réalistes possible. Certaines formules parmi les plus courantes sont déjà intégrées dans le code de calcul (formules de Peter-Meyer, Einstein, Engelund-Hansen, Bijker et Ribberink). On a de plus programmé les formules de Bailard (1981), Van Rijn (1984), et Dibajnia-Watanabe (1992) qui sont plus adaptées au transport sédimentaire sur le littoral (interaction houle-courant). Une étude et des conclusions sur ces formules ont fait l'objet d'un article dans *Journal of Coastal Engineering* (Camenen & Larroudé, 2003).

On a utilisé également un modèle morphodynamique Multi-1DH adapté au cas des plages sableuses. L'intérêt de ce modèle vient de l'intégration des effets du courant de retour, jouant un rôle primordial dans la construction de la barre de déferlement. L'évolution des fonds est ensuite calculée en imposant comme contraintes hydrodynamiques le courant de dérive littorale, selon la formule de Longuet-Higgins (1970) et le courant de retour (modèle basé sur l'approche de Svendsen, 1984). Le processus est répété à chaque fois que la variation des fonds est susceptible de

modifier l'hydrodynamique. Ainsi, la construction de la barre pr littorale, sa propagation du fait du courant "longshore" et les perturbations de la barre (chenaux des courants d'arrachement) sont calcul es simultanément. Ce modèle permet ainsi de simuler la création de barres mais également leur migration et l'évolution des fonds à des échelles temporelles suffisamment longues ; ce qui a été fait sur le site de Sète à l'échelle du moyen terme.

V. LES RESULTATS

Tous les scénarios décrits dans ce qui précède (cf 3.3 Organisation des essais p. 69) n'ont pas été simultanément étudiés à l'aide des codes numériques présentés. Des limitations propres à chacun d'eux ont pu nuire à la réalisation des essais dans tel ou tel cas (par exemple une augmentation de 0,125 m à 0,25 m de la bathymétrie ne présente pas forcément une élévation significative pour chaque modèle). On présente donc dans ce qui suit, les résultats obtenus par cas d'étude en fonction des essais ayant abouti à un résultat significatif.

1. Paramétrage des cas étudiés

1.1. Avec le code MODHYS

Les résultats obtenus avec le modèle sont analysés en terme d'hydrodynamique et de transport sédimentaire à un instant donné d'une part et en terme d'évolution de la bathymétrie durant 24h d'autre part (pas de temps de 2 min), pour les cas d'étude envisagés.

Comme le modèle de houle retenu est celui d'une houle aléatoire en hauteur (Battjes et Janssen, 1978), tous les calculs liés à la houle sont basés sur H_{rms} (hauteur quadratique moyenne de houle) sachant que : $H_{rms} = H_s / \sqrt{2}$

Le tableau 14 résume les paramètres et les données (entrées du modèle) utilisés pour les différentes simulations.

Entrées		Paramètres du modèle	(voir Spielmann, 2002)
$H_{rms,0}, T, \theta_0=0^\circ$	valeurs fixées (3 cas)	ε_b	0,42
$d(x, t_0)$	P5 au 16.11.00 + « cas dérivés »	α_c	10^{-5}
ρ	1027,25 kg/m ³	α_d	0,1
ρ_s	2650 kg/m ³	n_x, n_z	200, 100
D_{50}	1,6 10 ⁻⁴ m	Δt	2 min

Tabl. 14 : Paramétrisation pour le code MODHYS

Les « cas dérivés » sont les profils précédemment présentés correspondant aux quatre tâches du projet Liteau. Pour la tâche C2 où 20 profils dérivés ont été réalisés, nous présenterons une synthèse de l'étude menée à travers les cas les plus pertinents. Enfin, les trois forçages de houle envisagés ne sont étudiés que pour le profil de référence.

1.2. Avec la chaîne de calcul TELEMAT

Le modèle multi1DH a été utilisé pour prendre en considération comme état de base un profil de la bathymétrie du 16 novembre 2000 (cf. 3.3 Organisation des essais), le profil P5 à $x = 200\text{m}$ (distance longshore par rapport au début de la zone d'étude), situé au centre de la zone. Cette approche permet de comparer plus facilement les modèles de calcul utilisés par les différents partenaires du programme. Pour ces simulations on a considéré (comme tous les autres contributeurs au programme) trois cas de conditions climatiques (Tabl. 13 et 16): Tempête classique (TC), Tombant de tempête (TT) et Tempête exceptionnelle (TE). Nous avons également fait quelques calculs avec la chaîne de code Artemis-Telemac2d-Sisyphé.

Une seconde approche a consisté à effectuer des simulations mensuelles prenant en compte les conditions météorologiques réelles observées sur le terrain à l'aide de la chaîne TELEMAT. Ces conditions météorologiques sont tirées des données de la période du mois de novembre 2000 et sont simplifiées en termes de hauteur de houle, période de houle et direction en divisant le mois en 9 périodes significatives (Tabl. 15 et Fig. 41). On peut remarquer que la moyenne de la hauteur des houles au large au cours de chaque période a atténué les événements météorologiques de ce mois de novembre (voir Fig. 41 les courbes de Hs réelles et Hs utilisées pour la simulation).

temps (s)	Hs (m)	Ts (s)	Θ (°)
162000	0,244	7,45	25,475
302400	1,703	7,92	27,861
680400	0,351	7,13	28,094
896400	1,787	6,76	6,065
1598400	0,222	6,20	3,970
1738800	1,358	6,78	14,900
2127600	0,251	7,03	14,330
2386800	1,259	6,27	-5,000

Tabl. 15 : Données météorologiques simplifiées : novembre 2000 (θ : angle en degrés dans le sens trigonométrique inverse par rapport à la normale à la plage)

Tous les résultats montrés et discutés dans les paragraphes utilisant la chaîne TELEMAT ont été effectués avec la formule de transport de Bijker. Nous ferons un commentaire, dans la discussion relative aux limites des modèles, sur les différences que l'on peut obtenir en fonction de la formule de transport utilisée.

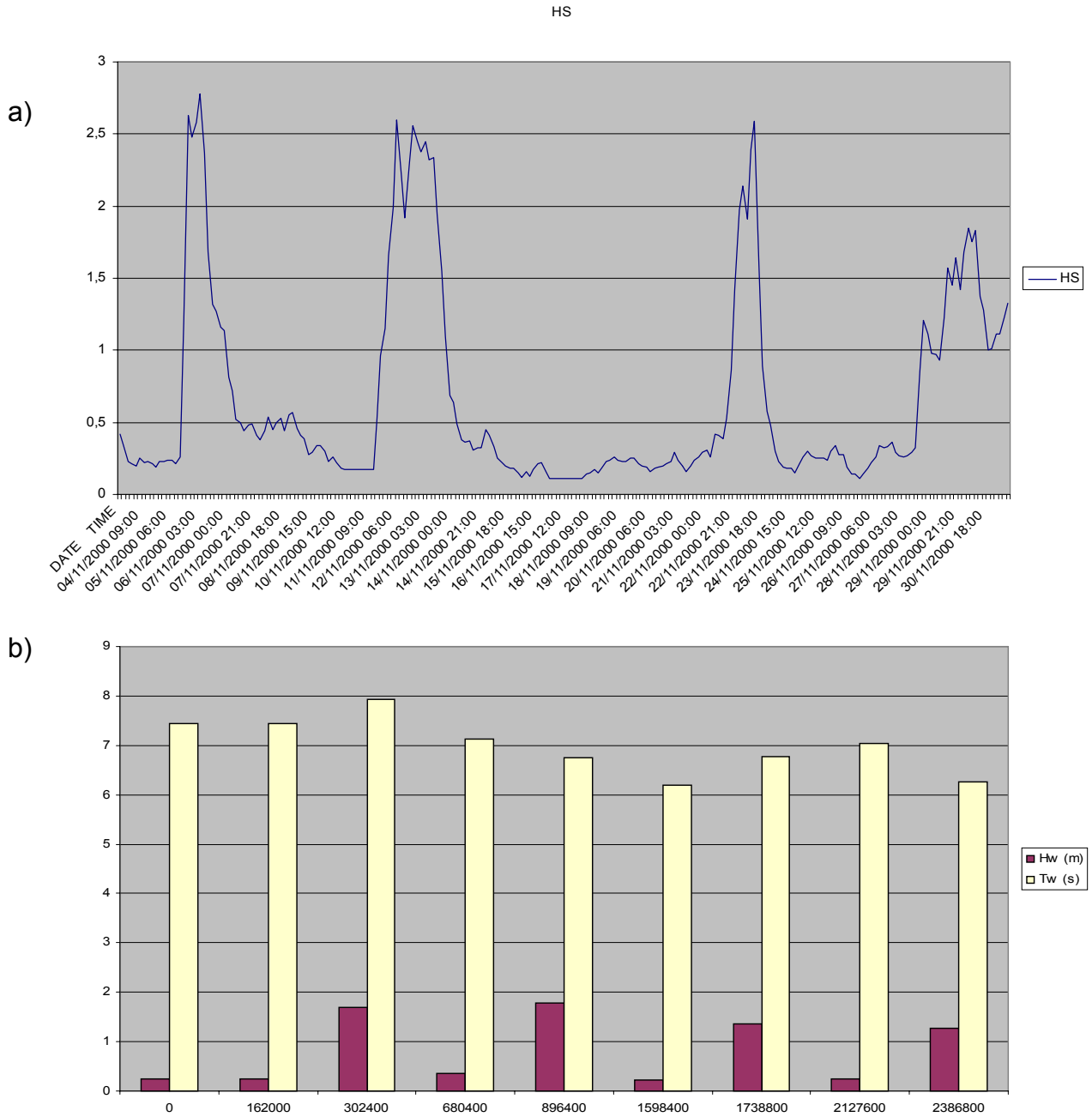


Fig. 41 : (a) Météo réelle du mois de novembre 2000 (Hs) et (b) modèle météo simplifié Hs et Ts

	temps	Hs	Ts	Θ (°)
TT	24 h	1 m	6,5 s	0° et 20°
TC	24 h	2,5 m	7 s	0° et 20°
TE	24 h	4 m	10 s	0° et 20°

Tabl. 16 : Données météorologiques simplifiées pour les trois cas de tempête (Θ : angle en degrés dans le sens trigonométrique inverse par rapport à la normale à la plage).

2. Tâche C0 : cas de référence

L'objectif de cette tâche C0 est de valider les modèles numériques en simulant l'évolution morphologique de la zone d'étude à l'état naturel et en comparant avec les mesures effectuées in-situ. Cette première étape de l'étude consistera surtout à obtenir un état de référence pour les autres modélisations. Dans ce paragraphe, les résultats obtenus pour les tempêtes « classiques » de novembre 2000 sont présentés. Les résultats obtenus pour les simulations de tempête exceptionnelle et tombant de tempête seront décrits dans le paragraphe suivant (cf 3. Tâche C0 : les deux autres régimes de houle p. 84).

2.1. Selon MODHYS

Nous nous intéressons tout d'abord aux résultats obtenus à partir du profil initial (profil 5 du 16 novembre 2000 – Fig. 42d) soumis à la tempête « classique » ($H_s=2,5$ m ; $T=7$ s et $\theta =0^\circ$). Une étude préalable nous a permis de mettre en évidence que l'intensité du courant de retour a une faible incidence sur la distribution de flux de sédiments le long du profil de plage qui est très principalement dépendante de la valeur de la concentration de sédiments au fond. Nous n'analyserons donc pas les profils verticaux de courant de retour ni ceux de concentration de sédiments, préférant discuter les concentrations au fond et les flux de sédiments.

2.1.1. Hydrodynamique et transport sédimentaire

La figure 42 présente l'évolution le long du profil de plage de la hauteur de houle, des taux de dissipation de la houle et du rouleau de déferlement, du niveau moyen de la surface libre (NMSL) et de la bathymétrie.

Tâche C0 : profil initial - tempête classique.

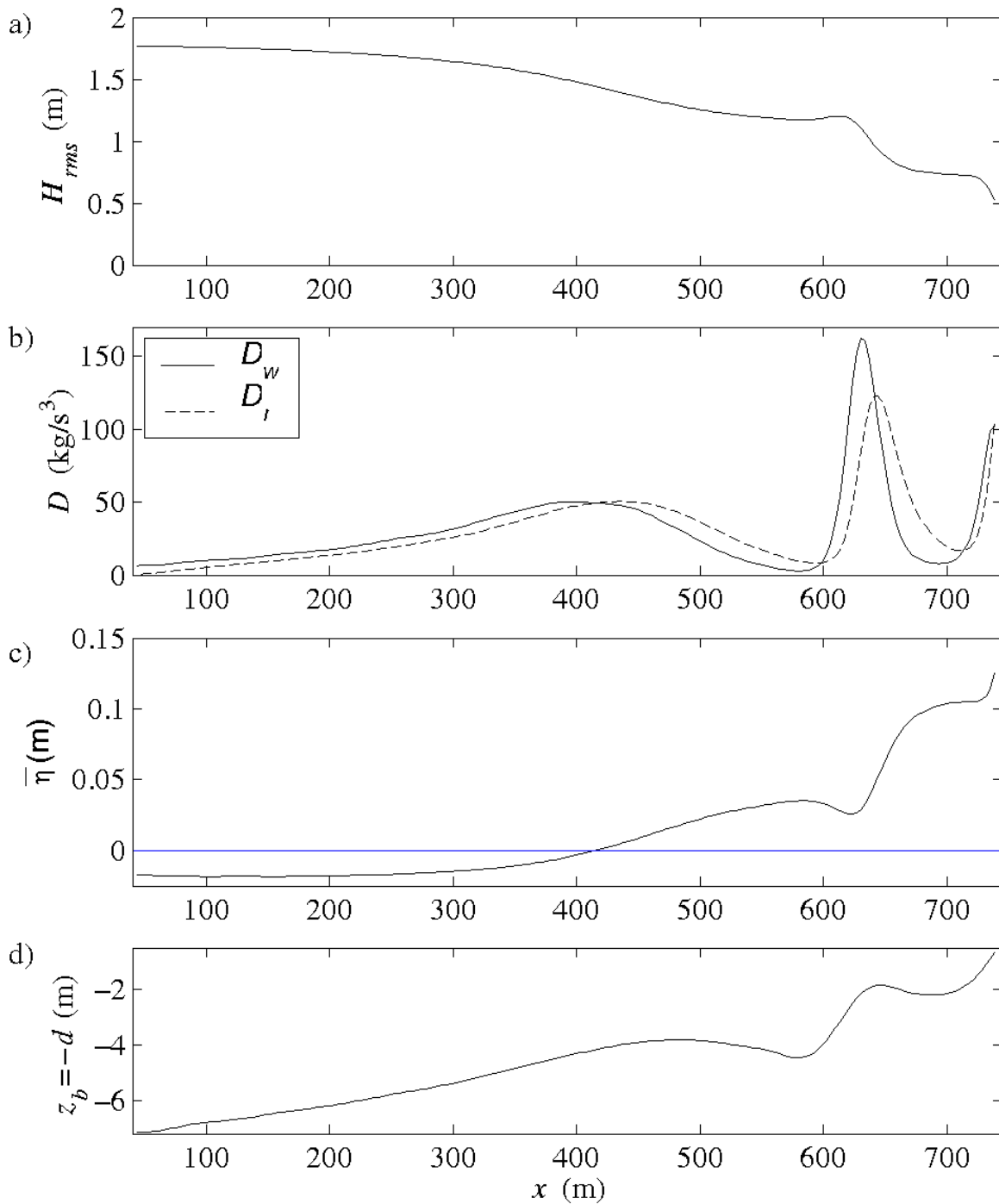


Fig. 42 : Profils de (a) hauteur de houle $H_{rms}(x)$, (b) taux de dissipation de l'énergie de la houle (—) $D_w(x)$ et du rouleau de déferlement (- -) $D_r(x)$, (c) niveau moyen de la surface libre NMSL $\bar{\eta}(x)$, (d) fond initial du 16 novembre 2000 (P5).

La hauteur de houle (Fig. 42a) diminue dès le large jusqu'à la fosse externe pour ensuite augmenter jusqu'au maximum de la barre interne. La hauteur chute alors brutalement avant d'atteindre la fosse interne à partir de laquelle elle est quasiment constante. A l'approche de la ligne de côte, on note une deuxième décroissance importante de la hauteur de houle mais sa valeur reste néanmoins élevée au dernier point de bathymétrie, environ 0,5 m pour une profondeur de 0,66 m. Cette monotonie est confirmée par la variation du taux de dissipation de l'énergie de la houle le long du profil (Fig. 42b). En effet, il présente trois maxima relatifs, le premier correspondant à la barre externe dont l'incidence sur la hauteur de houle est faible, un deuxième maximum très marqué au niveau de la barre interne avec une valeur maximale importante ($\approx 160 \text{ kg/s}^3$) et enfin un troisième maximum également important au voisinage de la côte dont la valeur maximale est difficile à estimer. On note ici que la dissipation sur la barre externe est faible (moins du tiers de celle observée sur la barre interne) et n'a qu'une faible incidence sur la variation de la hauteur de houle. La barre externe joue donc un rôle modeste sur la dissipation de la hauteur de houle dans des conditions hydrodynamiques telles que $H_s=2,5 \text{ m}$, dont l'énergie à l'approche de la barre interne et de la côte reste élevée. On peut noter que le maximum de dissipation s'effectue sur le revers des barres et non au niveau des crêtes.

Le niveau moyen de la surface libre (Fig. 42c) présente des variations significatives au niveau de la barre interne pour atteindre une valeur de l'ordre de 12 cm au voisinage de la côte. Rappelons que l'on peut s'attendre à une érosion de la plage plus importante pour des valeurs élevées du niveau moyen de la surface libre.

Le profil de concentration de sédiments au fond, $\bar{C}_a(x)$, (Fig. 43a) est caractérisée par une forte influence de la barre interne avec un maximum de l'ordre de 40 kg/m^3 , en raison du fort taux de dissipation du rouleau de déferlement (Fig. 43b) à cet emplacement ($\bar{C}_a(x)$ varie en effet selon $D_r(x)$ au cube). La barre externe n'induit qu'une très faible augmentation de $\bar{C}_a(x)$. Le flux total de sédiments (Fig. 43b) suit la même variation le long du profil que $\bar{C}_a(x)$. Le flux par suspension est 10 fois plus élevé que le flux par charriage : le flux total est donc principalement gouverné par la suspension avec un gradient très important en aval comme en amont de la barre interne (Fig. 43c).

En conclusion, deux comportements principaux vont régir l'évolution du fond dans des conditions hydrodynamiques telles que $H_s=2,5 \text{ m}$. D'une part, la barre externe joue un rôle modeste tant sur les variations de la hauteur de houle que sur le flux de sédiments et d'autre part, le transport de sédiments s'effectue principalement de la côte vers le large au niveau de la barre interne.

Tâche C0 : profil initial - tempête classique.

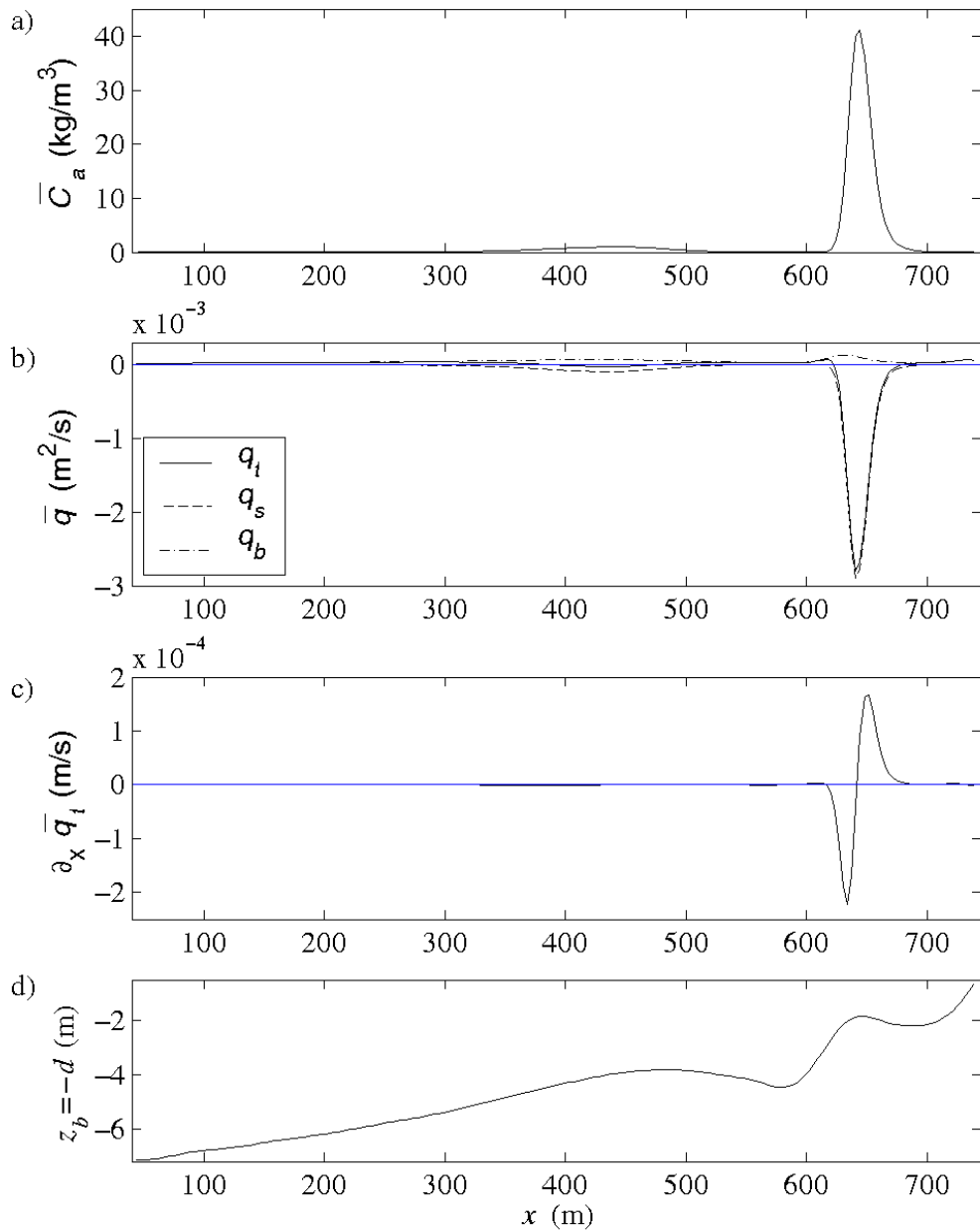


Fig. 43 : Profils de (a) concentration de référence au fond $\bar{C}_a(x)$, (b) flux de sédiment (- -) par charriage $\bar{q}_b(x)$, (- -) par suspension $\bar{q}_s(x)$ et (—) total $\bar{q}_t(x)$, (c) gradient horizontal du flux total de sédiment $\partial_x \bar{q}_t(x)$, (d) fond initial du 16 novembre 2000 (P5).

2.1.2. Evolution du fond

Si l'on analyse maintenant l'évolution du fond (Fig. 44), les principaux mouvements de sable s'effectuent au cours de la 1^{ère} heure, en raison du fort gradient du flux total de sédiments mis en évidence précédemment. La barre interne est alors fortement érodée et décalée vers le large comme prévu par les observations de terrain, mais présente une forme différente avec un profil peu étalé selon l'horizontale.

Tâche C0 : profil initial - tempête classique.

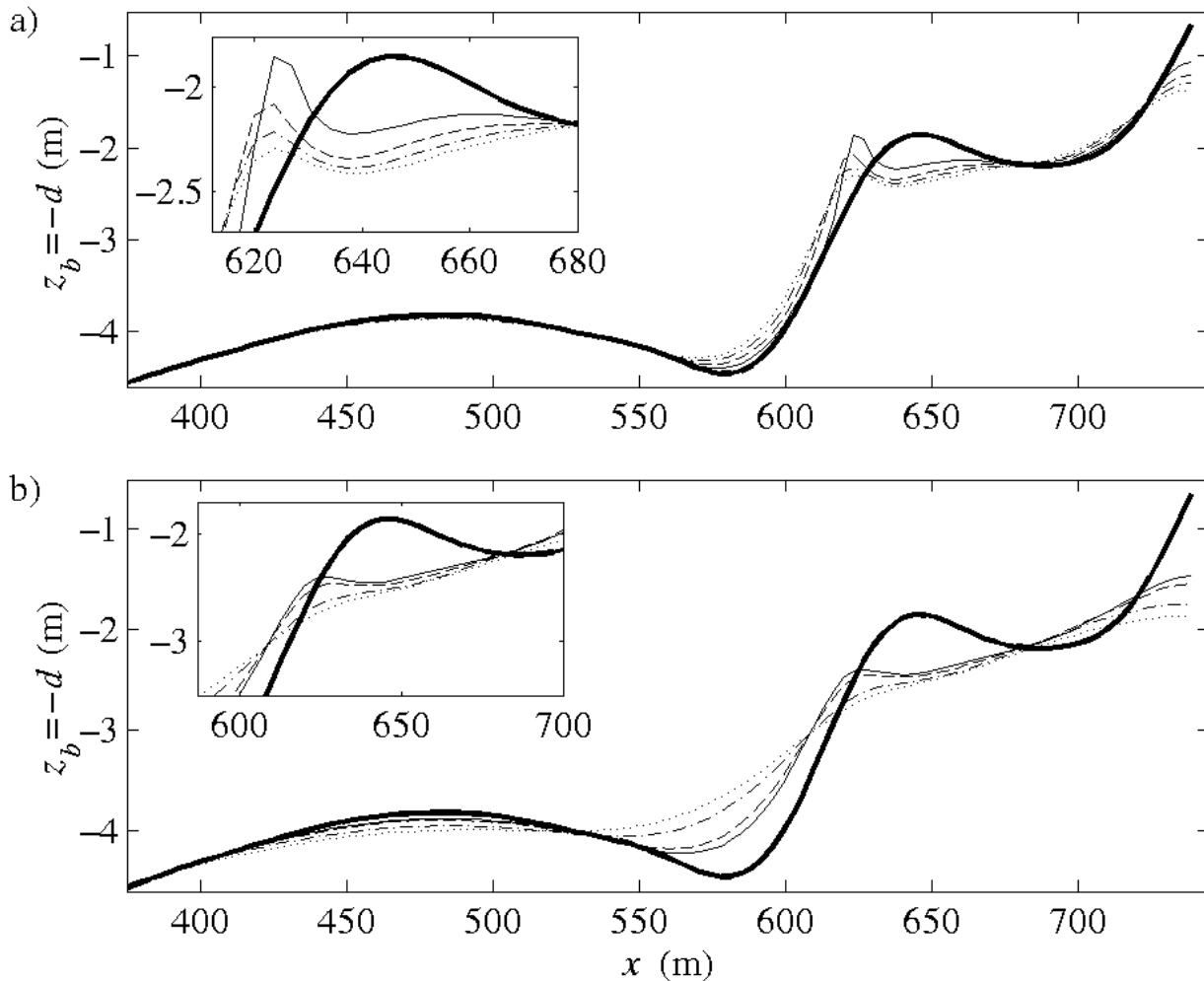


Fig. 44 : Evolution du profil de bathymétrie initiale (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1$ h, (- -) $t=2$ h, (-·-) $t=3$ h, (...) $t=4$ h, (b) (—) $t=6$ h, (- -) $t=8$ h, (-●-) $t=16$ h, (...) $t=24$ h.

Ceci est dû aux fortes valeurs du gradient de flux de sédiments (Fig. 43c), concentrées entre $x \approx 620$ m et $x \approx 645$ m. La fosse externe subit en même temps une faible accrétion alors que la barre externe n'est soumise à aucune modification significative. La fosse interne est alors partiellement comblée. En outre, dans la partie du profil situé au voisinage de la côte, une forte érosion est observée avec une diminution de la profondeur de l'ordre de 50 cm. A la 2^{ème} heure, on note un faible décalage de la barre interne vers le large avec essentiellement une diminution de sa hauteur. Les fosses interne et externe se comblent davantage. A partir de la 3^{ème} heure, la barre interne reste stabilisée à la même position tout en diminuant en hauteur pour finalement être totalement érodée au bout de 24 heures. On note une très faible érosion de la barre externe dès la 4^{ème} heure, érosion qui augmente au fur et à mesure de la simulation. Il y a simultanément accrétion des deux fosses et disparition de la forte pente de la partie du profil voisine de la côte.

En conclusion, nous avons pu mettre en évidence que c'est essentiellement de la barre interne jusqu'à la partie du profil voisine de la côte que les changements de bathymétrie sont les plus importants. Ces modifications aboutissent à une érosion de la plage émergée, résultat en parfait accord avec l'importante énergie de houle relevée au dernier point du profil et le fort transport de sédiment de la côte vers le large dans cette même zone. Cependant, le modèle ne permet pas d'obtenir une évolution réaliste du profil de plage puisque l'on obtient un profil quasiment plan au bout de 24 heures de simulation : les échelles de temps caractéristiques d'évolution du fond semblent surestimées, comportement mis en évidence lors d'études antérieures (Spielmann, 2002).

2.2. Selon le code TELEMAC

La tâche C0 consiste à faire des simulations moyen terme (de la journée au mois) à partir de la bathymétrie de base. Les résultats ont été obtenus en utilisant les codes couplés ARTEMIS-TELEMAC2D-SISYPHE et spécialement en améliorant le traitement des conditions aux limites afin de pouvoir travailler sur des domaines de calcul compatibles avec les conditions de la zone côtière et équivalents en dimension pour les trois codes. Nous avons aussi utilisé le code Multi1DH pour ces simulations « moyen terme ».

On obtient une bonne adéquation entre les bathymétries numériques après un mois et celles relevées sur le terrain (voir Fig. 45 a, b, c, et d).

Dans les simulations TC (tempête classique), on constate que les houles érodent la barre interne mais ne semblent pas attaquer de façon significative la plage et la barre externe. Seule une érosion à plus long terme de la barre interne peut être préjudiciable au maintien de plage.

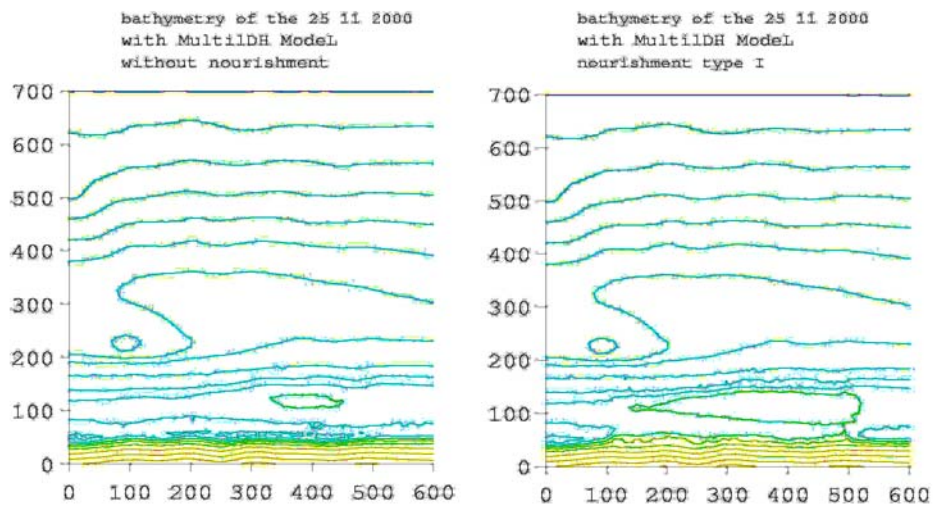


Fig. 45 : Résultats de simulations mensuelles du 04/11 au 25/11/2000 (a & b : données de terrain), le 25 11 2000 (c : modèle 2dh & d : modèle multi1dh) et avec ou sans engraissement (e & f) Plage de la Corniche, France.

3. Tâche C0 : les deux autres régimes de houle

3.1. Selon MODHYS

On présente ici les résultats relatifs aux deux autres scénarios de houle envisagés ; seule l'incidence normale à la ligne de côte a été traitée ($\theta = 0^\circ$) :

1. **TE** : la tempête exceptionnelle : $H_s=4$ m et $T=10$ s,
2. **TT** : le régime de « tombant de tempête » : $H_s=1$ m et $T=6,5$ s.

Les résultats obtenus pour la TC (voir plus haut) seront appelés « cas de référence ». Pour une meilleure lisibilité des figures 46 et 47 ces résultats obtenus pour TC sont rappelés sur les graphiques qui synthétisent par conséquent les résultats obtenus pour les trois scénarios de houle.

3.1.1. La tempête exceptionnelle

L'évolution de la hauteur de houle obtenue est très proche de celle obtenue dans le cas de référence (Fig. 46a). La seule différence notable se situe au large, où une forte décroissance de la hauteur est observée. Ce phénomène est confirmé par le profil du taux de dissipation de l'énergie de la houle (Fig. 46b) qui présente une valeur très élevée au large (≈ 400 kg/ s³) qui diminue jusque dans la fosse externe, point à partir duquel il devient égal à celui du cas de référence. Ce comportement est en parfait accord avec les observations *in situ*. On note que la barre externe joue un rôle encore plus faible que pour la tempête classique, la majeure partie de la dissipation se produisant avant la passage de la barre. Quant au profil du niveau moyen de la surface libre, il présente des valeurs beaucoup plus élevées que celles obtenues pour le cas de référence avec une pente très marquée. Vers la plage, ceci aboutit à une surélévation du niveau de la mer de l'ordre de 23 cm, ce qui entraînera une érosion très importante du littoral.

Tâche C0 : profil initial - trois régimes de houle.

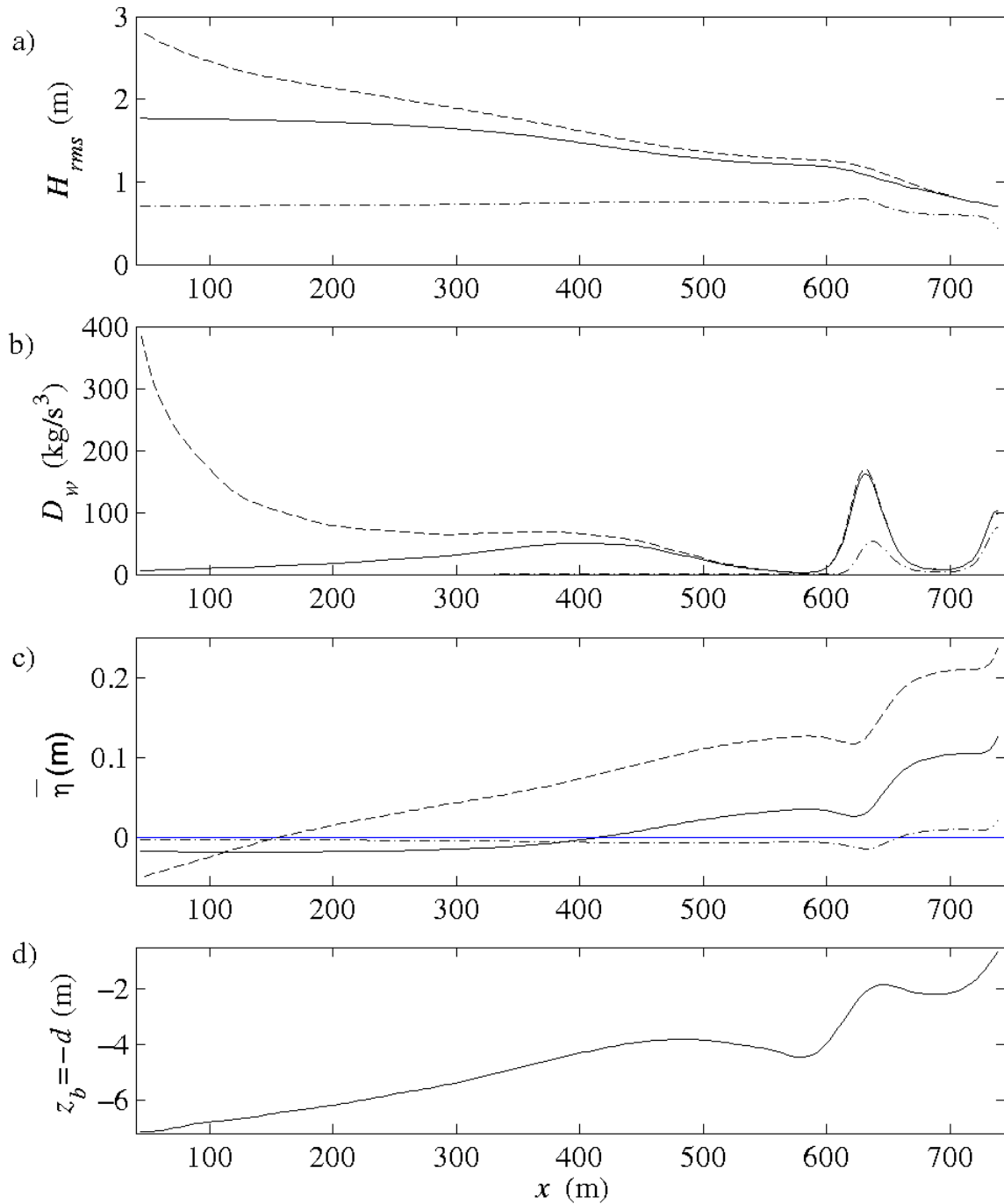


Fig. 46 : Profils de (a) hauteur de houle $H_{rms}(x)$, (b) taux de dissipation de l'énergie de la houle $D_w(x)$, (c) niveau moyen de la surface libre NMSL $\bar{\eta}(x)$, obtenus à partir des trois régimes de houle (—) TC, (- -) TE et (-•-) TT, (d) fond initial du 16 novembre 2000 (P5).

D'un point de vue sédimentaire (Fig. 47), les profils obtenus tant pour la concentration de référence que pour le flux de sédiments confirment les tendances relevées sur l'hydrodynamique : la différence se situe au large avec une concentration de sédiments importante (Fig. 47a), ce qui aboutit à un fort transport de sédiments vers le large avec un maximum de $-3 \text{ m}^2/\text{s}$ en $x \approx 100 \text{ m}$ (Fig. 47b). Ce comportement est là aussi cohérent avec les mesures expérimentales puisque de forts courants vers le large sont enregistrés à 6 m de profondeur. En aval de la fosse externe, le comportement devient analogue à celui rencontré pour le cas de référence avec seulement une valeur plus élevée tant pour $\bar{C}_a(x)$ que pour $\bar{q}_t(x)$. Finalement, le gradient de $\bar{q}_t(x)$, plus fort au niveau de la barre interne avec des pentes équivalentes, présente des variations importantes au large.

L'évolution du fond (Fig. 48) est quasiment la même que celle obtenue pour le cas de référence de la fosse externe à la partie du profil voisine de la côte où seul un décalage à peine plus fort de la barre interne vers le large dès la 1^{ère} heure de simulation peut être relevé. La différence réside dans le comportement au large où une fosse qui se creuse au fur et à mesure de la simulation.

Il semble important de noter que la hauteur de houle envisagée pour cette simulation ne semble pas très réaliste. En effet, lors de ces fortes tempêtes induites par un vent de SE, en plus d'une houle importante, il y a élévation du niveau moyen de la surface libre connu sous le nom de « surcote », non pris en compte par le modèle mais qui peut atteindre plus de 1 m d'élévation. Cette surcote tend à minorer l'impact de la houle sur le fond.

3.1.2. Le « tombant de tempête »

La hauteur de houle (Fig. 46a) reste constante tout au long du profil jusqu'à l'approche de la barre interne où elle subit une faible augmentation liée au *shoaling* pour ensuite diminuer par déferlement. Au niveau de la fosse interne, elle se stabilise à une valeur constante et décroît finalement à l'approche de la côte. Le taux de dissipation de l'énergie de la houle (Fig. 46b) confirme cette évolution avec des valeurs très faibles excepté au niveau de la barre interne où toutefois la dissipation représente moins du tiers de celui obtenu pour le cas de référence ($\approx 55,5 \text{ kg/s}^3$). Au voisinage de la côte, la valeur de $D_w(x)$ est du même ordre de grandeur que pour le cas de référence ($\approx 77,8 \text{ kg/s}^3$) et est donc supérieure à celle estimée au niveau de la barre interne. Le profil du niveau moyen de la surface libre (Fig. 46c) ne présente de variation significative qu'au niveau de la barre interne pour atteindre une valeur faible ($\approx 1,5 \text{ cm}$) au voisinage de la côte.

La figure 47 illustre les résultats obtenus en terme sédimentaire. On relève de très faibles valeurs pour la concentration de sédiments au fond et donc pour le flux total de sédiments. En effet, le maximum obtenu pour $\bar{C}_a(x)$ est environ 40 fois plus faible que celui du cas de référence. Le flux total de sédiment reste positif tout au long du profil avec des valeurs quasiment 100 fois plus faibles que le flux par charriage obtenu pour le cas de référence. On note que dans ce cas, le transport s'effectuera uniquement du large vers la côte ce qui permettra de rendre compte d'un phénomène d'accrétion. De

Tâche C0 : profil initial - trois régimes de houle.

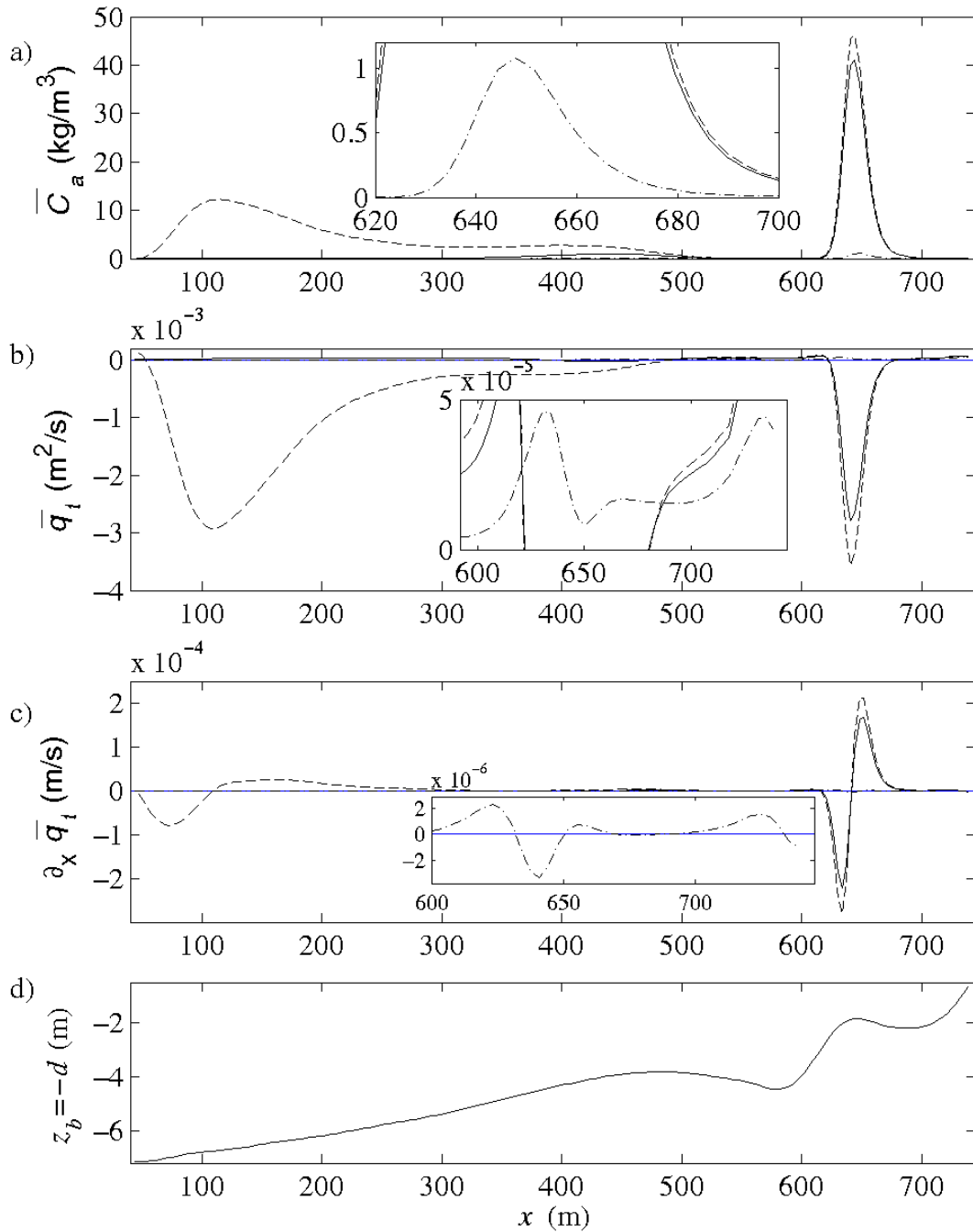


Fig. 47 : Profils de (a) concentration de référence au fond $\bar{C}_a(x)$, (b) flux total de sédiment $\bar{q}_t(x)$, (c) gradient horizontal du flux total de sédiment $\partial_x \bar{q}_t(x)$, obtenus à partir des trois régimes de houle (—) TC, (- -) TE et (-•-) TT, (d) fond initial du 16 novembre 2000 (P5).

Tâche C0 : profil initial - trois régimes de houle (TE).

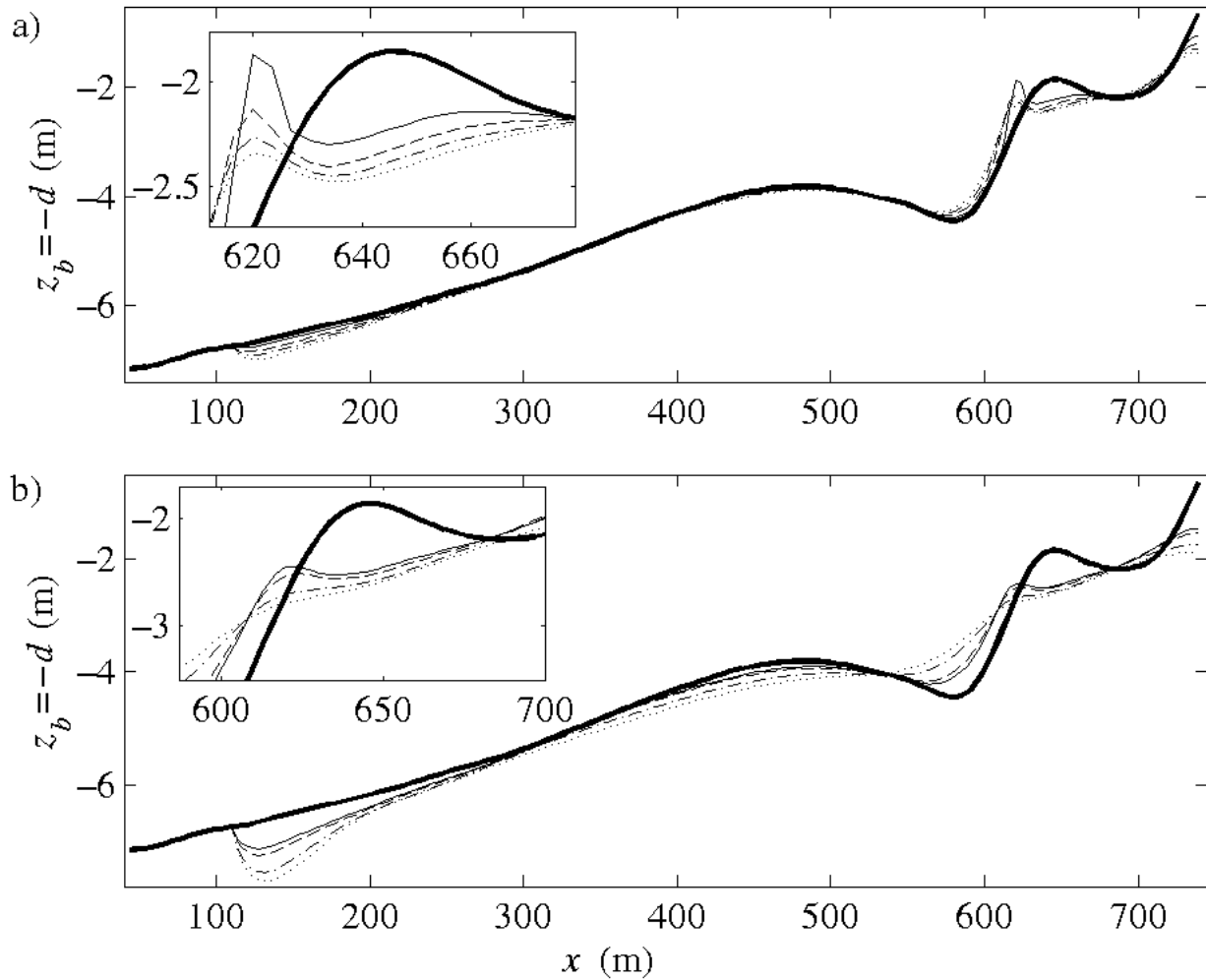


Fig. 48 : Evolution du profil de bathymétrie initiale (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-·-) $t=3h$, (...) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-·-) $t=16h$, (...) $t=24h$.

même, les maxima du gradient du flux total de sédiment sont beaucoup plus faibles, environ 100 fois plus faibles que ceux estimés pour le cas de référence.

L'évolution du fond (Fig. 49) montre une légère érosion du sommet de la barre interne accompagnée d'une accrétion également modérée des deux fosses. On peut remarquer sur la figure 49b après 6 heures de simulation que la position de la barre se décale vers la côte. Ceci est dû au fait que le flux de sédiment est partout positif et induit ainsi un mouvement des barres vers le rivage. Ceci corrobore les mesures expérimentales puisque l'on sait que la plage est « reconstruite » pendant les périodes de tombant de tempête. Cette reconstruction n'est cependant pas parfaitement reproduite par le modèle qui a été principalement développé pour permettre de simuler les processus liés au cas de tempête : les résultats obtenus sont donc toutefois qualitativement corrects.

Tâche C0 : profil initial - trois régimes de houle (TT).

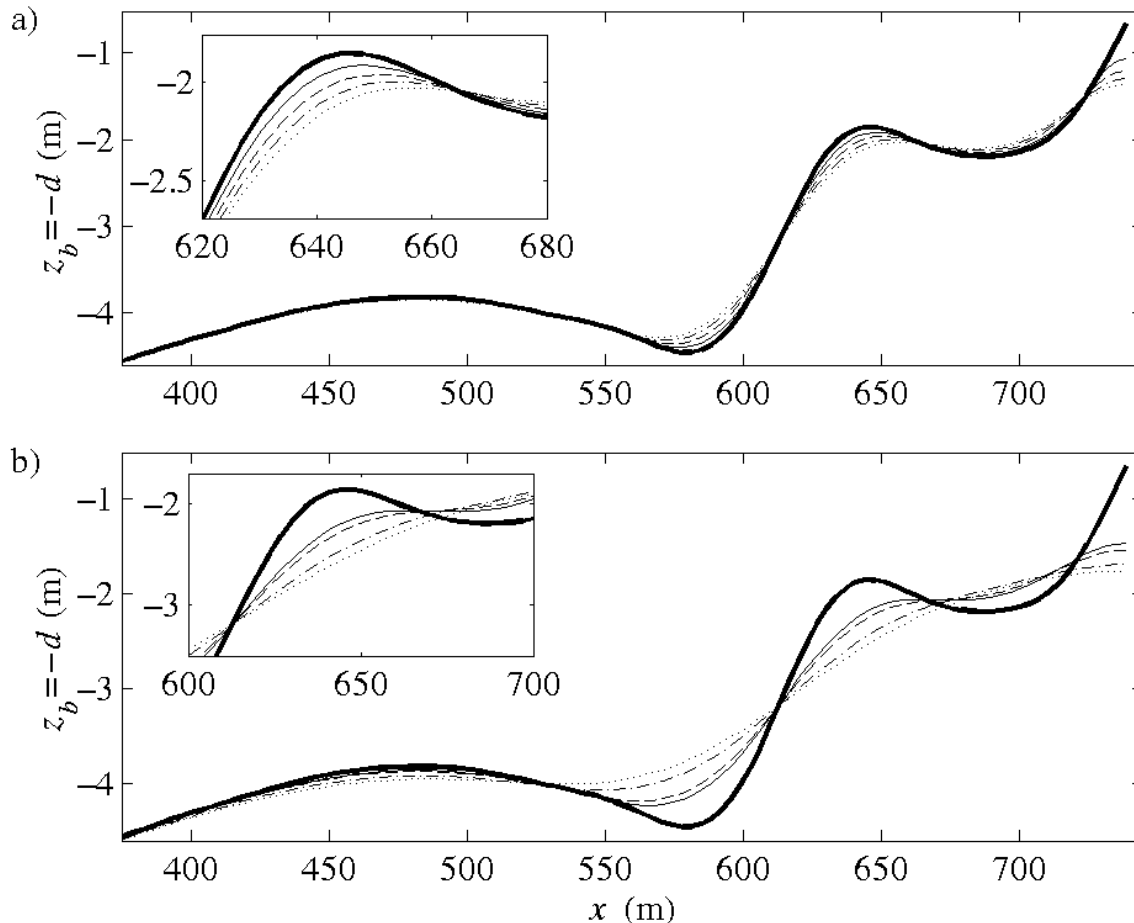


Fig. 49 : Evolution du profil de bathymétrie initiale (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-•-) $t=3h$, (•••) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-•-) $t=16h$, (•••) $t=24h$.

3.2. Selon le code TELEMAT

Pour le cas TT, les houles n'ont pas d'effet sur les barres internes et externes.

Le cas TE, sur le profil de référence du 16 novembre 2000, montre une érosion des barres interne et externe avec un transport de ces barres vers le large ; on peut donc envisager un affaiblissement de la protection de la plage (voir fig. 50). La barre interne est érodée sur environ 10m et la barre externe sur 40m, le dépôt au large est très étalé. Ces valeurs, indicatives pour être comparées éventuellement avec d'autres simulations, ne peuvent pas être utilisées comme valeurs quantitatives pour des estimations réelles des quantités de sables mis en mouvement car elles sont fortement dépendantes des modèles et notamment des formules de transport sédimentaire.

4. Tâche C1 : profil sans barre

Les plages du littoral du Languedoc-Roussillon subissent une érosion généralisée. L'idée de pouvoir prélever du sable sur les barres sédimentaires pour alimenter la plage s'impose lorsqu'on observe le caractère particulièrement développé de ces dernières tout au long du littoral. Il faut donc tester cette hypothèse par le biais de la modélisation numérique. Ainsi, on simulera le prélèvement des volumes sableux des barres, ce qui revient à engendrer un profil sans barre et on regardera l'impact de cette action sur les équilibres sédimentaires.

4.1. Selon MODHYS

Ce scénario nous permet de mettre en évidence l'effet de l'absence de barres littorales sur le comportement de la houle (Fig. 51) et du transport de sédiments (Fig. 52).

On note que la hauteur de houle (Fig. 51a) est identique à celle obtenue pour le cas de référence jusqu'à $x \approx 250$ m pour ensuite décroître beaucoup plus lentement et de manière régulière comme le montre le profil du taux de dissipation de son énergie (Fig. 51b). La décroissance devient plus importante à l'approche de la côte pour atteindre une valeur finale plus élevée que celle calculée pour le cas de référence. Le profil du niveau moyen de la surface libre (Fig. 51c) présente une croissance de type exponentiel à l'approche de la côte, pour atteindre une valeur finale identique à celle obtenue pour le cas de référence, soit environ 12 cm. Ceci peut donc entraîner une érosion importante de la plage.

La figure 52 permet de mettre en évidence que toute l'activité sédimentaire se situe entre $x \approx 600$ m et $x \approx 740$ m, au voisinage de la ligne de côte. Le flux de sédiment total (Fig. 52b) est toujours négatif ce qui entraîne un transport dirigé vers le large uniquement. De plus, son gradient (Fig. 52c) présente des valeurs négatives de $x \approx 600$ m à $x \approx 710$ m pour ensuite passer très rapidement à des valeurs positives, dont le maximum est plus de trois fois plus élevé que le minimum. Sachant que l'on est en présence d'un phénomène d'érosion (d'accrétion) lorsque le gradient est positif (négatif), il y aura une forte érosion au voisinage de la côte, avec formation d'une barre littorale.

On peut dès à présent en conclure que les barres littorales jouent un rôle très important vis-à-vis de la protection du littoral.

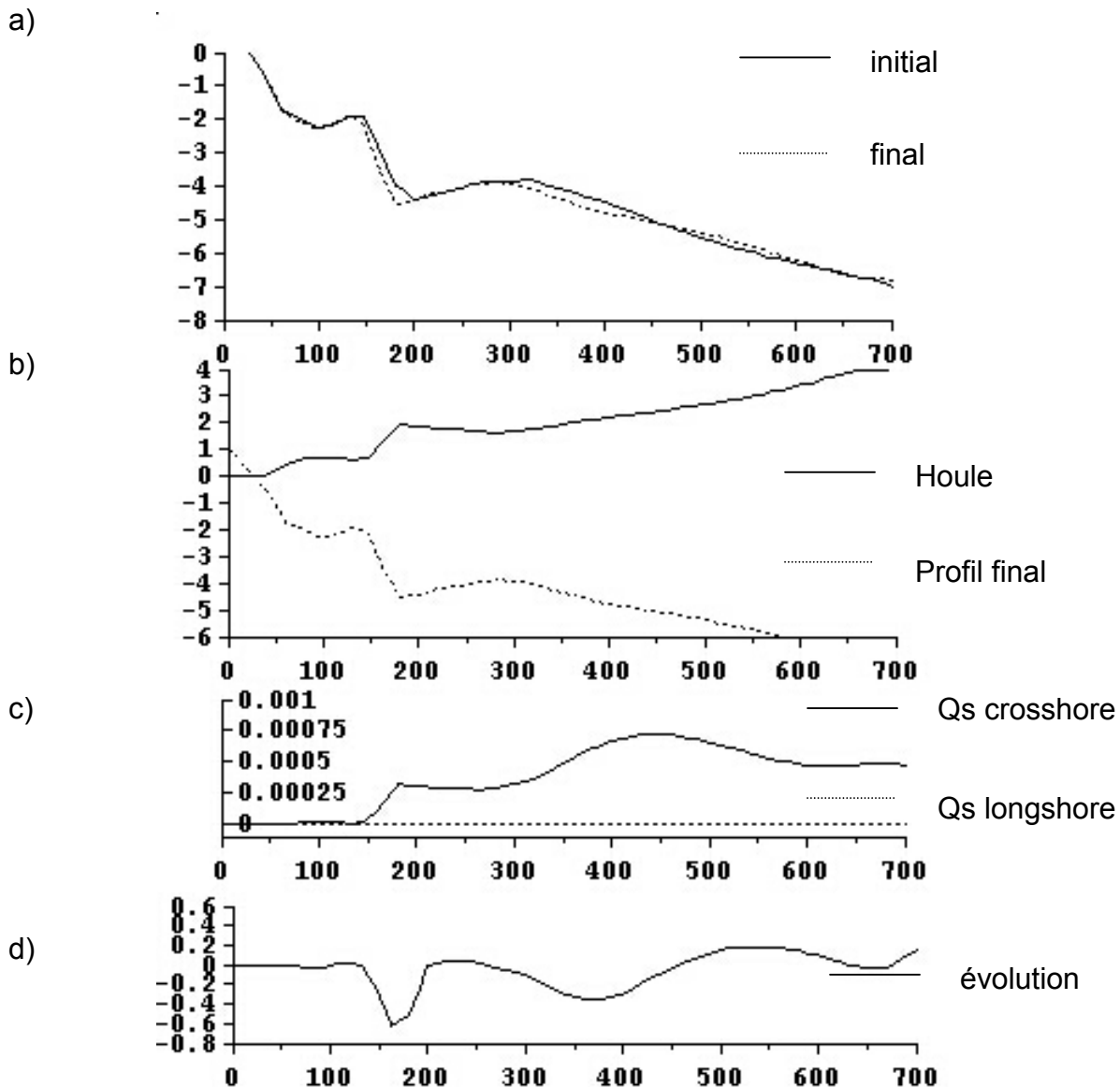


Fig. 50 : Cas 00, profil de la zone, temps caractéristique (L : Hs=4m, Ts=10s) $\alpha=0^\circ$, simulation de 24h, formule de transport de Bijker, modèle multi1DH, (a) fond initial et final, (b) fond final et hauteur de houle, (c) débit solide cross-shore (perpendiculaire à la côte, positif vers le large) et longshore (parallèle à la côte, positif vers le nord du site) et (d) évolution du fond en 24h.

Tâche C1 : profil sans barre - tempête classique.

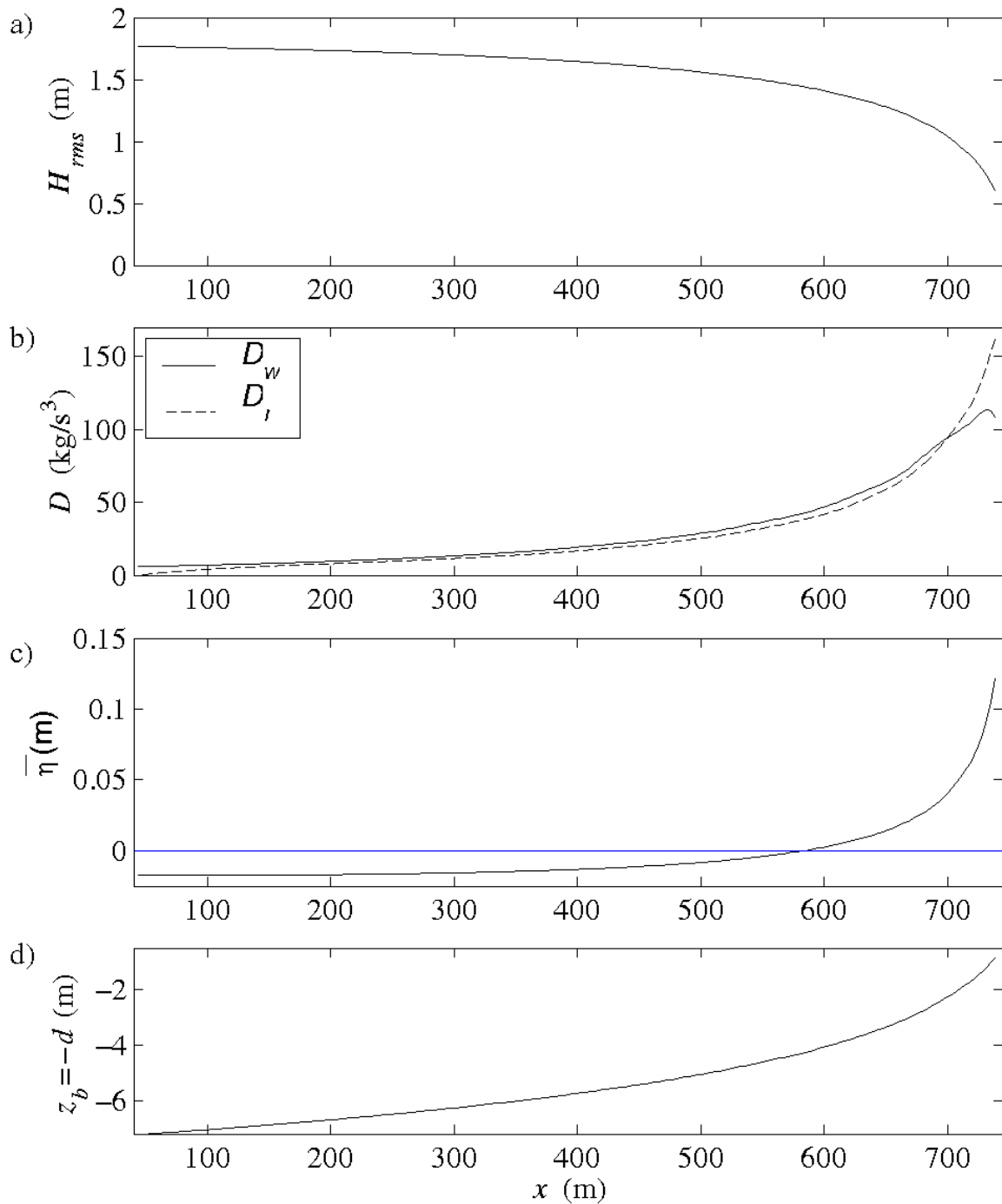


Fig. 51 : Profils de (a) hauteur de houle $H_{rms}(x)$, (b) taux de dissipation de l'énergie de la houle (—) $D_w(x)$ et du rouleau de déferlement (- -) $D_r(x)$, (c) niveau moyen de la surface libre NMSL $\bar{\eta}(x)$, (d) fond sans barre.

Tâche C1 : profil sans barre - tempête classique.

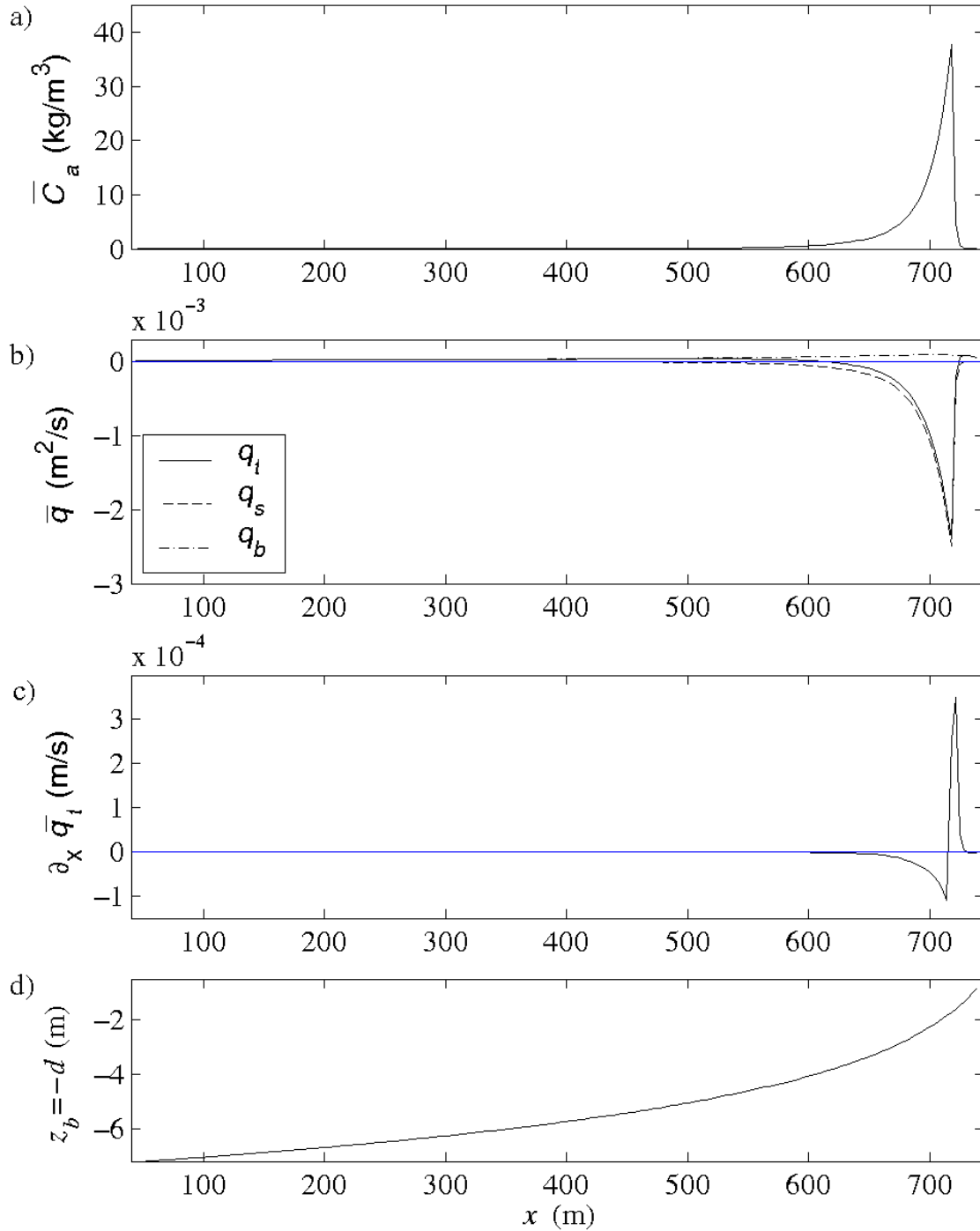


Fig. 52 : Profils de (a) concentration de référence au fond $\bar{C}_a(x)$, (b) flux de sédiment (- -) par charriage $\bar{q}_b(x)$, (- -) par suspension $\bar{q}_s(x)$ et (—) total $\bar{q}_i(x)$, (c) gradient horizontal du flux total de sédiment $\partial_x \bar{q}_i(x)$, (d) fond initial du 16 novembre 2000 (P5).

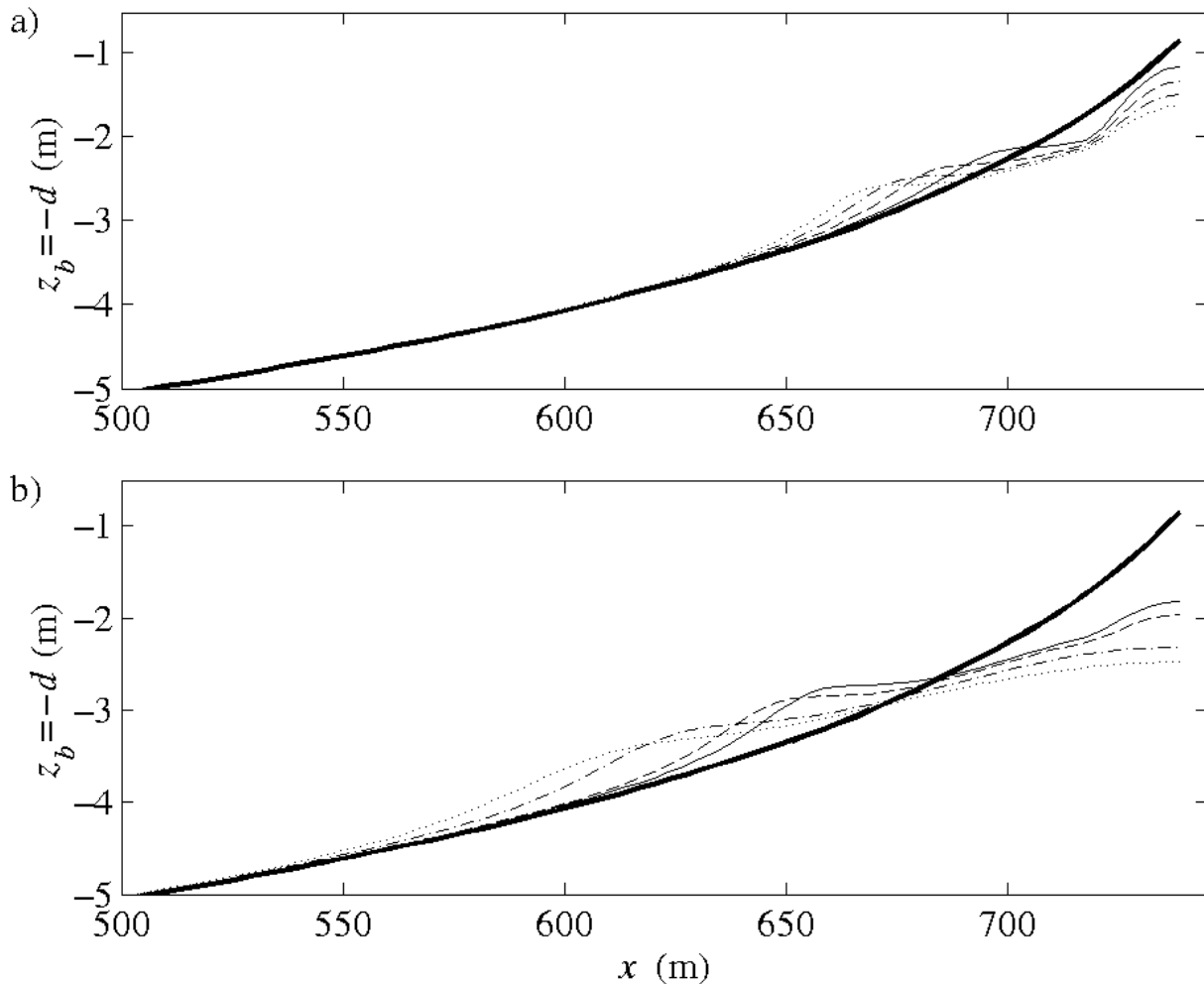
Tâche C1 : profil sans barre - tempête classique.

Fig. 53 : Evolution du profil sans barre (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-·-) $t=3h$, (···) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-·-) $t=16h$, (···) $t=24h$.

L'évolution du fond (Fig. 53) confirme le comportement décrit précédemment. En effet, on note dès la 1^{ère} heure la formation d'une barre littorale dont le sommet se situe en $x \approx 700$ m avec la formation d'une fosse vers la plage qui correspond aux valeurs positives du gradient du flux de sédiment. Au cours de la simulation, cette barre se déplace vers le large et la fosse tend à disparaître. On peut remarquer que la profondeur au voisinage de la côte est beaucoup plus grande au bout de 24 heures de simulation que pour le cas de référence, ce qui confirme la forte érosion du littoral dans ce cas de configuration de la bathymétrie.

En conclusion, le profil sans barre a permis de mettre en évidence le rôle important des barres littorales quant à la protection des côtes. En effet, le transport de sédiment,

localisé au voisinage de la côte, induit une forte érosion dans cette zone, ce qui a été confirmé par l'évolution du profil de plage.

4.2. Selon le code TELEMAC

La tâche C1 qui consiste à faire des simulations en prélevant le sable nécessaire sur la barre interne a dans les faits été remplacée par des simulations sur des profil de plage sans barre et considérés comme des profils en équilibre pouvant être décrits par une équation du type : $h = Ax^{2/3}$, d'après Dean (1973). Les résultats, obtenus avec le modèle multi1DH, permettent de dire que ce modèle simplifié permet la création de la barre de déferlement (Fig. 54) mais que le module de croissance de la barre est toujours très sensible à la formule de transport sédimentaire utilisée.

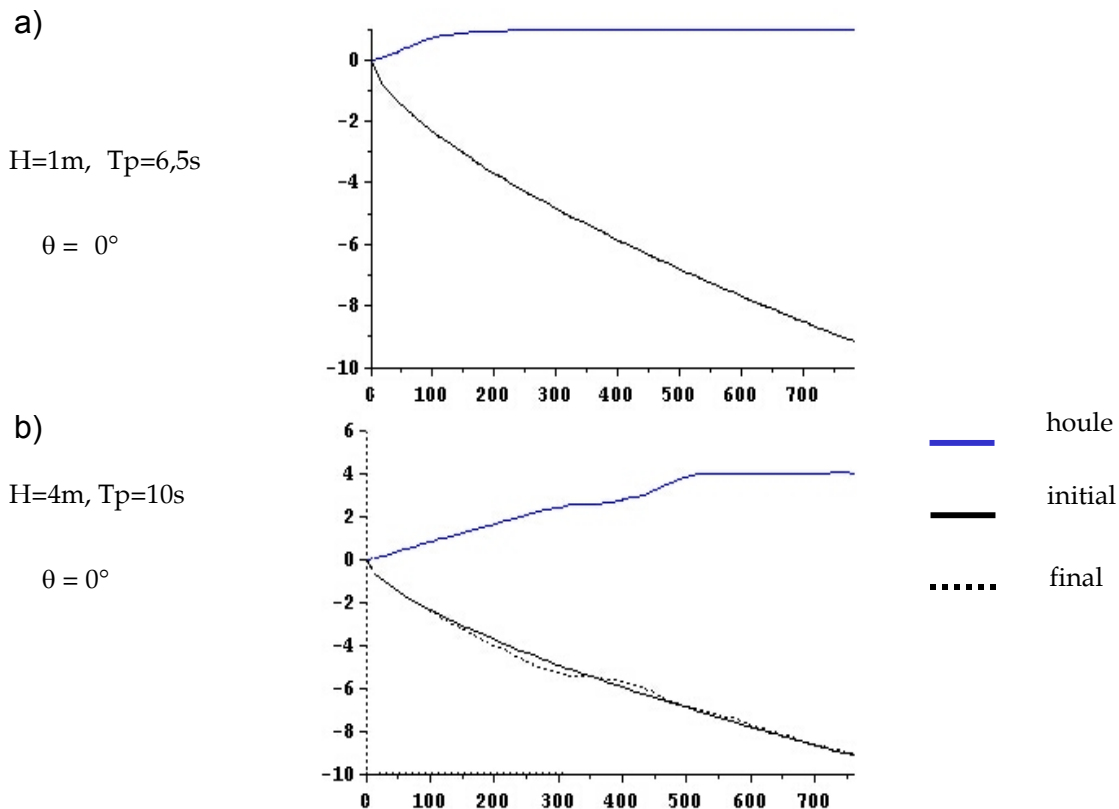


Fig. 54 : Cas C1, profil de Dean simulation de 24h, formule de transport de Bijker, modèle multi1DH, (a) Tombant de tempête (TT : $H_s=1\text{m}$, $T_s=6,5\text{s}$) $\theta=0^\circ$, fond initial et final, et hauteur de houle, (b) Tempête exceptionnelle (TE : $H_s=4\text{m}$, $T_s=10\text{s}$) $\theta=0^\circ$, fond initial et final, et hauteur de houle

5. Tâche C2 : engraissement des barres littorales

Cette tâche consiste à étudier l'effet de rechargements effectués sur les barres. Les résultats présentés en suivant représentent une synthèse des cas obtenus les plus pertinents.

5.1. Selon MODHYS

Nous avons considéré 20 profils de bathymétrie différents (voir le paragraphe III.3.3). Nous avons utilisé la nomenclature suivante pour les profils utilisés : un profil dont les barres externe et interne sont augmentées respectivement de X m et de Y m est noté PX-Y. Par exemple, pour le profil P05-0125, les barres externe et interne sont augmentées de 0,5 m et de 0,125 m respectivement.

Nous montrerons tout d'abord l'impact de l'engraissement de la barre externe de 0,5 m et de 1 m, la barre interne n'ayant subi aucun apport (P05-0 et P1-0). Nous verrons ensuite l'influence de l'engraissement de la barre interne, la barre externe ayant été engraisée de 1 m. Nous terminerons par l'étude de l'engraissement de la barre externe dans le cas où la barre interne a subi une augmentation de 0,125 m.

5.1.1. Engraisements de la barre externe seule

La différence entre le profil de la hauteur de houle (Fig. 55a) et celui du cas de référence est très faible quand la barre externe est seulement augmentée de 0,5 m (P05-0) et devient par contre significative pour une augmentation de 1 m (P1-0) : le déferlement de la houle est beaucoup plus important pour P1-0 au niveau de la barre externe (Fig. 55b), d'où une hauteur plus faible que pour P05-0. En effet, le profil du taux de dissipation de l'énergie de la houle, pour P05-0, est identique à celui obtenu à partir du cas de référence jusqu'à la barre externe ($x \approx 440$ m). $D_w(x)$ atteint ensuite un maximum local de l'ordre de 60 kg/s^3 en $x \approx 475$ m alors qu'il avait commencé à décroître pour le cas de référence ($D_w(x \approx 475) \approx 40 \text{ kg/s}^3$). Pour P1-0, le maximum local obtenu est de l'ordre de 120 kg/s^3 , c'est-à-dire environ le triple de la valeur estimée pour le cas de référence. Au niveau de la barre interne, on note que pour P05-0, $D_w(x)$ est du même ordre de grandeur que pour le cas de référence ($\approx 145 \text{ kg/s}^3$ contre $\approx 160 \text{ kg/s}^3$) alors que pour P1-0, il est nettement plus faible ($\approx 100 \text{ kg/s}^3$). Un engraissement de la barre externe de 1 m conduit donc à un déferlement plus faible sur la barre interne puisque la houle a perdu davantage d'énergie sur la barre externe. Cette barre joue donc pleinement son rôle de brise-lame, ce que l'on souhaite obtenir dans le cadre de la protection du littoral. On note cependant que, dans les deux cas, la dissipation reste identique en fin de profil à l'approche de la côte. En outre, le niveau moyen de la surface libre atteint une valeur de l'ordre de 12 cm au dernier point du profil.

Si l'on analyse maintenant la figure 56, on note une différence très importante entre les profils (concentration de sédiments au fond (Fig. 56a) et flux total de sédiments (Fig. 56b)) obtenus pour P05-0 et P1-0. Le pic de $\bar{C}_a(x)$ au niveau de la barre externe devient significatif pour P1-0 (avec un maximum $\approx 15 \text{ kg/m}^3$) avec une faible valeur du

maximum au niveau de la barre interne (environ le quart de celui obtenu pour le cas de référence). Quant au flux total de sédiments, il est environ 2 fois plus faible au niveau de la barre interne pour P05-0 et environ 6 fois plus faible pour P1-0 que pour les valeurs de $\bar{q}_t(x)$ obtenues pour le cas de référence. Par contre, sur la barre externe, on relève des valeurs négatives de $\bar{q}_t(x)$ alors qu'il restait positif jusqu'à l'approche de la barre interne pour le cas de référence. La différence entre les valeurs obtenues avec P05-0 et celles obtenues avec P1-0 est très importante puisque $\bar{q}_t(x)$ est environ 10 fois plus élevé (en valeurs négatives) pour P1-0 que pour P05-0.

L'évolution du profil P05-0 (Fig. 57) est très proche de celle du profil de référence. On note que l'érosion de la barre interne est plus faible avec un décalage vers le large moins important. Par contre, l'érosion de la barre externe est significative dès la 1^{ère} heure et s'accroît au cours du temps. Au plus près de la côte, l'évolution temporelle reste identique à celle obtenue pour le cas de référence ; le résultat est le même pour P1-0 (Fig. 58). Pour ce profil P1-0, l'érosion de la barre interne est très faible alors que l'on observe une forte érosion de la barre externe, comme le laisse penser les profils du flux de sédiments (Fig. 56b) et de son gradient (Fig. 56c). Il semble important de noter que d'une part la barre interne est faiblement érodée et que d'autre part sa position reste inchangée au cours des 24 heures de tempête.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

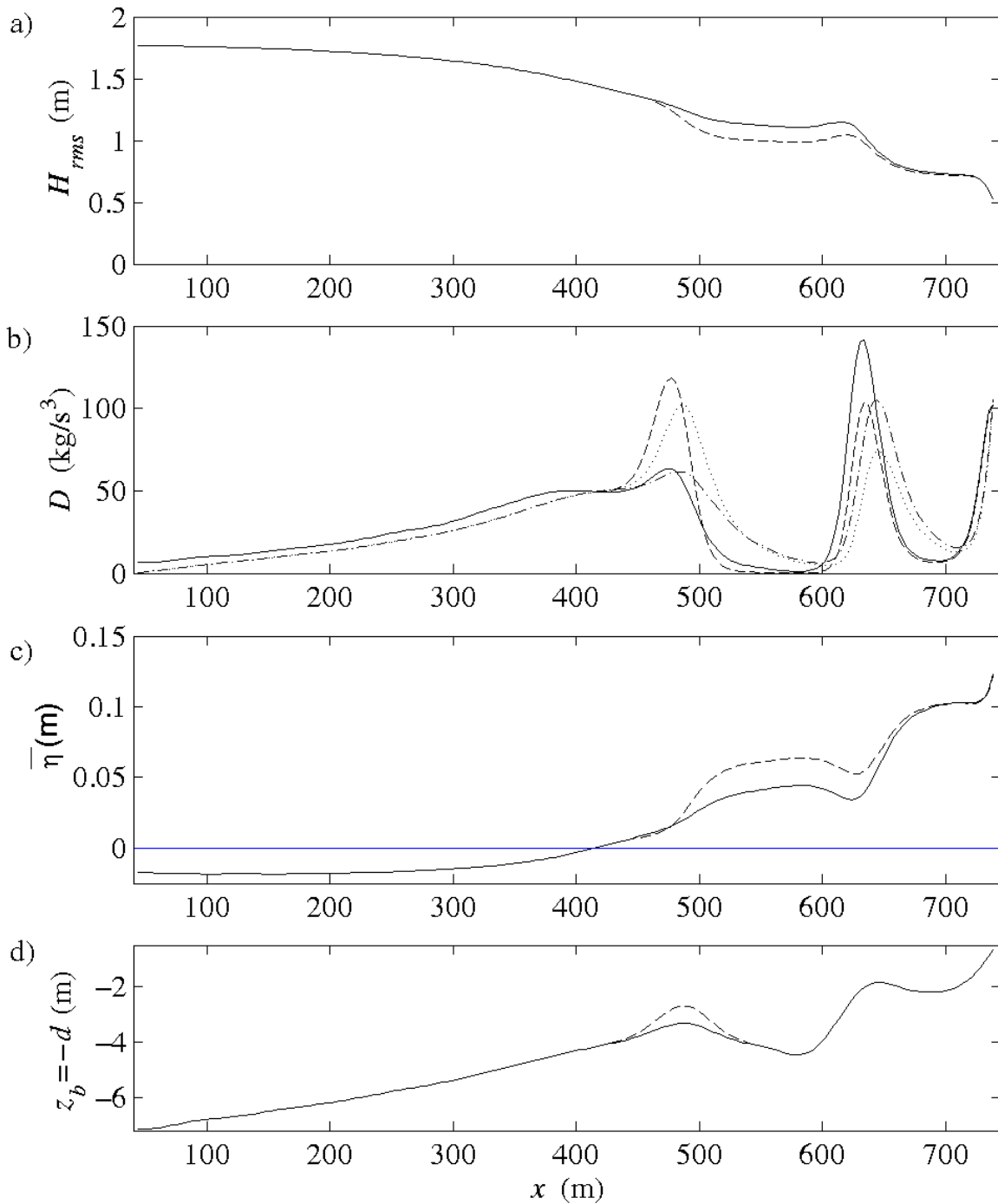


Fig. 55 : Profils de (a) hauteur de houle $H_{rms}(x)$ obtenus pour (—) P05-0, (- -) P1-0, (b) taux de dissipation de l'énergie de la houle $D_w(x)$ pour (—) P05-0, (- -) P1-0 et du rouleau de déferlement $D_r(x)$ pour (-•-) P05-0, (···) P1-0, (c) niveau moyen de la surface libre NMSL $\bar{\eta}(x)$ pour (—) P05-0, (- -) P1-0, (d) (—) P05-0, (- -) P1-0.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

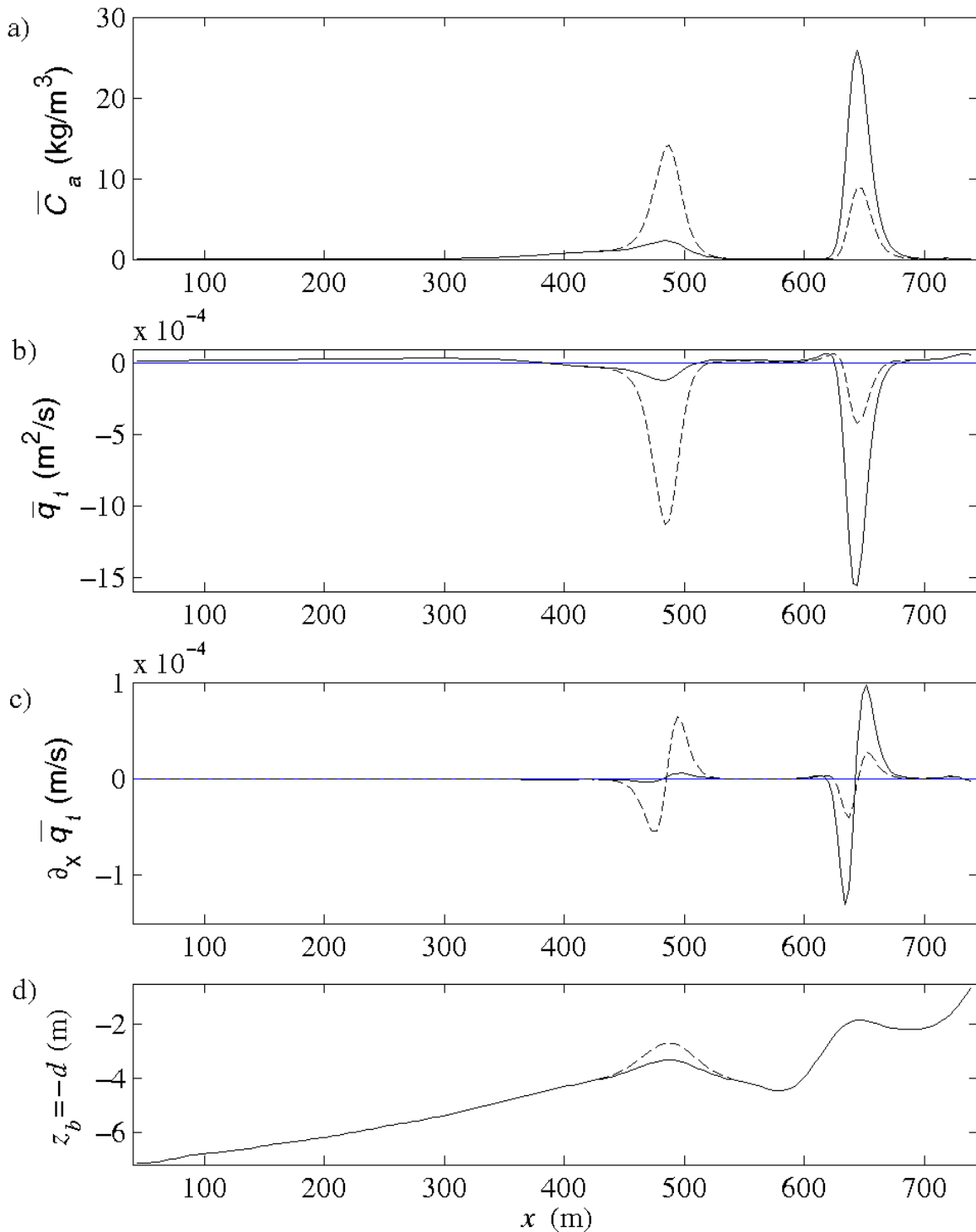


Fig. 56 : Profils de (a) concentration de référence au fond $\bar{C}_a(x)$, (b) flux total de sédiment $\bar{q}_t(x)$, (c) gradient horizontal du flux total de sédiment $\partial_x \bar{q}_t(x)$ obtenus pour les profils (d) (—) P05-0, (- -) P1-0.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

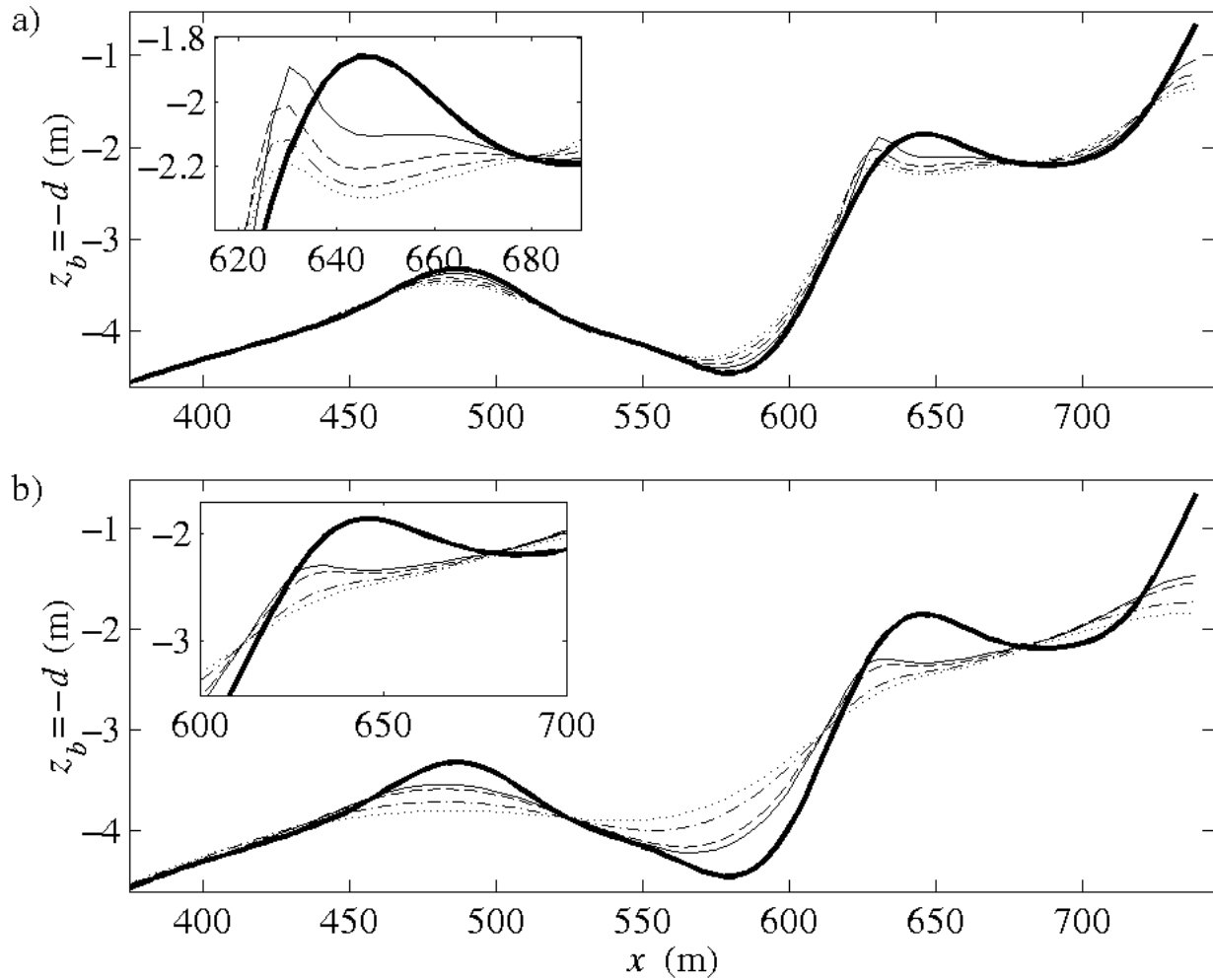


Fig. 57 : Evolution du profil P05-0 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-.-) $t=3h$, (...) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-.-) $t=16h$, (...) $t=24h$.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

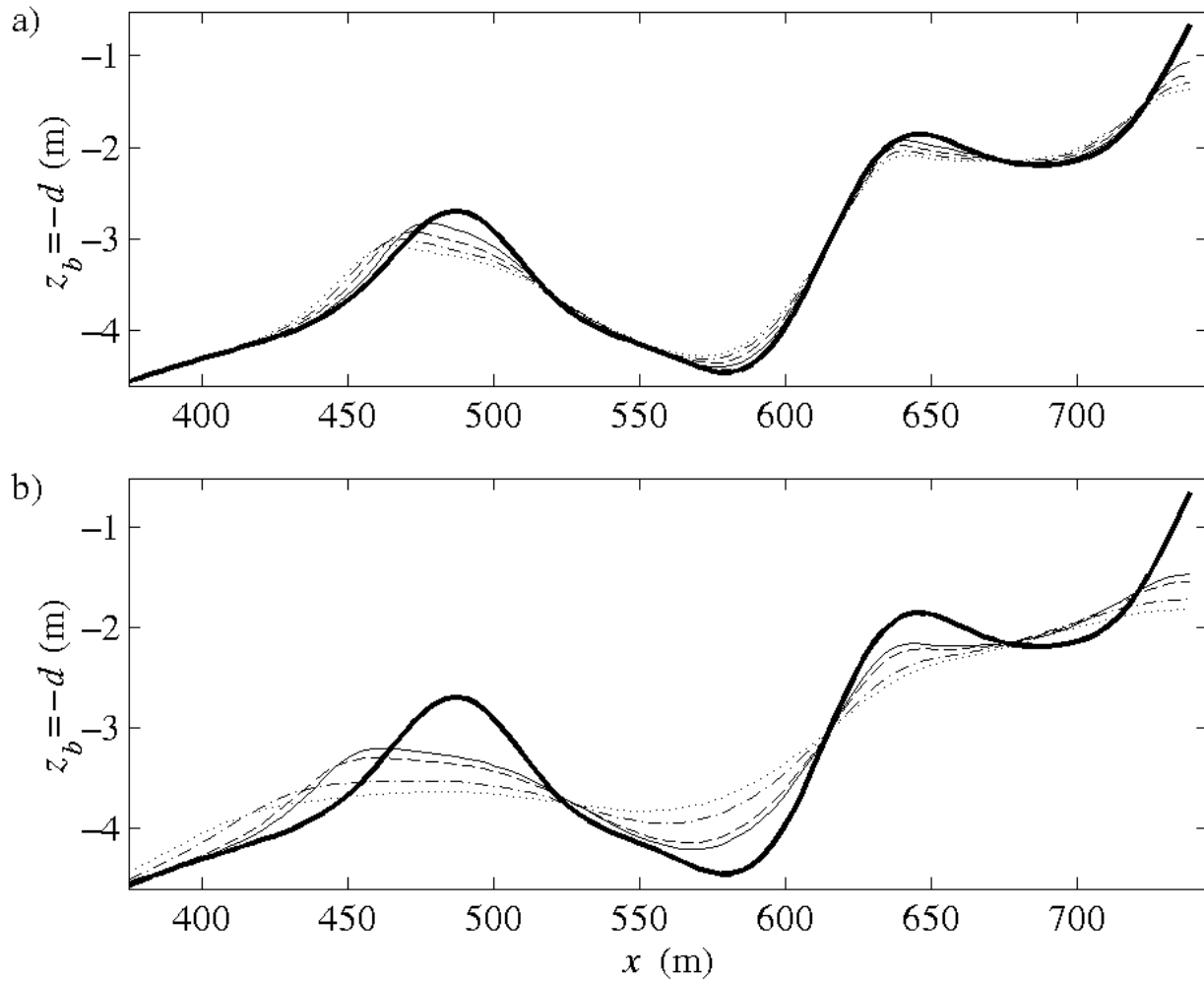


Fig. 58 : Evolution du profil P1-0 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-•-) $t=3h$, (•••) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-•-) $t=16h$, (•••) $t=24h$.

5.1.2. Engraissements de la barre interne et barre externe engraisée de 1 m

Cette étude permet de mettre en évidence l'influence de l'augmentation de la barre interne sur l'érosion du littoral. La barre interne est augmentée de 0,125 m, 0,25 m et 0,5 m que nous comparerons au cas où elle ne subit aucun engraissement, c'est-à-dire à P1-0, précédemment analysé.

On note, tant au niveau de l'hydrodynamique (Fig. 59) qu'au niveau du transport sédimentaire (Fig. 60) que plus la hauteur de la barre interne est élevée, plus le déferlement y est prononcé et donc plus le flux total de sédiments vers le large est élevé. Si l'on prend les résultats obtenus pour P1-0 comme référence, on note que le maximum de la concentration de sédiments au fond augmente de 60% pour P1-0125, de 189% pour P1-025 et de 700% pour P1-05, pour atteindre une valeur de l'ordre de 80 kg/m^3 (c'est-à-dire environ le double de la valeur calculée pour le cas de référence). On observe la même progression du maximum du flux total de sédiments vers le large qui est de l'ordre de $-4.10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$ pour P1-05, avec un gradient du flux total environ 2 fois plus fort tant pour les valeurs positives que les valeurs négatives par rapport à celui obtenu à partir du profil de référence. Ceci signifie qu'au niveau du sommet de la barre interne, il y a environ 10 kg de sédiments transportés (sur 1 m de large) en 1 seconde.

Cette augmentation exponentielle du gradient du flux total de sédiments conduit à une érosion de plus en plus marquée de la barre interne dans ce cas (Figs. 61-62-63) dès la 1^{ère} heure de simulation, l'érosion de la barre externe étant identique à celle obtenue pour P1-0 (Fig. 58). Au bout des 24 h de simulation, on peut relever que les profils obtenus sont très semblables.

En conclusion, l'engraissement de la barre interne induit un déferlement plus fort et donc un flux de sédiments vers le large plus élevé. On en conclut qu'un engraissement de la barre interne ne semble pas présenter un bénéfice important car il est rapidement neutralisé.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

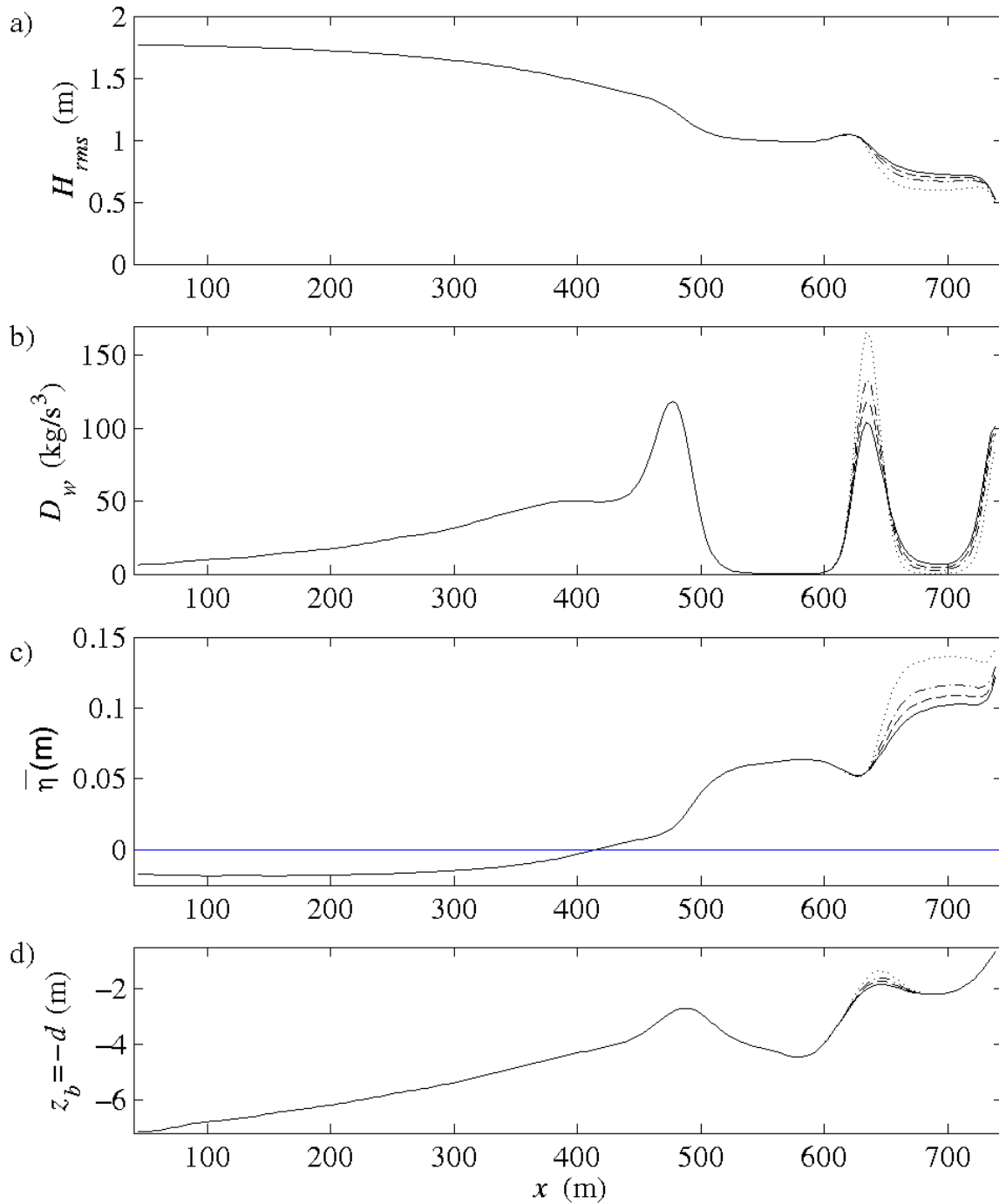


Fig. 59 : Profils de (a) hauteur de houle $H_{rms}(x)$, (b) taux de dissipation de l'énergie de la houle $D_w(x)$, (c) niveau moyen de la surface libre NMSL $\bar{\eta}(x)$ obtenus pour les profils (d) (—) P1-0, (---) P1-0125, (-•-) P1-025, (···) P1-05.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

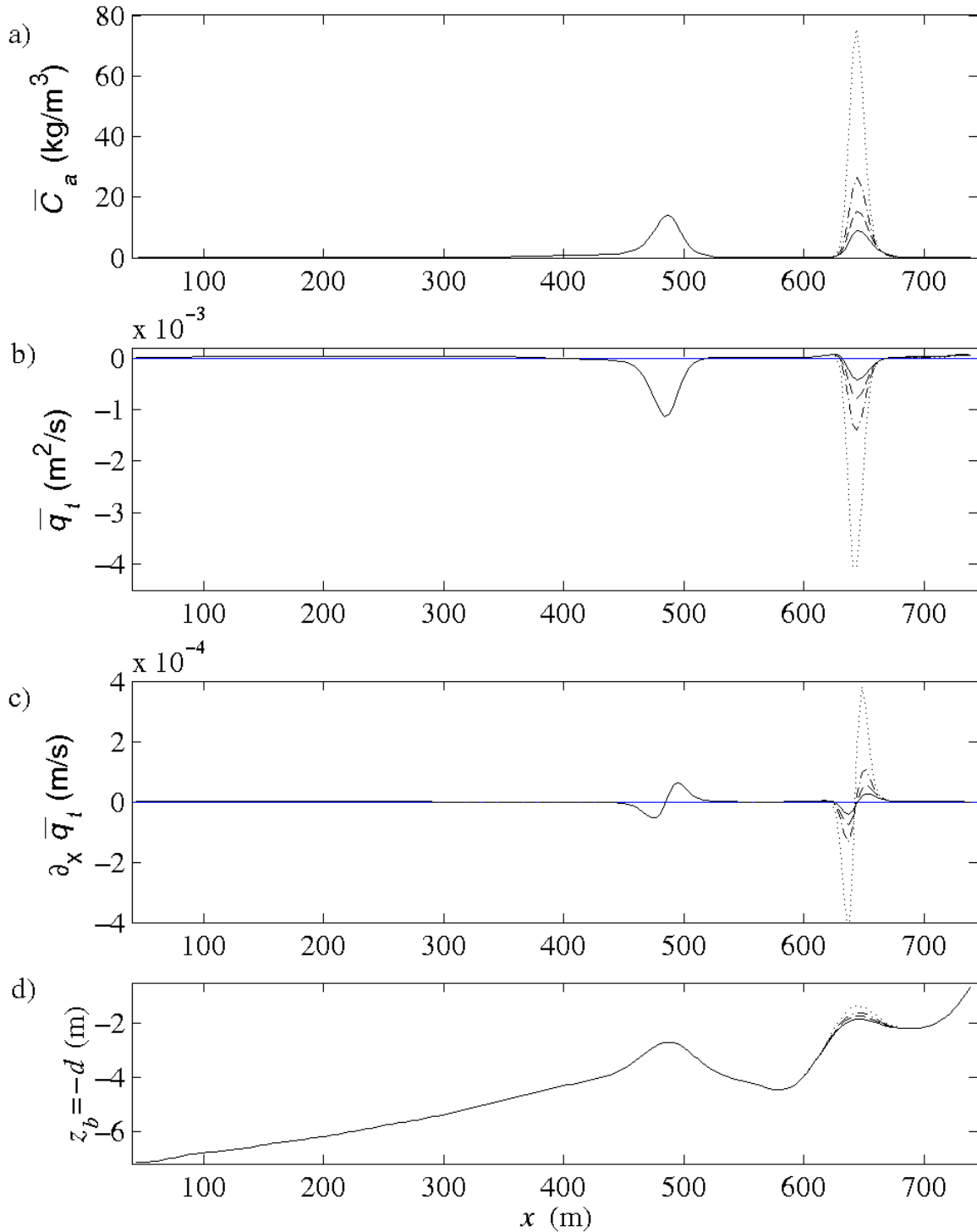


Fig. 60 : Profils de (a) concentration de référence au fond $\bar{C}_a(x)$, (b) flux total de sédiment $\bar{q}_t(x)$, (c) gradient horizontal du flux total de sédiment $\partial_x \bar{q}_t(x)$ obtenus pour les profils (d) (—) P1-0, (- -) P1-0125, (-•-) P1-025, (···) P1-05.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

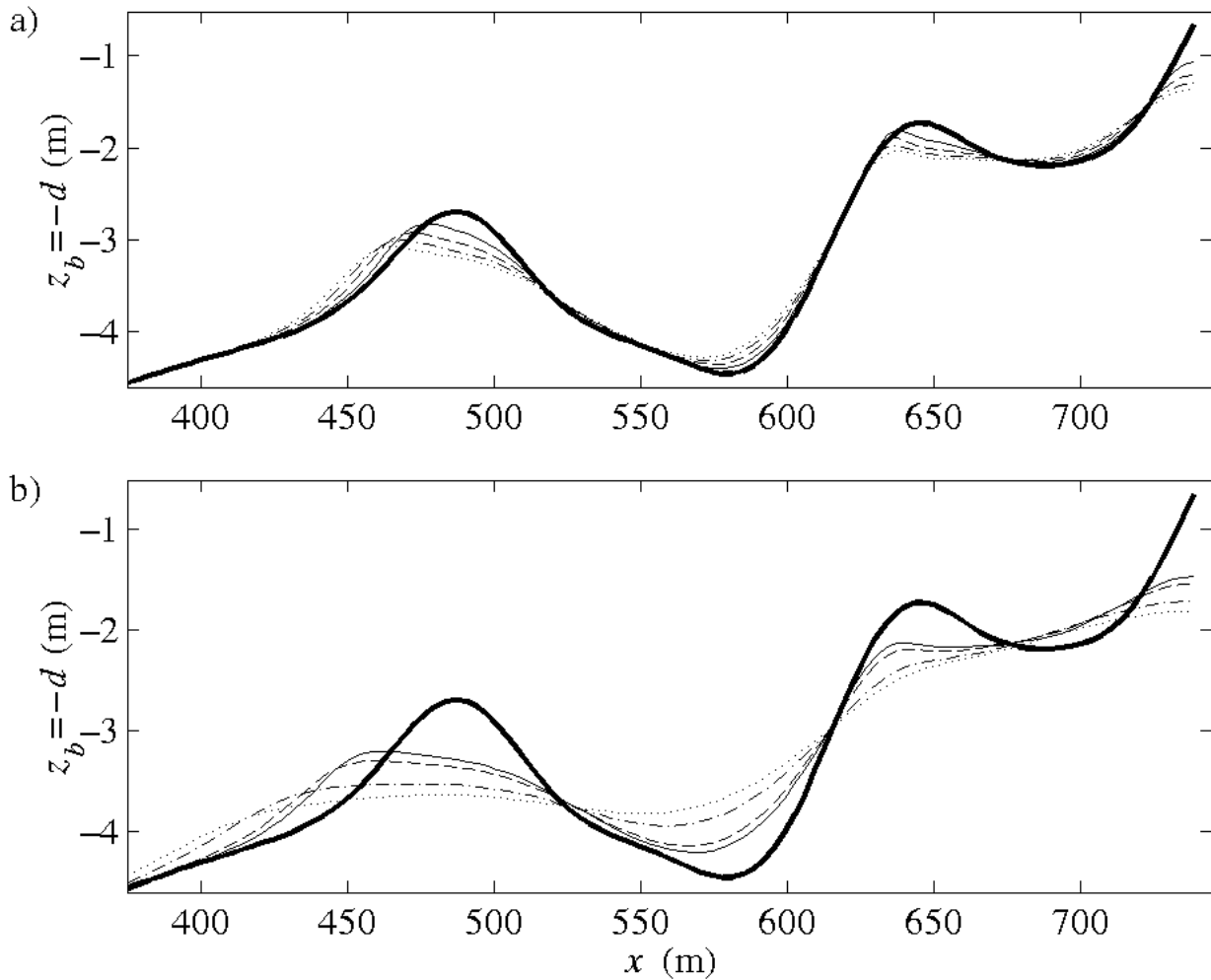


Fig. 61 : Evolution du profil P1-0125 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-·-) $t=3h$, (···) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-·-) $t=16h$, (···) $t=24h$.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

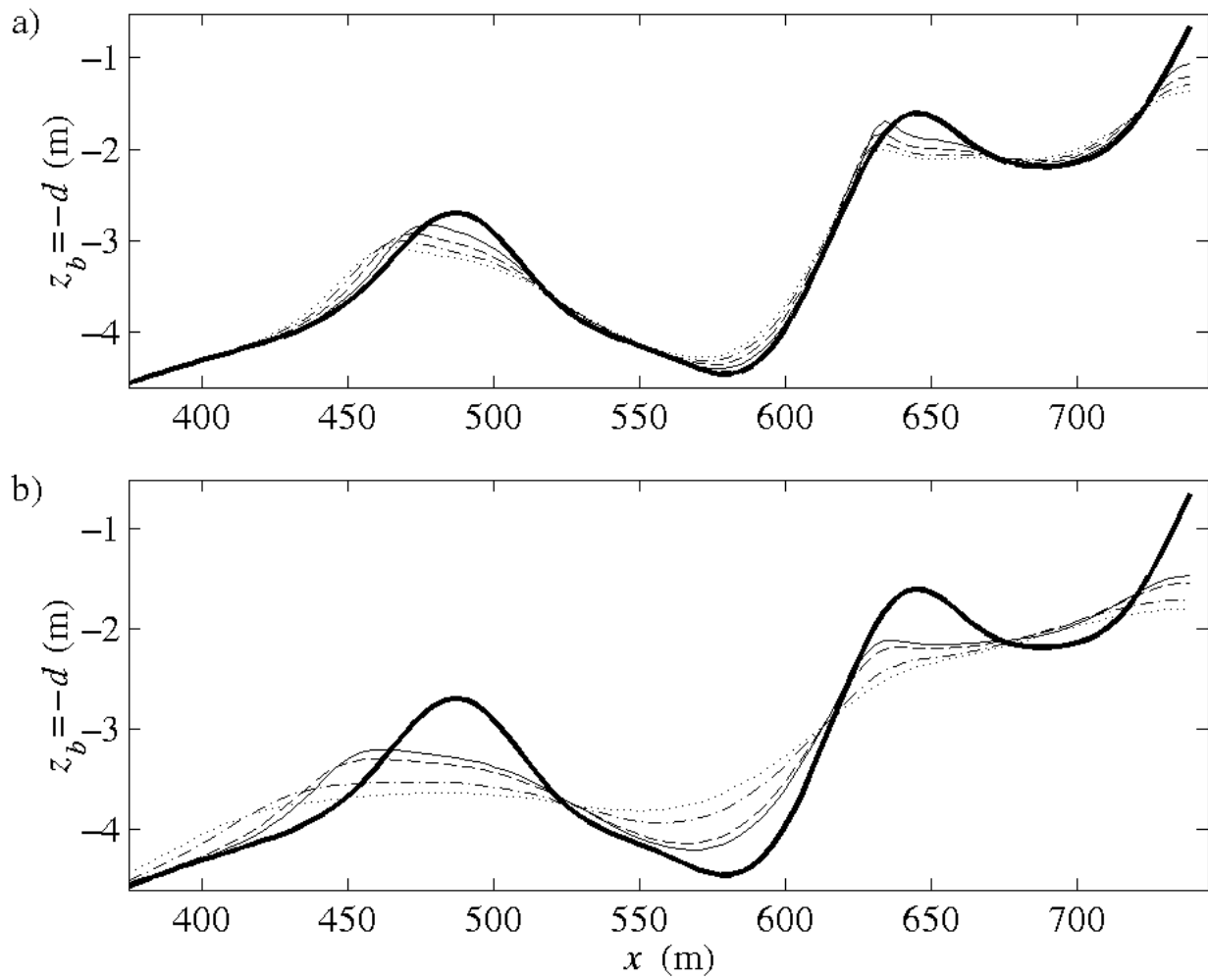


Fig. 62 : Evolution du profil P1-025 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-·-) $t=3h$, (···) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-·-) $t=16h$, (···) $t=24h$.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

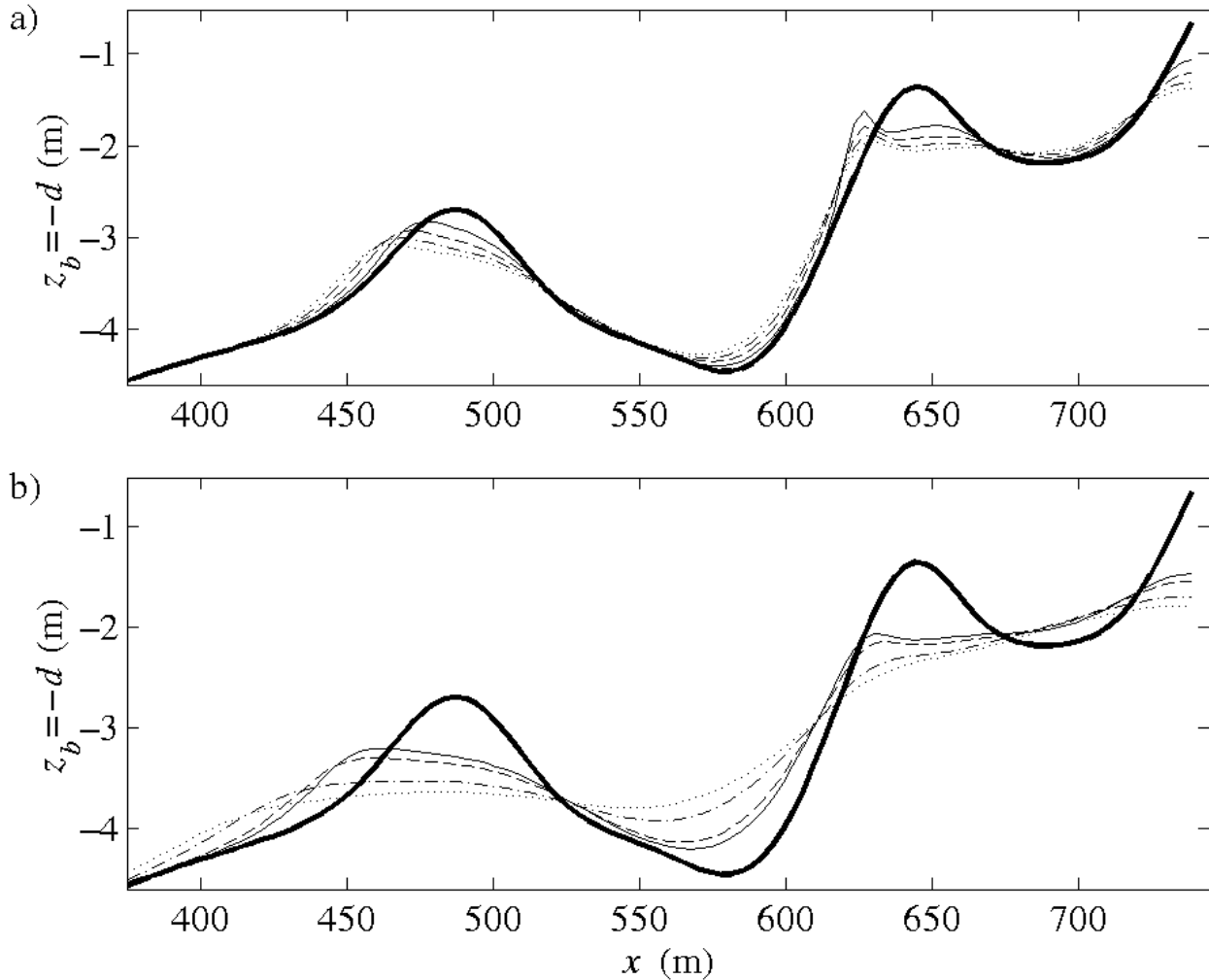


Fig. 63 : Evolution du profil P1-05 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) t=1h, (- -) t=2h, (-·-) t=3h, (···) t=4h, (b) (—) t=6h, (- -) t=8h, (-·-) t=16h, (···) t=24h.

5.1.3. Engraissements de la barre externe et barre interne engraisée de 0,125 m

Les résultats obtenus confirment le comportement mis en évidence lors de l'étude menée sur P05-0 et P1-0. Les figures 64 et 65 montrent respectivement les résultats obtenus pour l'hydrodynamique et le flux de sédiments et les figures 66, 67 et 68 illustrent les évolutions des profils envisagés, soient respectivement P0125-0125, P025-0125 et P05-0125.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

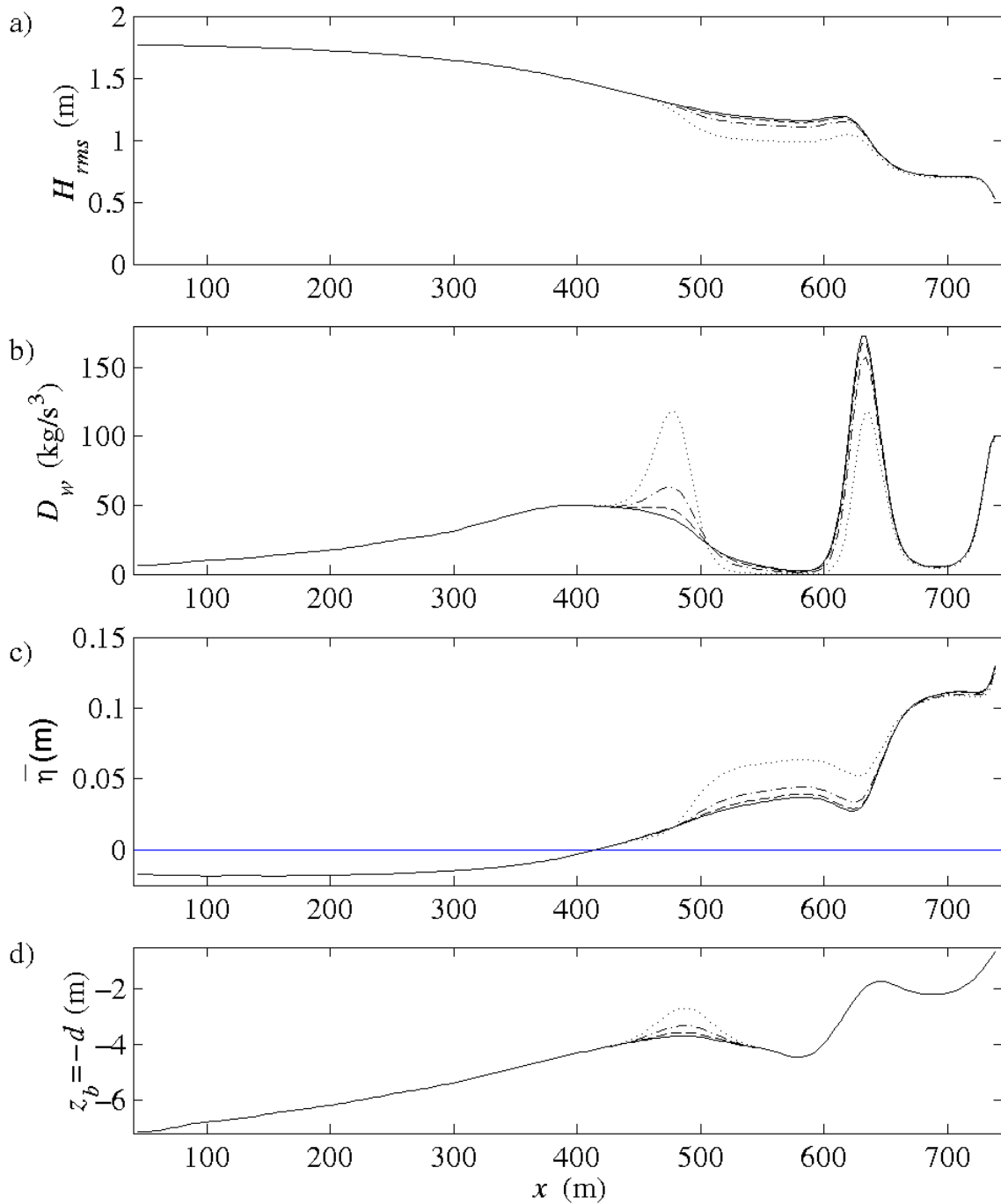


Fig. 64 : Profils de (a) hauteur de houle $H_{rms}(x)$, (b) taux de dissipation de l'énergie de la houle $D_w(x)$, (c) niveau moyen de la surface libre NMSL obtenus pour les profils (d) (—) P0125-0125, (- -) P025-0125, (-•-) P05-0125, (...) P1-0125.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

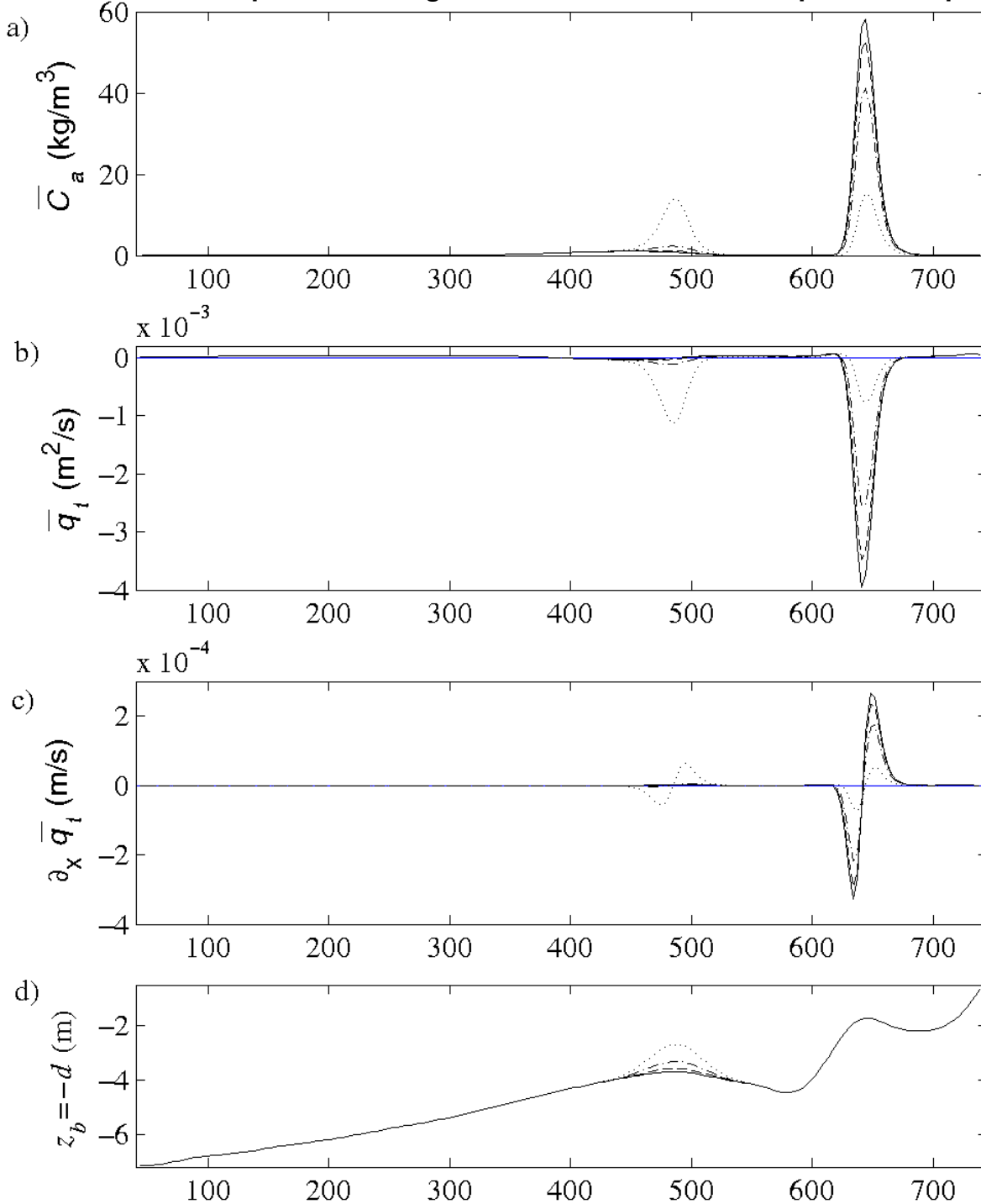


Fig. 65 : Profils de (a) concentration de référence au fond $\bar{C}_a(x)$, (b) flux total de sédiment $\bar{q}_t(x)$, (c) gradient horizontal du flux total de sédiment $\partial_x \bar{q}_t(x)$ obtenus pour les profils (d) (—) P0125-0125, (- -) P025-0125, (-•-) P05-0125, (···) P1-0125.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

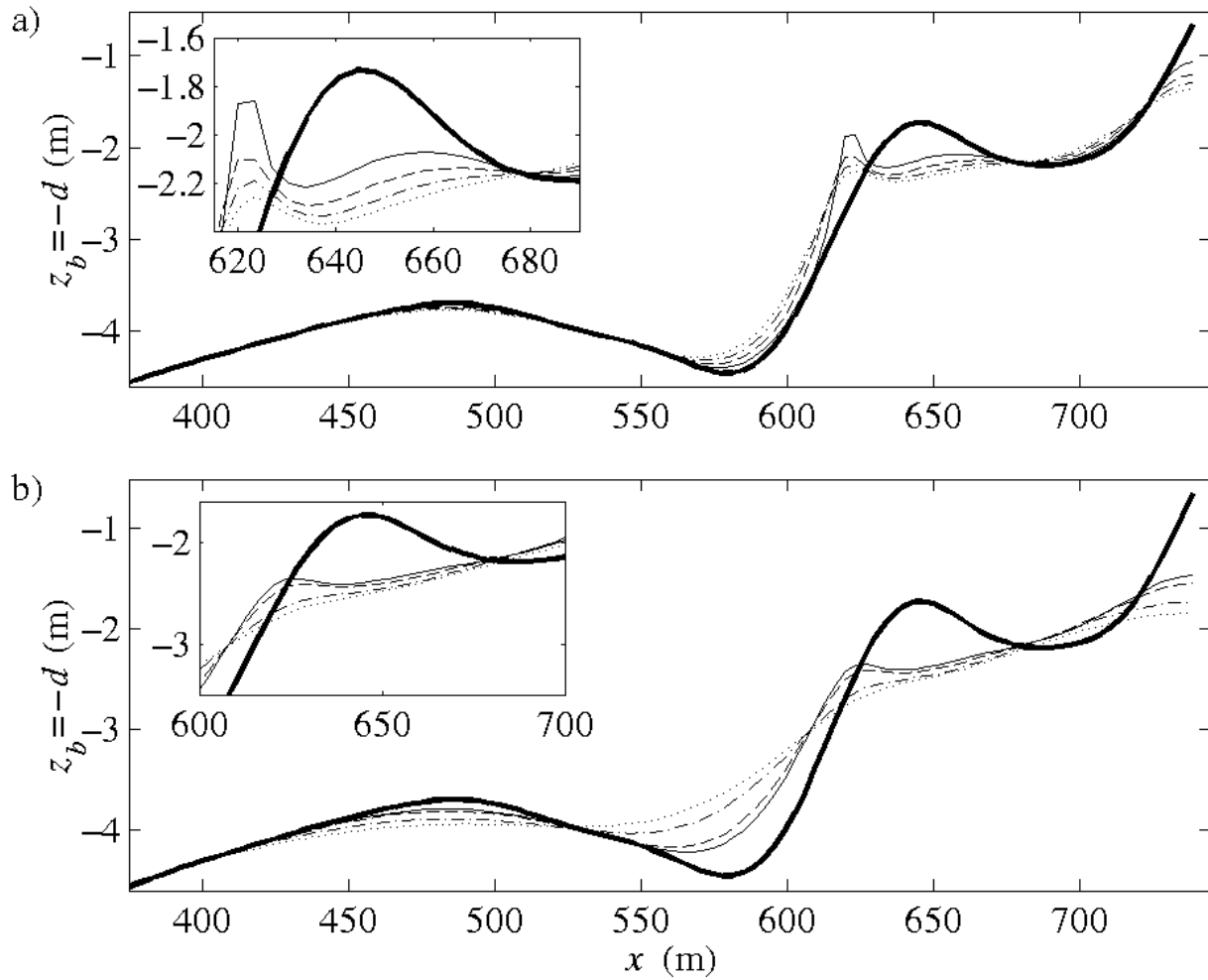


Fig. 66 : Evolution du profil P0125-0125 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-·-) $t=3h$, (···) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-·-) $t=16h$, (···) $t=24h$.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

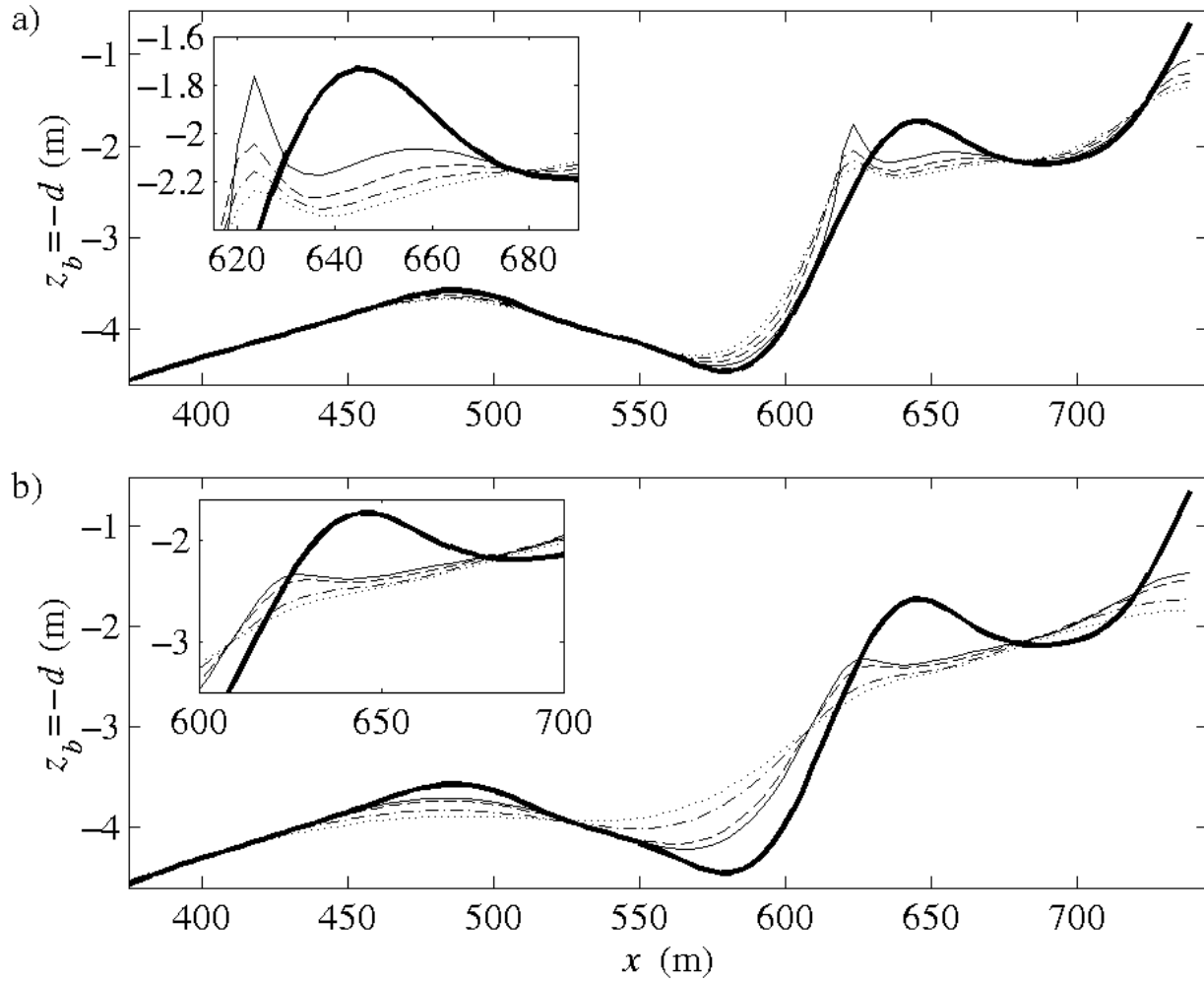


Fig. 67 : Evolution du profil P025-0125 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) t=1h, (- -) t=2h, (-·-) t=3h, (···) t=4h, (b) (—) t=6h, (- -) t=8h, (-·-) t=16h, (···) t=24h.

Tâche C2 : profil avec engraissement des barres - tempête classique.

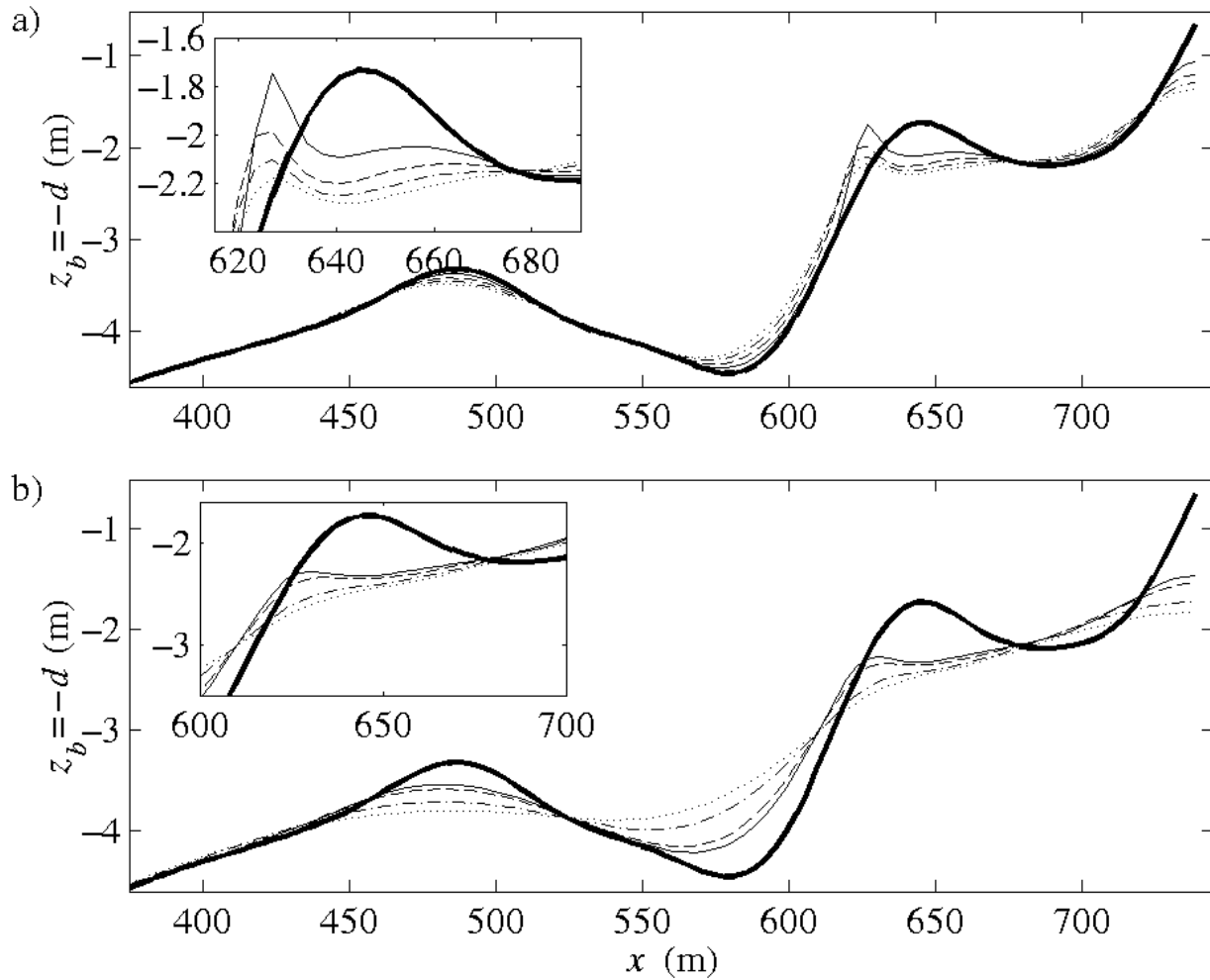


Fig. 68 : Evolution du profil P05-0125 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) t=1h, (- -) t=2h, (-·-) t=3h, (···) t=4h, (b) (—) t=6h, (- -) t=8h, (-·-) t=16h, (···) t=24h.

5.2. Selon le code TELEMAC

La tâche C2 consiste à faire des simulations en prélevant et rechargeant les barres interne et externe. Plusieurs scénarios ont été définis (Fig. 69). Pour ces différents rechargements ou prélèvements nous avons considéré des dépôts ou souilles de différentes hauteurs ou profondeurs allant de 0,125m à 1m. La plupart des simulations seront faites avec deux hauteurs ou profondeurs significatives 0,5m et 1m. La forme des rechargements ou prélèvements est de type gaussien (Fig. 70). L'ensemble des simulations réalisées sur une durée d'évolution des fonds de 24h est récapitulé dans le tableau 17.

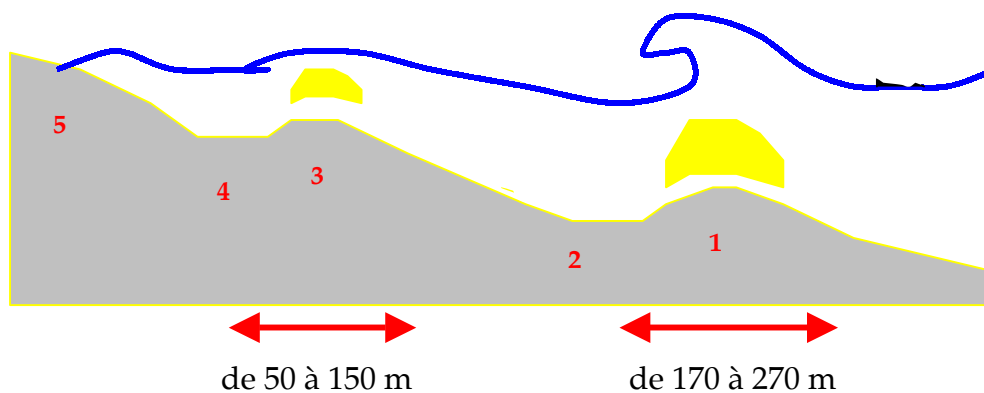


Fig. 69 : Cas C2, scénarios de rechargement envisageables. Les simulations se feront sur les positions 1 et 3.

	TT (Hs=1m, Ts=6,5s)	TC (Hs=2,5m, Ts=7s)	TE (Hs=4m, Ts=10s)
B.E +0,125 m	2DH (Bi,) M1DH(Bi)	2DH (Bi,) M1DH(Bi)	2DH (Bi,) M1DH(Bi)
B.E. +0,25 m	2DH (Bi) M1DH(Bi)	2DH (Bi) M1DH(Bi)	2DH (Bi) M1DH(Bi)
B.E. +0,5 m	2DH (Bi, SV) M1DH(Bi,Dw,Ri,Ba,CL)	2DH (Bi, SV) M1DH(Bi,Dw,Ri,Ba,CL)	2DH (Bi, SV) M1DH(Bi,Dw,Ri,Ba,CL)
B.E. +1 m	2DH (Bi, SV) M1DH(Bi,Dw,Ri,Ba,CL)	2DH (Bi, SV) M1DH(Bi,Dw,Ri,Ba,CL)	2DH (Bi, SV) M1DH(Bi,Dw,Ri,Ba,CL)
B.I. +0,5 m	M1DH(Bi)	M1DH(Bi)	M1DH(Bi)
B.I. +1 m	2DH (Bi) M1DH(Bi)	2DH (Bi) M1DH(Bi)	2DH (Bi) M1DH(Bi)
B.I.&B.E. +0,5m	M1DH(Bi)	M1DH(Bi)	M1DH(Bi)
B.I.&B.E. +1 m	2DH (Bi) M1DH(Bi)	2DH (Bi) M1DH(Bi)	2DH (Bi) M1DH(Bi)

Tabl. 17 : Ensemble des simulations effectuées pour la tâche C2, avec $\Theta=0^\circ$ et 20° et M1DH = modèle multi1dh, 2DH=chaîne de code ARTEMIS-TELEMAC2D-SISYPHE, Formules de transport de Bi=Bijker, DW=Dibajnia-Watanabe, Ri=Ribberink, Ba=Bailard, SV=Soulsby-Van Rijn, CL=Camenen-Larson (Charriage).

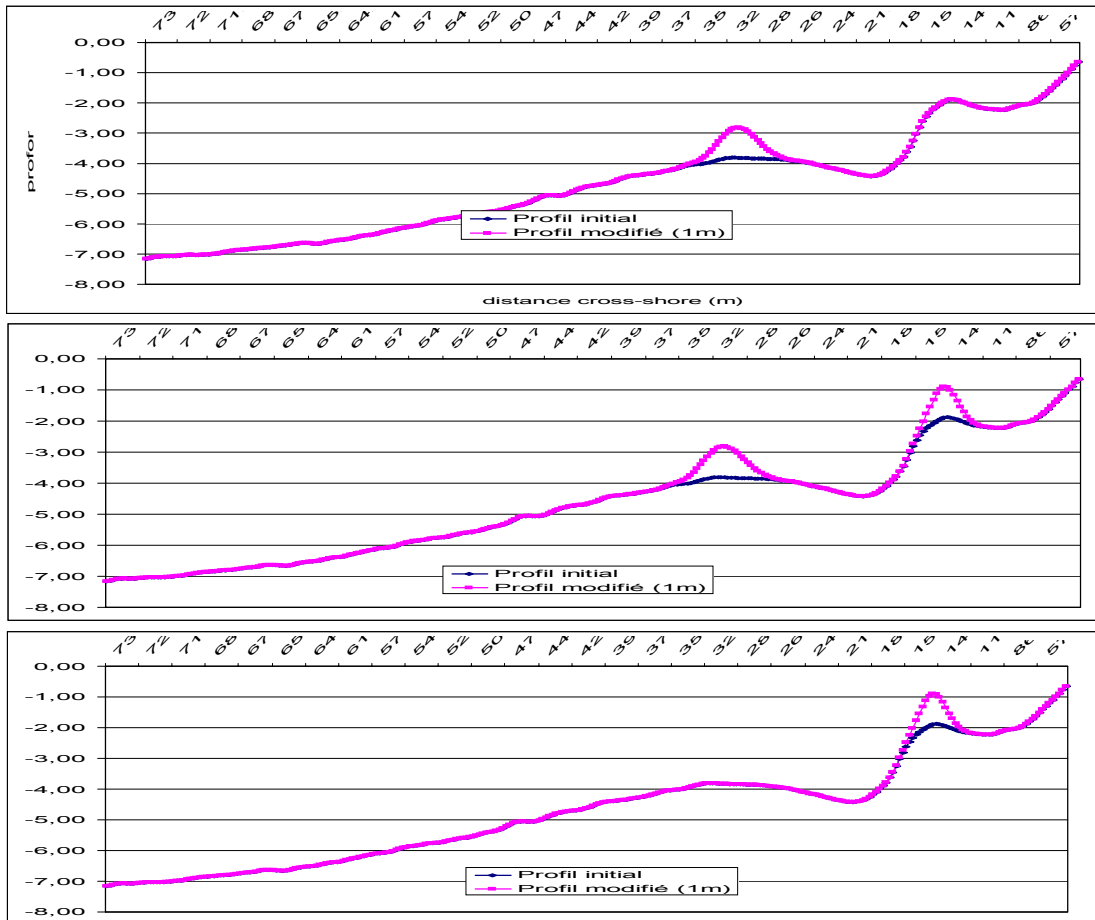


Fig. 70 : Cas C2 : Scénarios de rechargement envisageables (a) rechargement de la barre externe, (b) rechargement de la barre externe et interne, (c) rechargement de la barre interne

Si on compare les résultats entre les différentes simulations pour des dépôts de 1m au dessus des barres, on peut en conclure que la protection de la plage sera efficace si la barre interne est moins attaquée par les houles. Dans le cas le plus extrême de la tempête exceptionnelle, pour le cas du rechargement de la barre interne seulement, on a la barre interne qui est érodée sur environ 10m et la barre externe sur 50m. Pour le cas du rechargement de la barre externe, la barre interne est érodée sur environ 7m et la barre externe sur 25m (Figs. 71 et 72). Dans le cas d'un rechargement sur les deux barres, on note que la barre interne est érodée sur une largeur de 8 à 10m et la barre externe sur 35m. Toutes ces érosions de barres se font sur la face orientée

vers le large. Dans certains cas, il y a aussi une diminution de la hauteur de la barre externe de 10 à 15 cm. En conclusion, il semblerait que les rechargements sur les barres externes soient les plus efficaces.

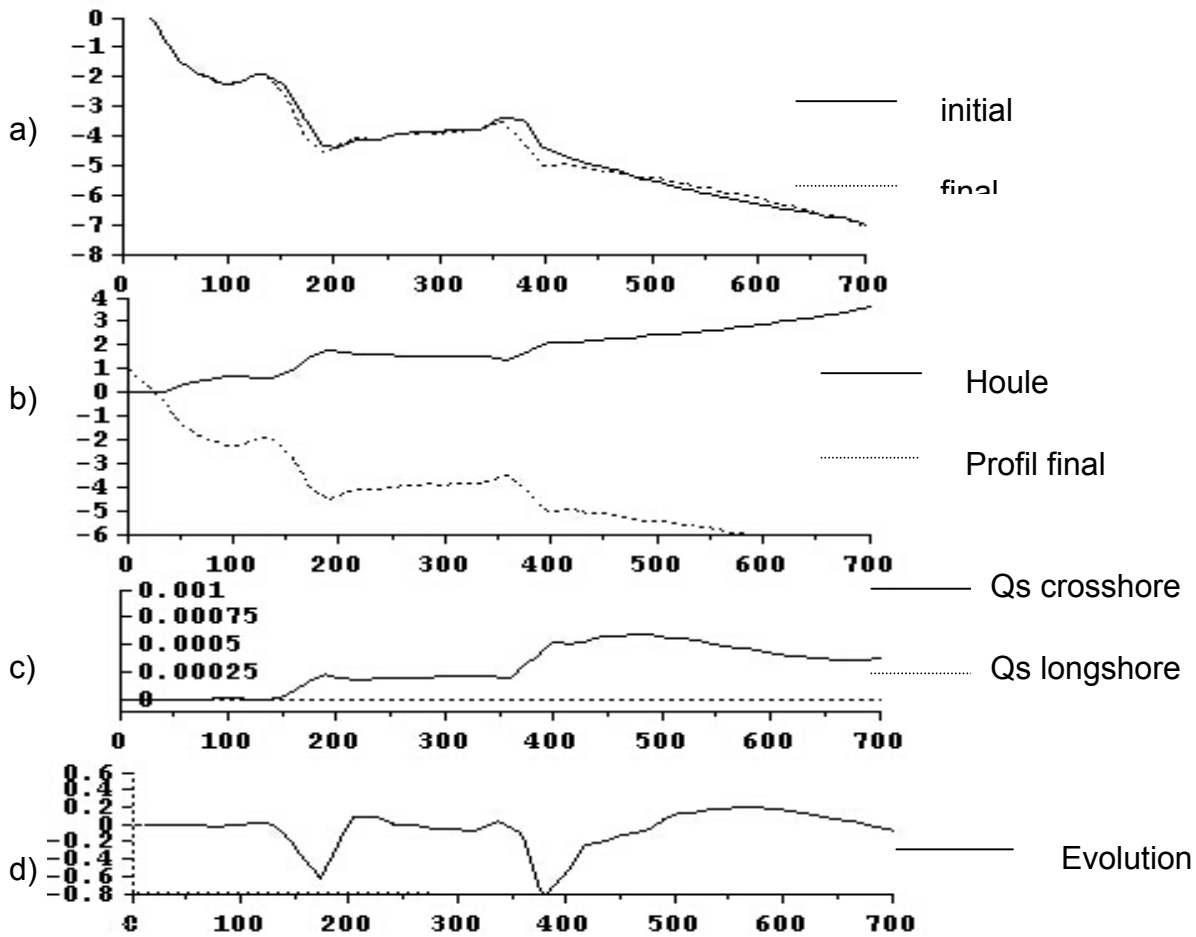


Fig. 71 : Cas B.E. + 1 m, profil P5 (x=200m), Tempête exceptionnelle (TE : Hs=4m, Ts=10s) $\alpha=0^\circ$, simulation de 24h, formule de transport de Bijker, modèle multi1DH, (a) fond initial et final, (b) fond final et hauteur de houle, (c) débit solide cross-shore (perpendiculaire à la côte, positif vers le large) et longshore (parallèle à la côte, positif vers le nord du site)) et (d) évolution du fond en 24h.

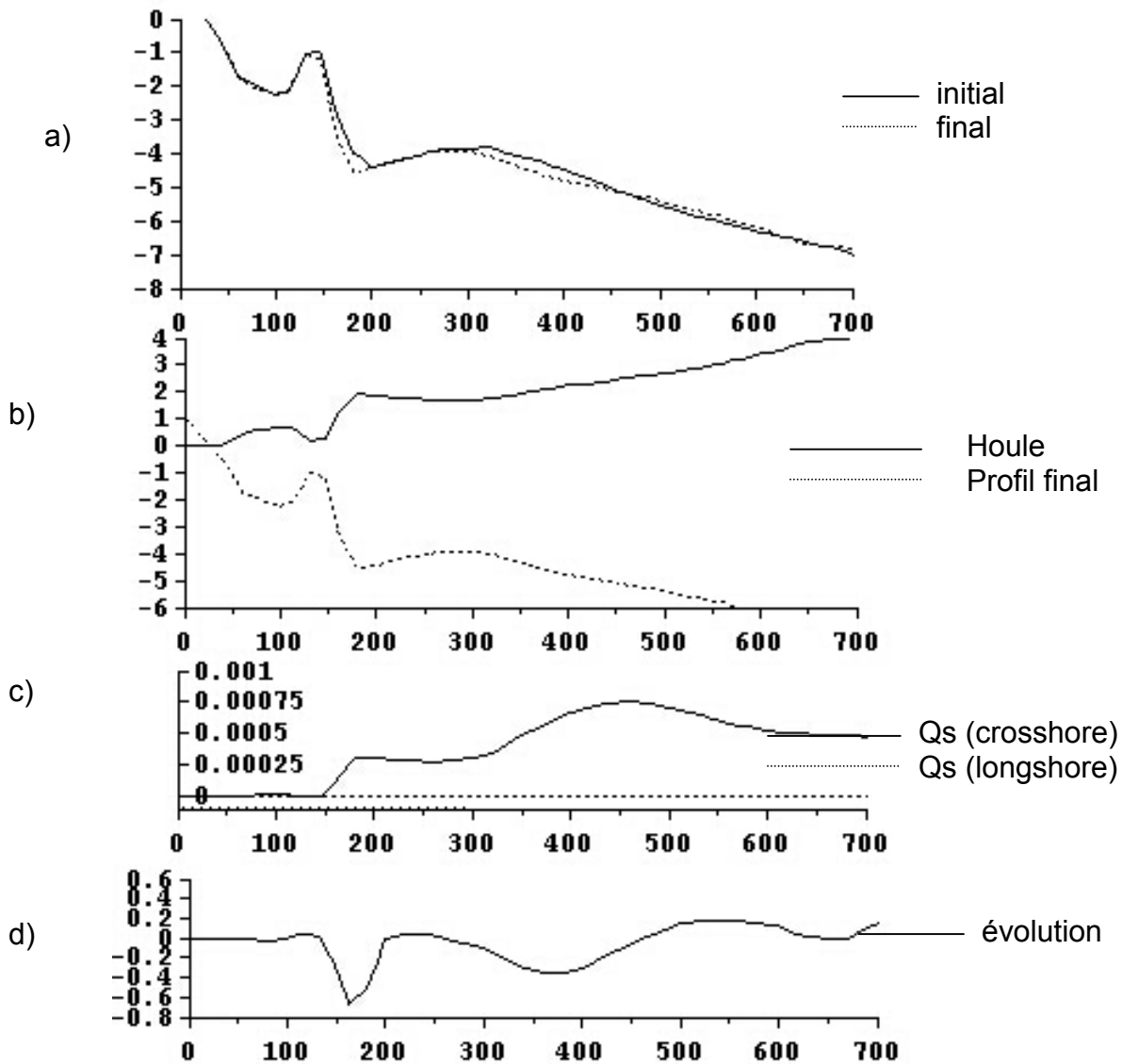


Fig. 72 : Cas B.I. + 1 m : profil P5 (x=200m), Tempête exceptionnelle (TE : Hs=4m, Ts=10s) $\alpha=0^\circ$, simulation de 24h, formule de transport de Bijker, modèle multi1DH, (a) fond initial et final, (b) fond final et hauteur de houle, (c) débit solide cross-shore (perpendiculaire à la côte, positif vers le large) et longshore (parallèle à la côte, positif vers le nord du site) et (d) évolution du fond en 24h.

6. Tâche C3 : prélèvement de la barre interne au profit de la barre externe

6.1. Selon MODHYS

Deux profils ont été construits : engraissement de la barre externe de 0,5 m (P05) et de 1 m (P1) afin de déterminer l'impact de la hauteur de l'engraissement, la barre interne étant supprimée dans les deux cas et remplacée par un profil de type Dean (voir tâche C1, profil sans barre).

Jusqu'à la fosse externe, le comportement est le même que celui obtenu pour les profils P05-0 et P1-0 (Tâche C2 : engraissement de la barre externe seule), c'est-à-dire une augmentation identique au niveau de la barre externe du maximum du taux de dissipation de l'énergie de la houle par rapport au cas de référence (Fig. 73b) et donc du flux de sédiments (Fig. 74b). A partir de la fosse externe et jusqu'à l'extrémité du profil, on retrouve un comportement très similaire à celui obtenu avec un profil sans barre (Tâche C1). En effet, il y a apparition d'un pic de concentration de sédiments au fond localisé au voisinage de la côte ($x \approx 710$ m). Cela entraîne un pic pour le flux total de sédiments vers le large au même emplacement, maximum (en valeur absolue) d'autant plus fort que l'engraissement de la barre externe est faible. Ce pic étant très prononcé, il induit un fort gradient du flux de sédiments (Fig. 74c) en comparaison à celui estimé au niveau de la barre externe. Pour P1, il reste cependant inférieur (environ la moitié) à celui obtenu au niveau de la barre externe alors que pour P05, il y a un rapport de plus de 12 entre le maximum au niveau de la barre interne et celui de la barre externe. De plus, ce maximum est obtenu pour les valeurs positives du gradient qui correspondent à l'érosion du profil. Il semble important de noter que les valeurs obtenues sont à peine plus faibles que celles calculées à partir de P05-0 et P1-0, induites dans ces deux cas par la présence de la barre interne.

Si l'on analyse maintenant l'évolution du fond (Figs. 75 (P05) et 76 (P1)), l'érosion de la barre externe est identique à celle observée pour P05-0 et P1-0 (Figs. 61 et 62 respectivement). Par contre, la fosse « externe » est comblée beaucoup moins rapidement que lorsque la barre interne est présente puisque l'érosion de cette dernière induit un apport de sable qui va se loger dans la fosse externe. La houle ayant perdu une part importante de son énergie au niveau de la fosse externe, la formation d'une barre au voisinage du rivage et par là même le processus d'érosion sont plus lents que dans le cas du profil sans barre (Tâche C1-Fig. 53). On peut également remarquer que le profil P05 subit une érosion plus importante et plus rapide que P1. De plus, si l'on compare les évolutions de P1-0 et P1 au plus près de la côte, il est important de relever qu'au dernier point de mesure, la profondeur est plus élevée pour P1 que pour P1-0, ce qui tend à montrer que l'érosion de côte est plus forte sans la barre interne, dans les limites de validité du modèle utilisé.

Tâche C3 : prélèvement sur la barre interne au profit de la barre externe - tempête classique.

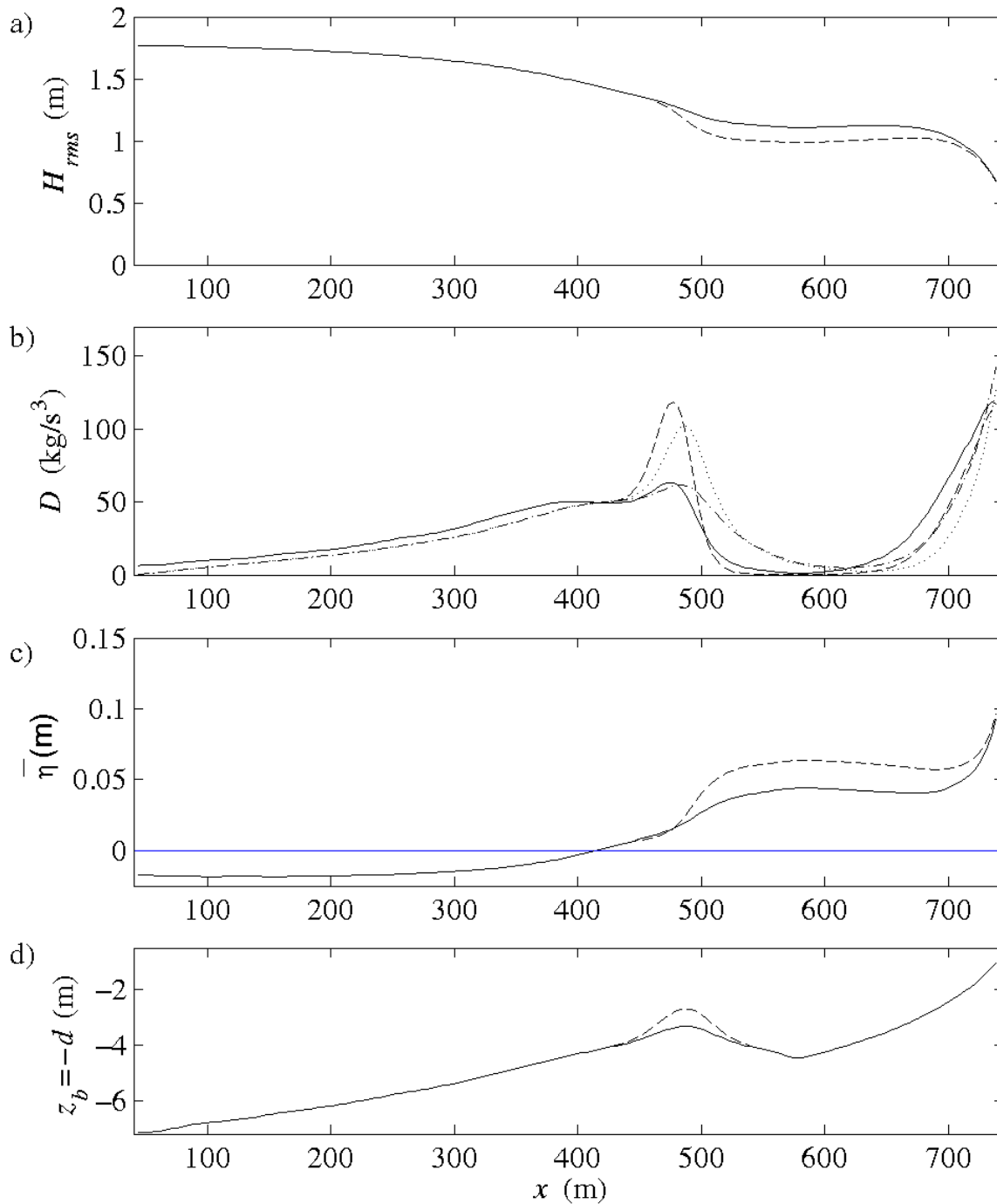


Fig. 73 : Profils de (a) hauteur de houle $H_{rms}(x)$ obtenus pour (—) P05, (- -) P1, (b) taux de dissipation de l'énergie de la houle $D_w(x)$ pour (—) P05, (- -) P1 et du rouleau de déferlement $D_r(x)$ pour (-•-) P05, (···) P1, (c) niveau moyen de la surface libre NMSL $\bar{\eta}(x)$ pour (—) P05, (- -) P1, (d) (—) P05, (- -) P1

Tâche C3 : prélèvement sur la barre interne au profit de la barre externe - tempête classique.

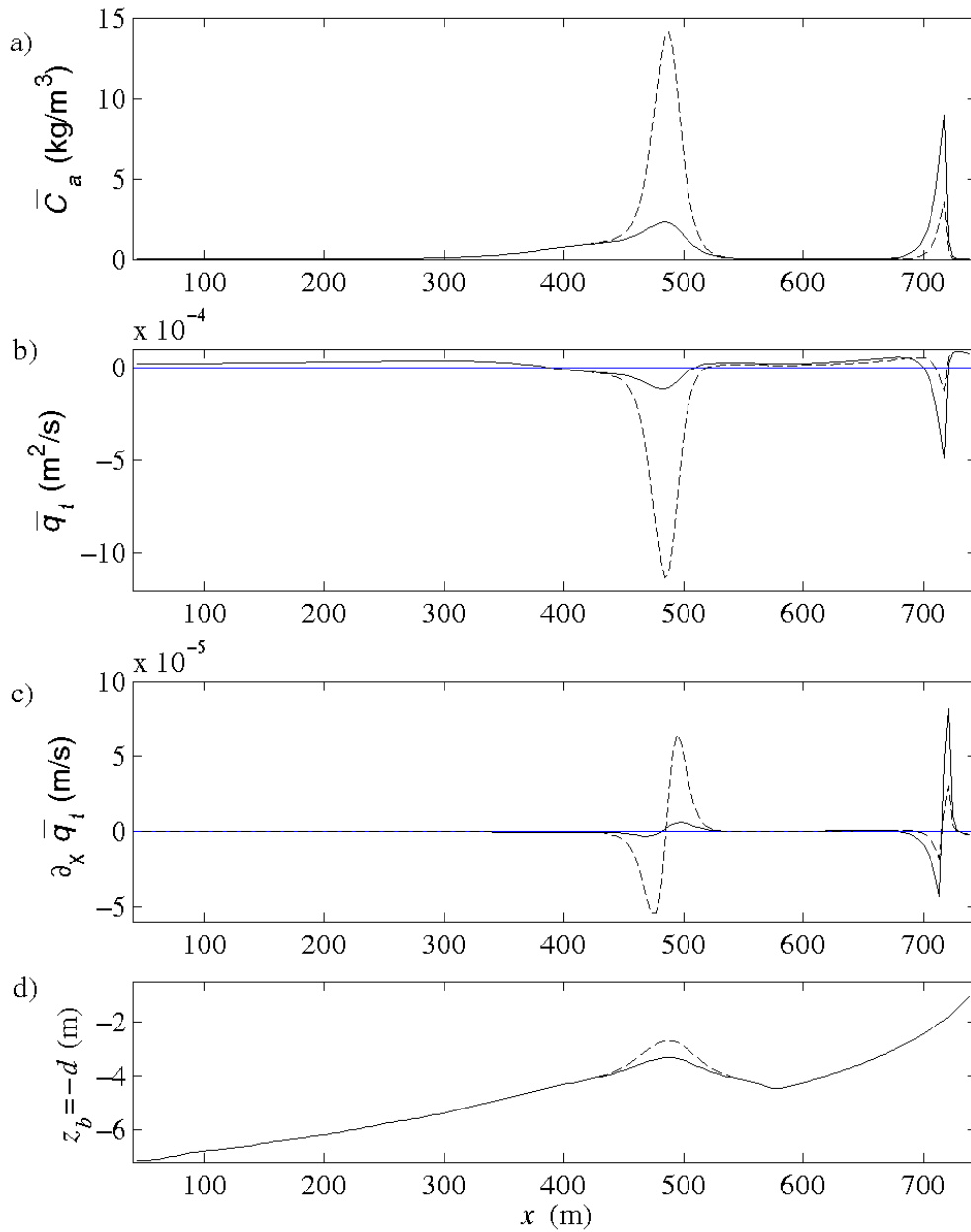


Fig. 74 : Profils de (a) concentration de référence au fond $\bar{C}_a(x)$, (b) flux total de sédiment $\bar{q}_t(x)$, (c) gradient horizontal du flux total de sédiment $\partial_x \bar{q}_t(x)$ obtenus pour les profils (d) (—) P05, (- -) P1.

Tâche C3 : prélèvement sur la barre interne au profit de la barre externe - tempête classique.

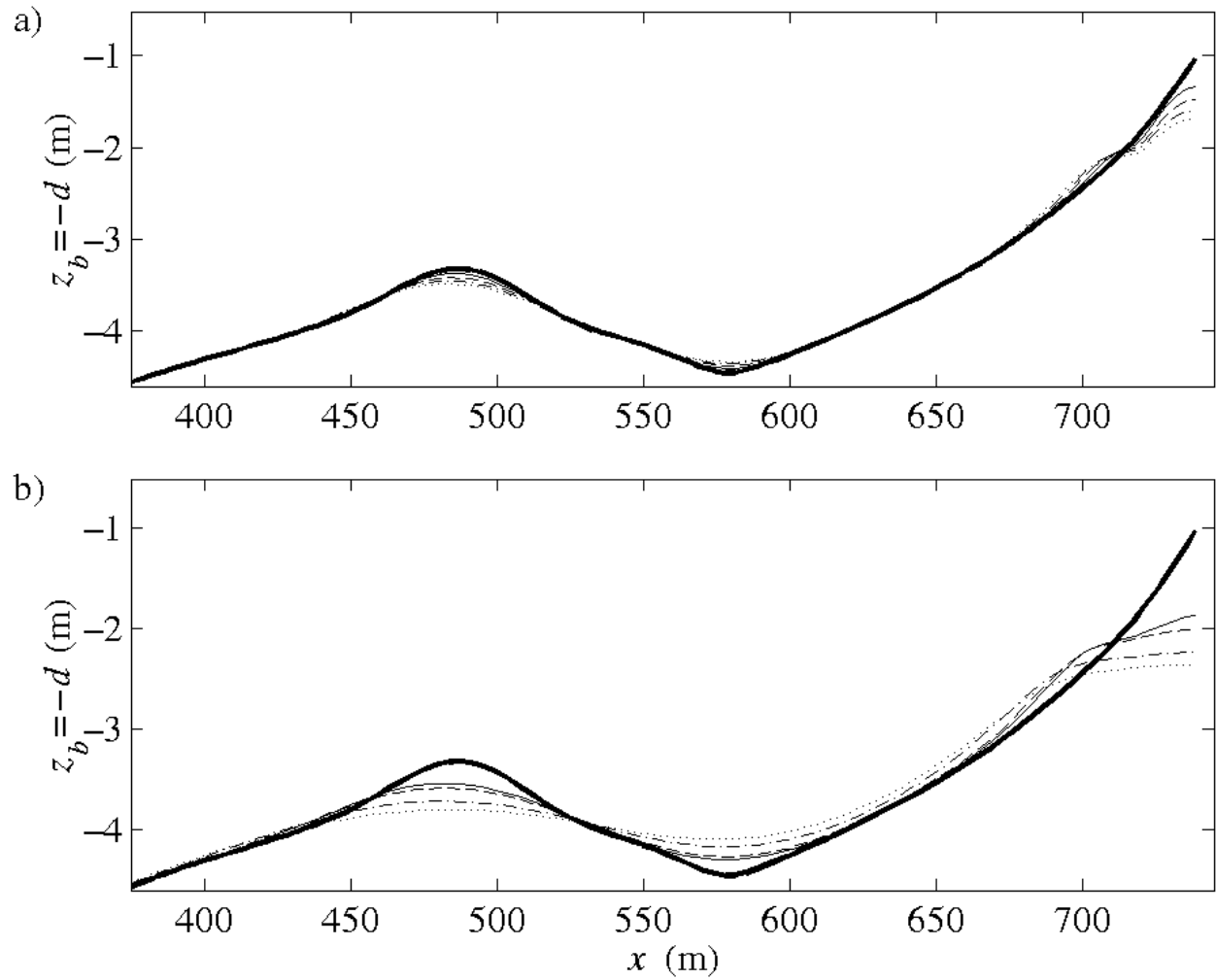


Fig. 75 : Evolution du profil P05 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-·-) $t=3h$, (···) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-·-) $t=16h$, (···) $t=24h$.

**Tâche C3 : prélèvement sur la barre interne au profit de la barre externe -
tempête classique.**

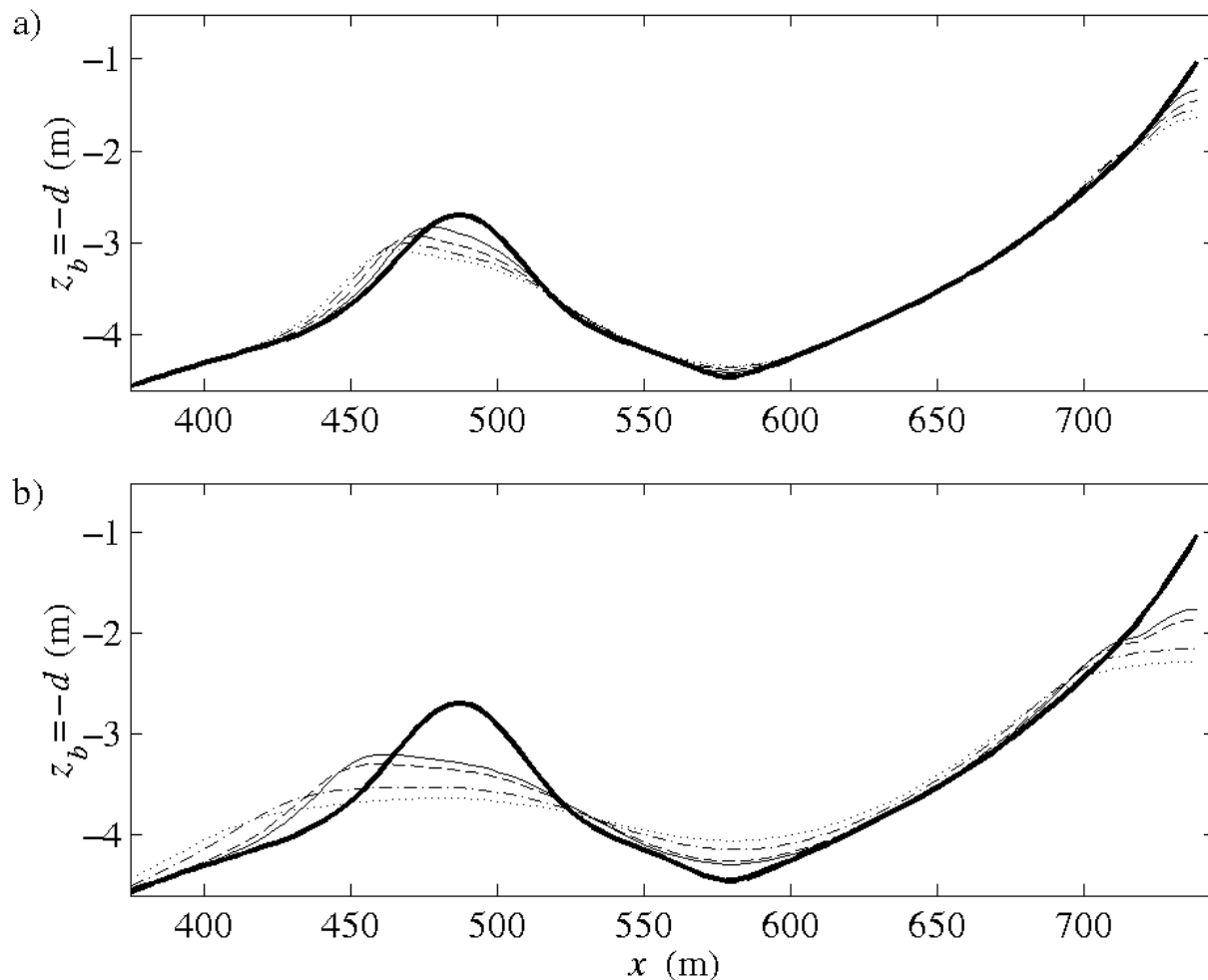


Fig. 76 : Evolution du profil P1 (—) obtenus à différentes heures : (a) (—) $t=1h$, (- -) $t=2h$, (-·-) $t=3h$, (··) $t=4h$, (b) (—) $t=6h$, (- -) $t=8h$, (-·-) $t=16h$, (··) $t=24h$.

6.2. Résultats avec la chaîne TELEMAC

Dans le cas d'un rechargement de la barre externe en prélevant sur la barre interne (Fig. 77) on note que la barre interne est érodée sur une largeur de 8m et la barre externe de 40 à 50m. Mais dans ce cas une érosion visible apparaît dans la fosse interne et sur le bas de plage.

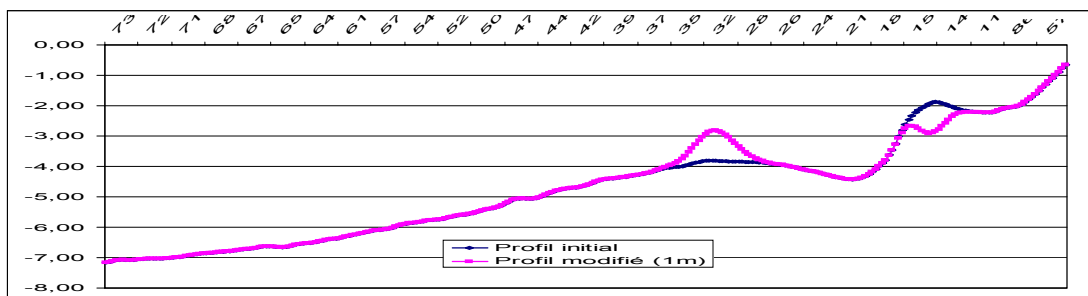


Fig. 77 : rechargement de la barre externe et prélèvement de la barre interne

7. Tâche C4 : création d'une nouvelle barre artificielle au large de la barre externe

En complément des essais menés en utilisant la chaîne de calcul, et compte tenu de l'évolution de l'état de la question, en cours de programme, aux Pays-Bas notamment, on a réalisé une simulation dans des conditions qui n'ont pas été prévues initialement au contrat. Cette tâche C4 consiste à créer une barre artificielle au large de la barre externe. Trois scénarios de construction de la nouvelle barre ont été employés (Fig. 78). Pour l'essai 3, le plus conséquent, on remarque que bien que la barre interne soit érodée sur environ 8m et la barre externe sur 40m, les barres restent globalement stables la position de leurs crêtes variant très peu (Fig. 79). On remarque aussi que le sable déplacé vers le large est arrêté par la nouvelle barre au large. On peut donc supposer qu'il ne sera pas complètement perdu. Cette réserve de sable pourra remonter vers les barres externe et interne par beau temps pour permettre leur reconstruction naturelle et ainsi protéger plus efficacement la plage. Ce comportement est déjà mis en évidence lors des tempêtes puisque cette nouvelle barre tend à migrer vers la côte (Fig. 79).

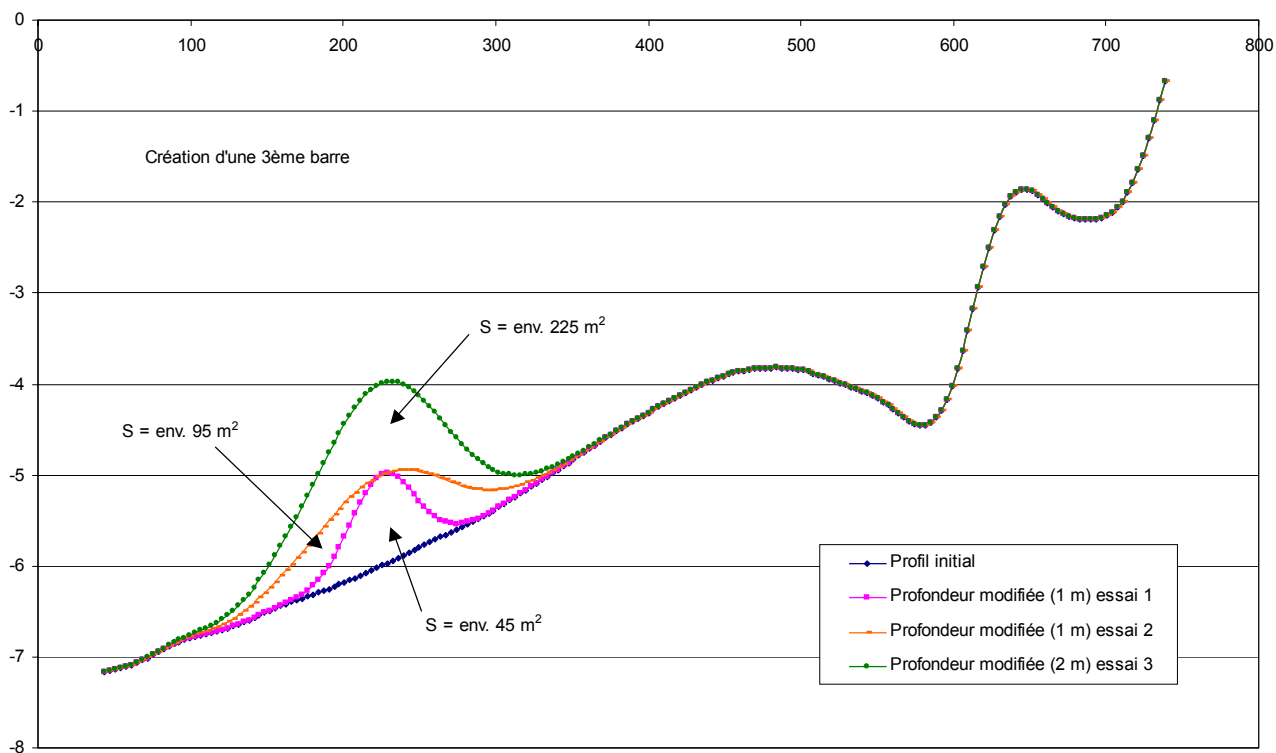


Fig. 78 : Cas C4, Scénarios de rechargement en créant une barre au large de la barre externe.

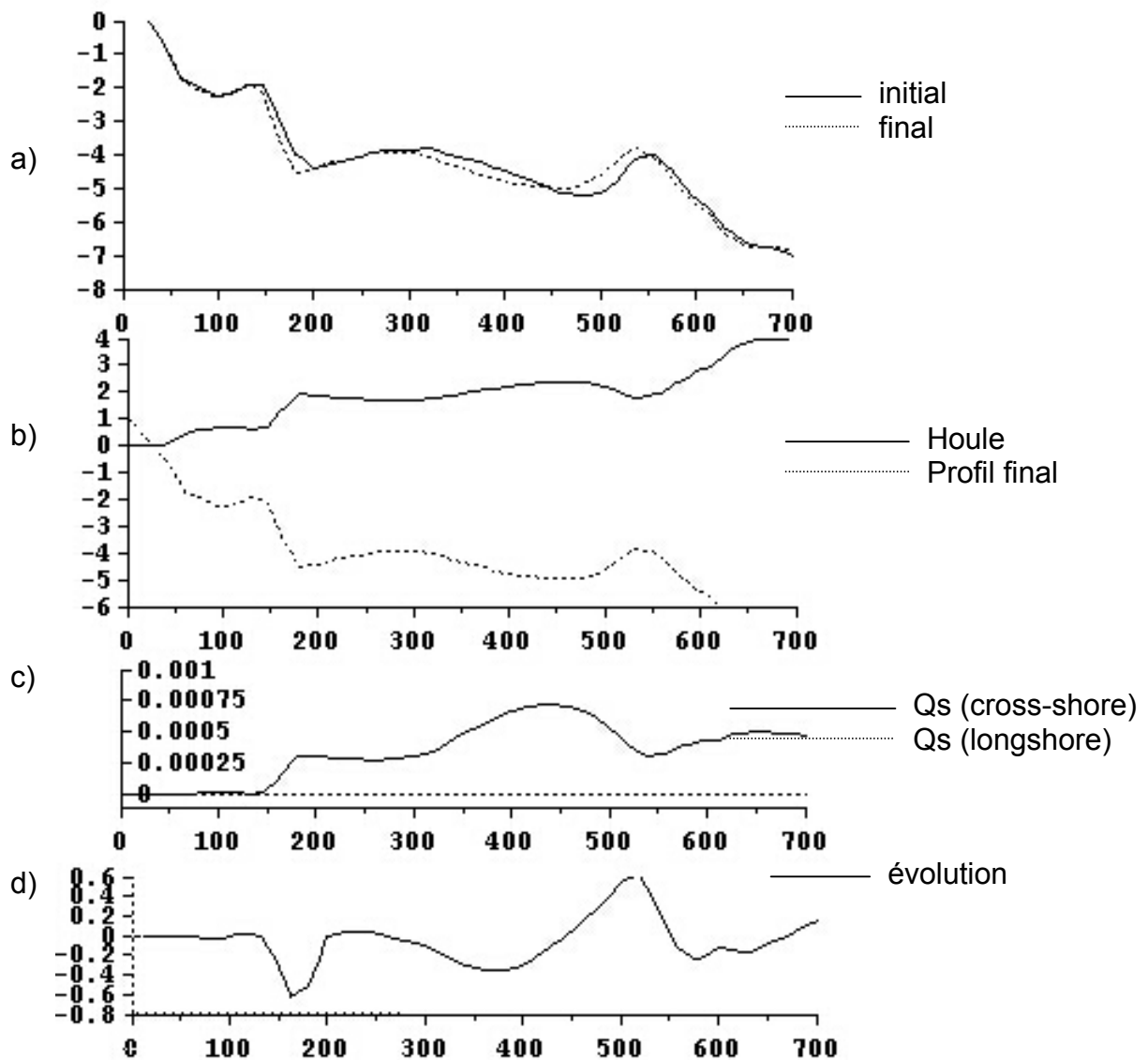


Fig. 79 : C4 essai3, profil P5 ($x=200m$), Tempête exceptionnelle (TE : $H_s=4m, T_s=10s$) $\alpha=0^\circ$, simulation de 24h, formule de transport de Bijker, modèle multi1DH, (a) fond initial et final, (b) fond final et hauteur de houle, (c) débit solide cross-shore (perpendiculaire à la côte, positif vers le large) et longshore (parallèle à la côte, positif vers le nord du site) et (d) évolution du fond en 24h.

8. Conclusions

8.1. Sur les conditions expérimentales

Il est clair que les conditions naturelles décrites dans les premières parties sont notablement plus complexes que les situations obtenues par simulation. L'extrême diversité naturelle ne peut encore être reproduite (le cas N.O.M., par exemple, n'a pas été envisagé). Mais il faut remarquer que les modélisateurs ont été gênés par le fait que les profils bathymétriques n'atteignent pas la ligne de côte mais s'arrêtent sur les petits fonds de 0,5 m à 1 m. Cette contrainte des conditions opérationnelles sur le terrain (il est difficile de rejoindre la plage en « beachant », même par faible agitation, tout en conservant la possibilité de sonder dans les très petites profondeurs d'eau de l'avant-plage) doit être nécessairement surmontée en vue d'une utilisation des modèles dans la perspective de connaître le décalage du trait de côte entre deux configurations morphologiques consécutives. Cette contrainte de terrain est redoublée par la difficulté qu'ont les modèles utilisés à prédire l'évolution des zones émergées.

Une autre faiblesse des données expérimentales est le manque de référence absolue sur le niveau moyen au cours des tempêtes à la côte. Ce niveau, rapidement changeant sur un profil transversal en raison des processus de set-down et set-up d'une part, de surcote de tempête d'autre part, n'a pas été pris en considération dans les essais réalisés. Les simulations, par MODHYS notamment, indiquent que, dans le cas de la tempête exceptionnelle, on ne peut montrer de fortes différences d'impact au voisinage de la côte par rapport à la tempête classique. Il est donc indispensable, dans les deux cas de tempête envisagés, d'avoir des mesures du niveau moyen de la surface libre afin de mener une étude plus réaliste (avec les véritables mesures concernant la houle).

8.2. Sur les limitations des modèles

Les modélisateurs ont noté les points forts des codes employés et ceux qui méritaient une amélioration.

Cette étude a permis de mettre en évidence la capacité du modèle numérique MODHYS à fournir un éclairage intéressant sur l'utilisation des barres sédimentaires dans la lutte contre l'érosion côtière à travers les multiples configurations de bathymétrie envisagées. L'intérêt est manifeste quand il s'agit des phases destructives survenant au cours des tempêtes. Par contre, le modèle ne permet pas de rendre compte parfaitement de la reconstruction de la plage, du moins dans la configuration utilisée, en régime de tombant de tempête. Il serait nécessaire d'effectuer des simulations avec des options et des valeurs différentes des principaux paramètres afin de conclure sur le thème encore difficilement abordable par les modèles numériques que représente la reconstruction d'un profil de plage.

Le modèle multi1DH est un modèle crossshore pour lequel les vitesses sur le fond nécessaires au calcul du transport solide sont calculées avec des équations paramétrées. Cependant, dans le cas de houles frontales, il semble ne donner que des indications qualitatives correctes. Dans le cas des houles avec un angle d'incidence ou avec le modèle météo, les résultats indiquent de bonnes tendances pour l'évolution des barres par rapport à ce qui a été observé sur le terrain. Ce modèle simple présente l'intérêt d'être peu coûteux en temps de calcul et de

permettre une première analyse qualitative avec des bathymétries réelles comme pour cette étude sur la plage de Sète.

Le modèle 2DH, par couplage des trois codes Houles / Hydrodynamique / Evolution des fonds, permet un calcul plus réaliste des champs de vitesses. Cependant, les simulations montrent qu'il est nécessaire de prendre en compte une houle incidente (ce qui est souvent le cas sur les plages), et non frontale, pour avoir un résultat cohérent. Les simulations avec le modèle météo ou sur une journée sont par contre plus coûteuses en temps de calcul. De plus, le logiciel ARTEMIS nécessite un maillage plus fin.

La combinaison des deux approches paraît utile pour évaluer les évolutions des fonds et formes sédimentaires à court et moyen termes. La limitation de l'analyse, d'un point de vue quantitatif, vient également des grandes différences obtenues selon la formule de transport sédimentaire utilisée (Fig. 79). La dernière formule testée (Camenen-Larson) ne comporte pour l'instant que la partie charriage, les tests définitifs avec la partie suspension feront l'objet d'une présentation à l'ICCE 2004 (Larroudé *et al.*, 2004).

8.3. Sur les recommandations

Dans le cas d'une tempête classique les deux modèles utilisés, MODHYS et la chaîne TELEMAC, montrent l'importance d'engraisser la barre externe afin de diminuer l'énergie de la houle à l'approche de la barre interne et de la ligne de côte. Par contre, augmenter la hauteur de la barre interne ou encore faire disparaître les barres littorales aggrave les phénomènes d'érosion.

Concernant les deux autres régimes de houle, l'impact de la tempête exceptionnelle au large a été mis en évidence avec les mêmes effets que la tempête classique.

Les meilleurs scénarios de protection par rechargement sont donc ceux qui rechargent la barre externe ou créent une nouvelle barre au large.

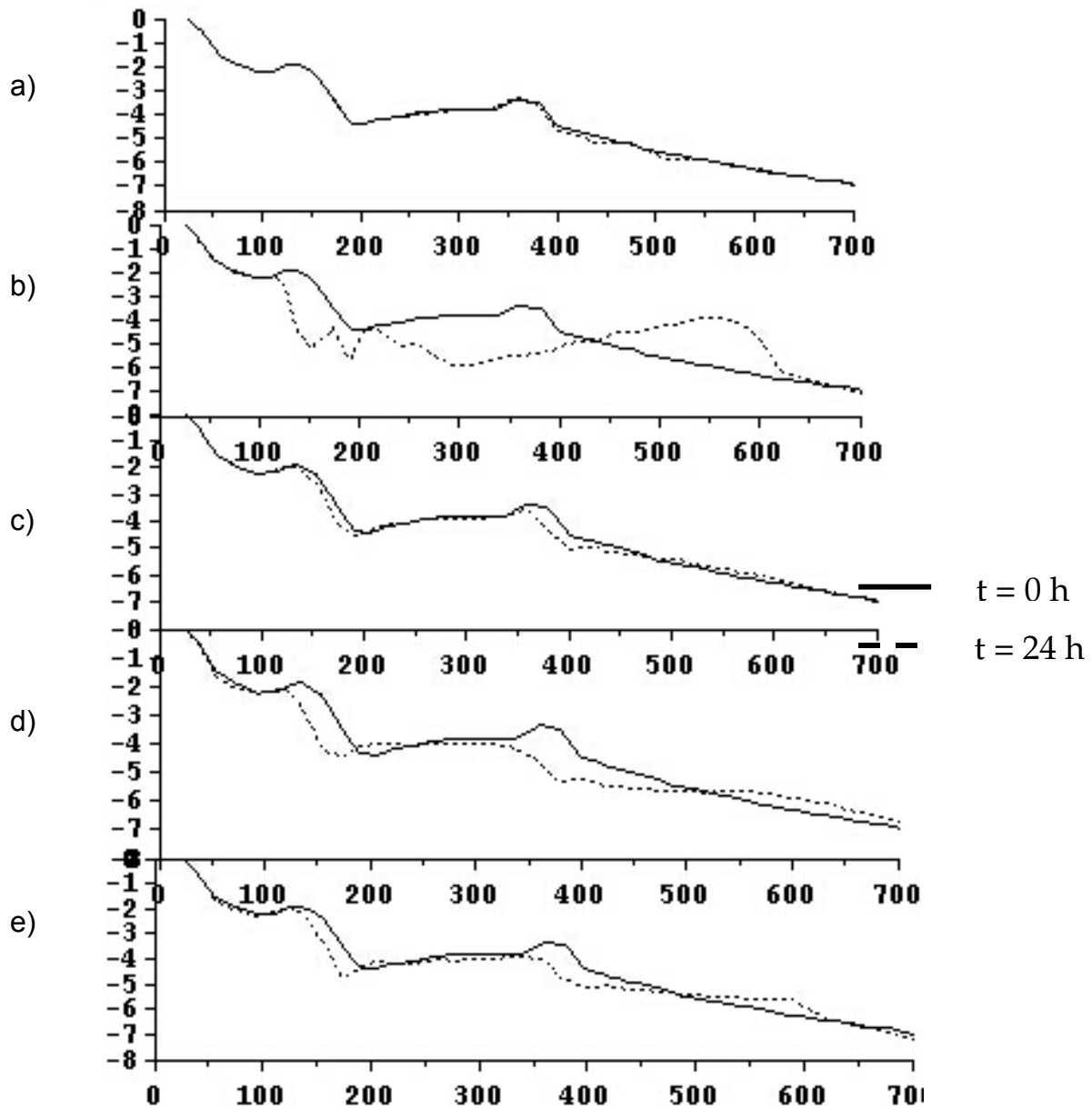


Fig. 79 : Cas B.E. + 1 m : profil P5 ($x=200\text{m}$), Tempête exceptionnelle (TE : $H_s=4\text{m}, T_s=10\text{s}$) $\alpha=0^\circ$, simulation de 24h, modèle multi1DH, (a) Camenen-Larson, (b) Bailard, (c) Bijker, (d) Dibajnia-Watanabe et (e) Ribberink.

VI. MOYENS ET ESTIMATION DES COUTS

1. Introduction

Le but de ce chapitre est d'estimer le coût de mise en œuvre des solutions retenues suite aux modélisations réalisées. Il est successivement présenté :

- Les solutions retenues,
- La description des moyens nécessaires pour les réaliser,
- L'estimation des coûts.

2. Solutions retenues

Les diverses modélisations réalisées ont montré que le rechargement de la barre externe ou la création d'une barre externe constituent des moyens efficaces pour lutter contre le processus d'érosion. Cependant il paraît également intéressant du point de vue de l'utilisation balnéaire de la plage de procéder éventuellement en complément au rechargement de la barre interne et de la plage (Fig. 81).

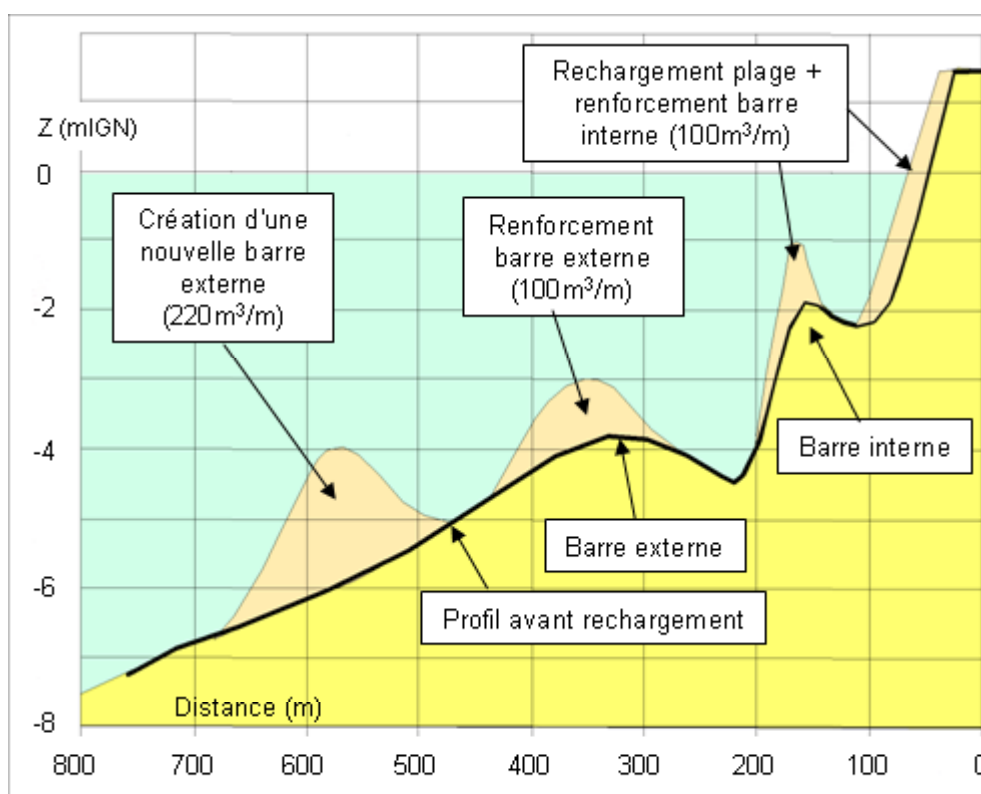


Fig. 81 : Profil actuel - Rechargements pris en compte

Au total cela conduit à retenir 4 types de solutions :

- Solution NBE (Nouvelle Barre Externe) : Création d'une nouvelle barre externe avec un rechargement de 220 m³ par mètre,

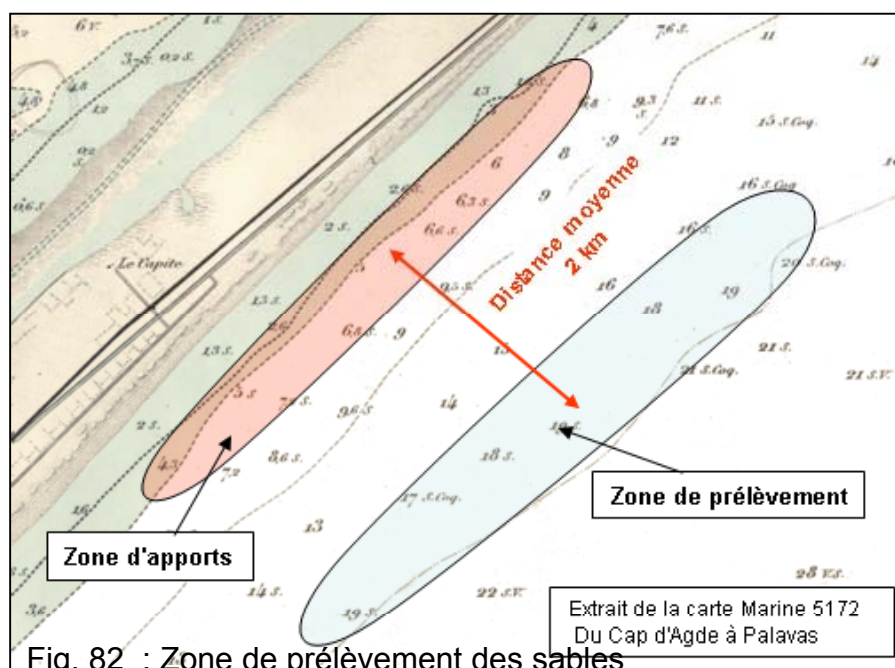
- Solution NBE+PI (Nouvelle Barre Externe + Plage + Barre Interne) : Création d'une nouvelle barre extérieure avec un rechargement de 220 m³ par mètre + rechargement de 100 m³ par mètre de la plage (avancée de 20 m environ) et barre interne,
- Solution RBE (Renforcement de la Barre Externe) : rechargement de la barre externe actuelle avec un rechargement de 100 m³ par mètre,
- Solution RBE+PI (Renforcement de la Barre Externe + Plage + Barre Interne) : rechargement de la barre externe actuelle de 100 m³ par mètre + rechargement de 100 m³ par mètre de la plage (avancée de 20 m environ) et barre interne.

Pour l'estimation des coûts il a été pris comme hypothèse que le linéaire de littoral traité était de 1000m ce qui conduit aux volumes suivants à mettre en place.

Solution	Volume (m ³) apporté pour 1000 m de littoral			
	Sur nouvelle barre externe	Sur barre externe actuelle	Sur plage et barre interne	Total
NBE	220 000			220 000
NBE + PI	220 000		100 000	320 000
RBE		100 000		100 000
RNE + PI		100 000	100 000	200 000

3. Zone de prélèvement des sables

Il a été considéré que les sables seraient prélevés par des fonds de -15 à -20m au droit de la zone à recharger (Fig. 82).



Il est fait comme hypothèse que la granulométrie des sables dans cette zone est analogue aux sables littoraux (tout au moins pour les barres externes ce qui reste à vérifier). Par ailleurs :

- avec des prélèvements dans de telles profondeurs il n'y a pas de risque d'érosion littorale du fait que la profondeur de prélèvement est deux fois plus importante que la profondeur limite d'action des houles qui est de l'ordre de -7 à -8m,
- une telle zone est très proche de la zone à recharger (de l'ordre de 2 km) ce qui minimise les déplacements des dragues et donc les coûts.

4. Moyens à mettre en œuvre

4.1. Drague aspiratrice en marche – Dragage du sédiment sur la zone de prélèvement.

Le rechargement sera effectué par moyens maritimes à l'aide d'une drague aspiratrice en marche (DAM ; Fig. 83).

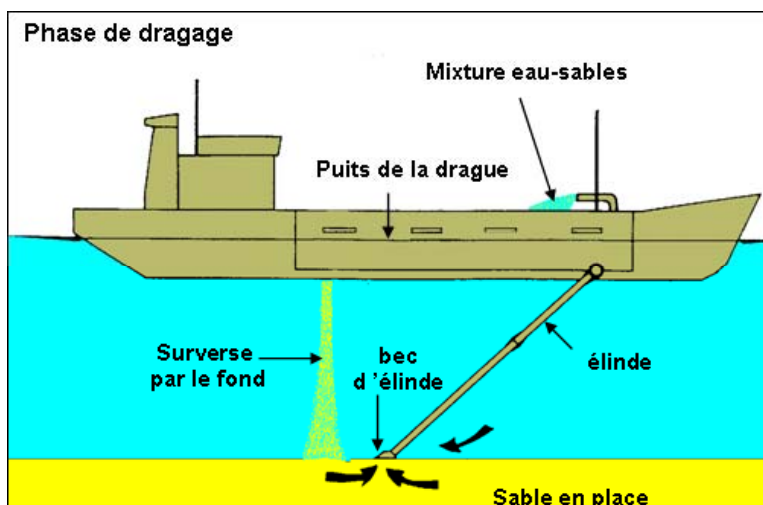


Fig. 83 : Drague aspiratrice en marche (DAM)

Une drague aspiratrice en marche (DAM) est une drague hydraulique qui retire les sédiments du fond grâce à une dépression du côté de l'admission (au sédiments (15 à 20% de sédiments ou puits de la drague. Pour optimiser le du dragage à de la surverse qui consiste à évacuer par trop-plein l'eau (et les sédiments fins) du puits pour augmenter le puits.

(DAM) est une drague hydraulique qui pompe centrifuge qui crée une dépression du côté de l'admission (au sédiments (15 à 20% de sédiments ou puits de la drague. Pour optimiser le du dragage à de la surverse qui consiste à évacuer par trop-plein l'eau (et les sédiments fins) du puits pour augmenter le puits.

4.2. Possibilités de mise en place du sable sur les zones à recharger

Une fois le puits de la drague rempli, la drague se déplace vers la zone à recharger pour déposer les sédiments. La procédure de mise en place des matériaux va dépendre de la profondeur à laquelle il faut les déposer. Plusieurs techniques sont possibles :

- Le clapage,
- Le rejet à l'aide d'un canon,
- Le refoulement à l'aide d'une canalisation.

Il convient de noter que l'on recherche à mettre en œuvre, toute chose étant égale par ailleurs en fonction du volume à traiter, un matériel de dragage le plus gros possible c'est-à-dire avec un tirant d'eau le plus important possible pour minimiser les coûts.

4.2.1. Le clapage

Les matériaux du puits sont clapés sous la drague par ouverture de portes situées sous le fond de la drague. Il faut que la hauteur d'eau sous la drague soit au moins égale au tirant d'eau de la drague + 0,5 m (clair sous quille) (Fig. 84).

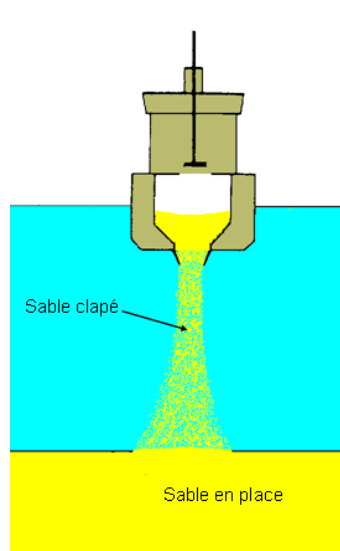


Fig. 84 : Clapage par une DAM

4.2.2. Le rejet à l'aide d'un canon

Dans ce cas la drague refoule une mixture sable-eau par l'intermédiaire d'un canon situé généralement à l'avant du navire (Fig. 85). La distance atteinte est de l'ordre de 50 à 100m suivant la puissance de la drague. Le tirant d'eau maximum de la drague est égal à la hauteur d'eau située à 50 à 100 m au large de la zone à recharger.



Fig. 85 : Refoulement par un canon

4.2.3. Rejet à l'aide d'une canalisation

Une canalisation posée sur les fonds est mise en place entre une bouée située au large et la zone de dépôt. A l'extrémité côté terre de la canalisation se trouve un ponton flottant qui supporte l'extrémité de la canalisation. Ce ponton est relié à la canalisation posée sur les fonds par une canalisation souple permettant au ponton d'être déplacé pour couvrir une certaine zone sans déplacer la canalisation fixe. La drague vient s'amarrer à la bouée, se relie à la canalisation en place par une canalisation souple et refoule une mixture eau-sédiment (Fig. 86).

La canalisation posée sur les fonds doit être déplacée au fur et à mesure que le rechargement progresse. Ce déplacement de conduite est effectué en obstruant les deux extrémités de la conduite et en la remplissant d'air ce qui permet sa flottaison et déplacement.

La canalisation peut avoir une longueur très variable (de quelques centaines de mètres à 2 à 3 km ou même plus). Plus la canalisation est longue et plus le tirant d'eau de la drague peut être important mais la puissance de refoulement augmente également.

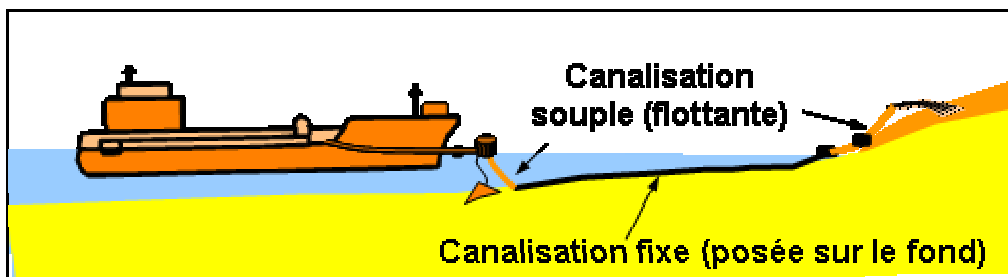


Fig. 86 : Rejet par l'intermédiaire d'une canalisation

4.3. Choix de mise en place du sable en fonction de la zone à recharger

4.3.1. Nouvelle barre externe

Pour créer une nouvelle barre externe les sables doivent être apportés dans des fonds de l'ordre de -6m avant rechargement et de l'ordre de -4m (crête de la nouvelle barre) après rechargement.

Par clapage le tirant d'eau de la DAM utilisable doit être de l'ordre de 3 m ce qui correspond à une drague ayant un puits de l'ordre de 1200 m³ soit environ 900 à 1000 m³ équivalent en place compte tenu du foisonnement dans le puits et du non remplissage complet de ce dernier.

Avec un rejet à l'aide d'un canon, la drague peut avoir un tirant d'eau de l'ordre de 5 à 6m ce qui correspond à un puits de 3000 m³ soit environ 2500 m³ équivalent en place.

4.3.2. Renforcement de la barre externe

Le clapage n'est pas envisageable du fait que la cote d'arase de la barre après rechargement est située à -3m soit un tirant d'eau de la drague de 2,5 m environ ce qui correspond à un puits de drague inférieur à 800 m³, c'est-à-dire de trop faible capacité pour être économiquement intéressant.

Un rejet à l'aide d'un canon peut être effectué au moyen d'une drague ayant un tirant d'eau de 4,5 m ce qui correspond à un puits de drague de l'ordre de 2000 m³ soit 1600 m³ en place.

4.3.3. Plage et barre interne

L'apport de sable doit se faire à l'aide d'une canalisation comme indiqué ci-avant. Comme le rechargement de cette zone doit être couplé soit à la création d'une nouvelle barre extérieure soit au renforcement de la barre extérieure il convient d'adapter la longueur de la canalisation au tirant de la drague qui sera utilisé pour ces opérations et également pour le rechargement de la plage et barre interne.

5. Estimation des coûts

Le coût d'une opération de rechargement se décompose en :

- Coût de l'amenée repli du matériel qui correspond au coût d'amenée de la drague et bateau de service depuis son port d'attache jusqu'au lieu des travaux et le retour au port d'attache,
- Coût de la fourniture, mise en place, déplacements et retrait de la conduite de refoulement (quand une conduite est nécessaire),
- Du coût du dragage-dépôt proprement dit qui s'estime à partir du coût journalier de la drague et de la durée du cycle complet constitué par les durées du :
 - dragage sur la zone de prélèvement (de l'ordre de 45 mn)
 - du transport entre la zone de prélèvement et de rejet, 30 mn aller-retour pour les 2 km à parcourir,
 - du temps de déchargement (quelques minutes pour le clapage, de l'ordre de 2 à 4h pour un rejet par canon et de l'ordre de 4 à 6h pour le refoulement par canalisation),
- Du stand-by du aux conditions de houle (les travaux ne peuvent se dérouler en période estivale) estimé à :
 - 10% du temps pour le rejet par canon,
 - 20% du temps dans les cas d'une part du clapage du fait de la mise en œuvre d'une drague de petite taille et d'autre part du refoulement du fait de la sensibilité à la houle du ponton de refoulement dans les petits fonds.

Sur la base de ces éléments les tableaux ci-après donnent l'estimation des coûts pour les différentes hypothèses envisagées pour 1000m de linéaire côtier.

A1. Création d'une nouvelle barre extérieure par clapage

	Volume à mettre en place (m3)	Volume puits (m3)	Amené-Repli (€ HT)	Conduite refoulement (€HT)	Durée dragage (jours)	Coût dragage (€HT)	Coût total (€HT) avec aléas (10%)
NBE	220 000	1 200	250 000		20	300 000	605 000

A2. Création d'une nouvelle barre extérieure par canon

	Volume à mettre en place (m3)	Volume puits (m3)	Amené-Repli (€ HT)	Conduite refoulement (€HT)	Durée dragage (jours)	Coût dragage (€HT)	Coût total (€HT) avec aléas (10%)
NBE	220 000	3 000	350 000		22	550 000	990 000

B1. Création d'une nouvelle barre extérieure (clapage)+ plage et barre interne par refoulement

	Volume à mettre en place (m3)	Volume puits (m3)	Amené-Repli (€)	Conduite refoulement (€)	Durée dragage (jours)	Coût dragage	Coût total (€) avec aléas (10%)
NBE	220 000	1 200	250 000		20	300 000	605 000
P+BI	100 000	1 200		150 000	25	375 000	577 500
						Total	1 182 500

B2. Création d'une nouvelle barre extérieure (canon)+ plage et barre interne par refoulement

	Volume à mettre en place (m3)	Volume puits (m3)	Amené-Repli (€)	Conduite refoulement (€)	Durée dragage (jours)	Coût dragage	Coût total (€) avec aléas (10%)
NBE	220 000	3 000	350 000		22	550 000	990 000
P+BI	100 000	3 000		150 000	16	325 000	522 500
						Total	1 512 500

C. Renforcement de la barre extérieure par canon

	Volume à mettre en place (m3)	Volume puits (m3)	Amené-Repli (€ HT)	Conduite refoulement (€HT)	Durée dragage (jours)	Coût dragage (€HT)	Coût total (€HT) avec aléas (10%)
NBE	100 000	2 000	300 000		13	260 000	616 000

D. Renforcement de la barre extérieure (canon)+ plage et barre interne par refoulement

	Volume à mettre en place (m3)	Volume puits (m3)	Amené-Repli (€)	Conduite refoulement (€)	Durée dragage (jours)	Coût dragage	Coût total (€) avec aléas (10%)
NBE	100 000	2 000	300 000		13	260 000	616 000
P+BI	100 000	2 000		150 000	21	420 000	627 000
						Total	1 243 000

Il apparaît que :

- pour la création d'une nouvelle barre externe une procédure par clapage est plus économique que par canon (605 000 €HT contre 990 000 €HT pour les 220 000 m³ à mettre en place sur un linéaire de 1000m),
- dans le cas de création d'une nouvelle barre externe + apport sur la plage et la barre interne l'utilisation d'une drague de relativement faible capacité reste économiquement la plus intéressante (1,2 M€ HT contre 1,5 M€HT pour les 220 000 m³ sur la barre externe + 100000 m³ sur la plage et barre interne) même si le refoulement sur la plage est plus économique avec la drague utilisée pour créer la barre externe avec le canon.
- Le coût du renforcement de la barre externe est 616 000 €HT (apport de 100 000 m³) et de 1,24 M€HT si on ajoute le rechargement de la barre interne et de la plage.

VII. LES PERSPECTIVES

Plusieurs questions sont ouvertes au terme de l'étude si l'on veut tirer profit des résultats obtenus ici. Elles concernent aussi bien des développements à donner aux outils mis en œuvre dans le cadre du programme que des approfondissements ou des interrogations nouvelles.

1. Le développement d'un code numérique

Le code numérique MODHYS ouvre des perspectives intéressantes pour prévoir les changements des conditions hydrodynamiques au passage des barres et les variations du transport sédimentaire qu'ils entraînent. La répartition des flux de sédiments calculés et les évolutions conséquentes du fond peuvent ainsi être pronostiqués.

Ce code reste toutefois un outil de laboratoire dans sa forme actuelle qui ne peut donc être distribuée. La création d'une interface serait nécessaire pour en permettre l'installation, ainsi que la rédaction d'un protocole d'utilisation susceptible d'être employé pour la constitution et la mise en œuvre des fichiers de données.

La transformation de ce code en logiciel pourrait être inscrite dans la suite du programme ; ce qui supposerait un travail supplémentaire de quelques mois faisant intervenir des stages d'école d'ingénieurs et un CDD.

2. L'approfondissement de la connaissance du fonctionnement des barres

Les relations morphodynamiques qui régissent le comportement des barres réensablées et l'atténuation de la houle à leur franchissement sont encore insuffisamment comprises. L'utilisation d'un modèle physique permettrait d'éclairer ce champ de recherches complémentaires. On pourrait, en effet, utiliser le dispositif expérimental de l'équipe Houle du LEGI, un canal à houle de 36m dans lequel, pour sa recherche doctorale, Maryam Kamalenzhad, sous la direction d'Hervé Michallet et Eric Barthélémy, a évalué l'évolution et la stabilisation de barres de déferlement créées sur une plage sableuse, sous l'action de houles régulières et irrégulières. Ces résultats seront présentés aux Journées Génie Civil-Génie Côtier de Compiègne en septembre 2004.

L'étude du rechargement dans un canal expérimental pourrait donc contribuer grandement à la compréhension des mécanismes hydro-sédimentaires qu'il induit et des évolutions morphodynamiques qui en résultent.

3. La question des extrémités de rechargement

Dans tout le programme, on a supposé que les conditions aux limites étaient repoussées hors du champ d'expérience, de façon à pouvoir en négliger l'incidence. Dans la pratique, cette question ne peut être éludée car les rechargements sont susceptibles de ne concerner que des linéaires courts (un ou deux kilomètres). Par conséquent, les phénomènes liés aux irrégularités morphologiques des extrémités doivent être envisagés. Ils ont trait d'une part à la stabilité des versants terminaux et,

d'autre part, à la perturbation du compartiment aval-transit par rapport au rechargement.

Ces deux aspects méritent une double approche, numérique et expérimentale.

Différents modèles (dont certains développés dans d'autres programmes de LITEAU) peuvent être mis en œuvre pour l'approche numérique. Ils devraient avoir pour but : (1) de déterminer l'évolution du rechargement en bout de ligne ainsi que le taux de destruction ou de déformation du talus terminal, et (2) l'incidence de la mise en place de volumes importants de sable en avant-côte sur les plages situées en aval par rapport à la dérive littorale dominante.

Des observations faites par les Hollandais à ce sujet (Spanhoff *et al.*, 2003) tendent à indiquer que ces plages bénéficient également du rechargement sans que les mécanismes de cette récupération soient clairement identifiés et décrits. Ce sujet est particulièrement important car il touche à la possibilité d'une réduction éventuelle du linéaire à recharger.

Une vérification en nature serait un complément indispensable aussi bien des espérances mises dans le procédé développé ici que du contrôle des résultats des prolongements d'études nécessaires évoqués dans ce paragraphe. Un tel suivi d'un rechargement massif en nature pourrait trouver une concrétisation dans le cadre des travaux menés par le conseil général de l'Hérault pour stabiliser les plages de la façade est du département à partir des sables contournant la grande digue dans la zone de l'Espiguette. Si ce projet venait à se réaliser, il serait bien venu de le mettre à profit pour l'infléchir de façon à effectuer une partie des travaux en rechargement sous-marin et à assurer alors un suivi qui permettrait notamment la comparaison avec les résultats numériques obtenus par les modèles.

Remerciements :

Les auteurs remercient le Ministère de la Recherche et le Ministère de l'Écologie et du Développement durable pour le soutien financier accordé à ce projet. Les participants et membres de l'ART 7 du PNEC sont aussi remerciés pour leurs contributions.

BIBLIOGRAPHIE

- Aelbrecht D. & Denot Th. (1999). 2D & 3D Modelling of Wave-Driven Currents in Presence of a Groin System in a Tidal Sea. *COASTAL 99, 25-27 Mai, Grèce*.
- Aelbrecht D. (1997). ARTEMIS 3.0 : a finite element model for predicting wave agitation in coastal areas and harbours including dissipation. *Proc. Comput. Model. Seas & Coast. Regions III, 343-352, Comput. Mech. Pub.*
- Agence de l'Eau, 2001. Définition et cartographie des unités sédimentaires du littoral méditerranéen français, synthèse bibliographique, Univ. Perpignan, 151 p.
- Akouango, E., Certain, R. et Barusseau, J.P., 2000. Mobilité sédimentaire : définition par simulation des populations granulométriques mobiles sur l'avant-côte (Journées Génie Civil-Génie Côtier)
- Akouango, E., 1997. Morphodynamique et dynamique sédimentaire dans le golfe du Lion. Contribution à l'étude de la zone côtière dans l'actuel et le quaternaire récent, *thèse de 3^{ème} cycle*, Univ. de Perpignan, 191 p.
- Ambert, P., 1987. Modifications historiques des paysages littoraux en Languedoc central : état actuel des connaissances. *Actes du colloque international CNRS « Déplacement des lignes de rivages en Méditerranée »*, Ed. du C.N.R.S, Paris, 35-43.
- Arnaud-Fassetta, G., 1998. Dynamiques fluviales holocènes dans le delta du Rhône. *Thèse*, Université d'Aix-Marseille-1, Presses Universitaires du Septentrion.
- Bailard J.A. (1981). An energetics total load sediment transport model for plane sloping beach. *J. Geophys. Res., Vol. 86, N°CII*.
- Barusseau J.P., Brissaud L., Drapeau G. et Long B. (1991). Processus hydrodynamiques et morphosédimentaires de l'environnement des barres d'avant-côte du littoral du Golfe du Lion. *Oceanologica Acta, vol. sp. n°11, 162-175*.
- Barusseau, J.P, et Saint-Guily, B., 1981. Disposition, caractères et mode de formation des barres d'avant-côte festonnées du littoral du Languedoc-Roussillon (France). *Ocea. Acta.*, 4, 3, 297-304.
- Barusseau, J.-P., Akouango, E., Bâ, M., Descamps, C. et Golf, A., 1996. Evidence for short term retreat of the barrier shorelines. *Quaternary Science Reviews*, 15, 763-771.
- Barusseau, J.P., Descamps, C., Radulescu, M., Akouango, E., et Gerbes, A., 1994. Morphosedimentary multiyear changes on a barred coast (Gulf of Lion, Mediterranean Sea, France). *Marine. Geology.* 122, p47-62.
- Basinski, T., & Szmytkiewicz, M., 1991. Effectiveness of different artificial nearshore and beach nourishment technologies. *Proc. 3rd Int. Conf. On Coastal and Port Eng. In Developing Countries, Monbasa, Kenya, vol. 1*.
- Battjes J. et Janssen J. (1978). Energy loss and set-up due to breaking of random waves. *Proc. 16 th Int. Conf. Coast. Eng. (ICCE)*, 569-587.
- Berkhoff J.C.W. (1976). Mathematical models for simple harmonic linear water waves. Wave diffraction and refraction. *Delft Hyd. Lab., Publi. n° 163*.
- Bijker E.W. (1968) Littoral drift as fonction of waves and current. *11th Proc. Of Int. Coast. Eng. (ICCE)*, 415-435

- Boczar-Karakiewicz B., Romanczyk W., Bona J.L. and Mercier A.L. 1997. Offshore nourishment of sand bars : a method of beach protection. *Compte-rendus de la conférence canadienne sur le littoral*, rés.
- Bowen, A.J. et Inman, D.L., 1971. Edge waves and crescentic bars. *Journal of Geophysical research*, Vol. 94, p. 18023-18030.
- Brandley, K.P. & Hands, E., 1989. Dredged material underwater berms. *Proc. Coastal Zone '89*, Charleston, SC, ASCE, 3, 2947-2954.
- Burke, C.E., McLellan, T.N., & Clausner, 1991. Nearshore berms- Update of the United States Experience. CEDA-PIANC Conference, Amsterdam, The Netherlands.
- Cadène A.L. et Astruc D. (1999a) Manuel du code HYDROSED. *Rapport interne de l'IMFT*.
- Cadène A.L., Astruc D. et Thual O. (1999b). Long wave generation by short wave groups on typical bottom profiles. *Proc. Int. Symp. ISCEM '99, Kuala-Lumpur*.
- Cadène A.L., Astruc D. et Thual O. (2000a). Numerical modelling of long waves generation in the coastal zone. *Proc. Int. Conf. Hydrod., ICHD2000, Yokohama, Japon. (accepted)*.
- Cadène A.L., Astruc D. et Thual O. (2000b). Génération d'ondes longues par un groupe d'ondes courtes dans la zone littorale. *VIIèmes Journées Nationales Génie Côtier Génie Civil, Caen, France. (accepted)*.
- Camenen B. and Larroudé P. *Nearshore transport modelling : application to Trucvert beach*, Genova conference, (sept. 1999).
- Camenen B., Pedreros R., Dupuis H., Howa H. et Larroudé P. (mai 2000) *Modélisation numérique du transport sédimentaire sur une plage sableuse*, VI^{ème} journées nationales Génie Civil – Génie Côtier, Caen
- Carreiras J., Larroudé Ph., Seabra Santos F.J. and Mory M. Wave scour around piles accepted at the ICCE2000 conference, July 16-21, 2000.
- CEPREL, 1995. Schéma d'orientation pour la protection, la restauration et la gestion des plages du Languedoc-Roussillon. Région Languedoc-Roussillon *Ceprel*, 162 p.
- Certain R., 1999, « Etude d'un environnement microtidal à barres (Sète - Golfe du Lion) », Rapport de DEA, Environnements et paléoenvironnements océaniques, Université de Bordeaux I, 50 pp.
- Certain, R., 2002. Morphodynamique d'une côte sableuse microtidale à barres : le golfe du Lion (Languedoc-Roussillon, Thèse Université de Perpignan, 209p.
- Chatelus Y., Katopodi I., Dohmen-Janssen M., Ribberink J.S., Samothrakis P., Cloin B., Savioli J.C., Bosboom J., O'Connor B.A., Hein R. et Hamm L. (1998) Size gradation effects in sediment transport. *Proc. 26th Int. Conf. on Coastal Engineering*, Copenhagen, Denmark, ASCE.
- De Boer, D.H., 1992. Hierarchies and spatial scale in process geomorphology : a review. *Geomorphology* 4, 303-318.
- De Vriend H.G. (1987) *2DH Mathematical modelling of morphological evolutions in shallow water*, Coastal Engineering, 11, 1-27.
- De Vriend H.J. et Stive M.J.F. (1987). Quasi-3D modelling of nearshore currents. *Coastal Engineering*, 11, 565-601.

- De Vriend, H.G., 1991. Mathematical modelling and large-scale behaviour. Part 1 : Physical processes. *Journal of Hydraulic Research* 29-6, 727-740.
- Denot T. & Aelbrecht D.(1999). Numerical modelling of seabed evolution in the vicinity of a groin system. *Proc. COASTAL STRUCTURES Conf., Juin, Santander, Espagne.*
- Dibajnia M. et Watanabe A.(1992) *Sheet flow under nonlinear waves and currents*, Coastal Engineering, pages 2015-2029,
- Durand, P., 1999. L'évolution des plages de l'ouest du Golfe du Lion au XXème siècle. *Thèse de doctorat en géographie physique*, Université Lumière Lyon 2, 462 p.
- Falquès A., Ribas F., Larroudé P., Montoto A. (1999) *Nearshore oblique bar modelling : Trucvert beach*, Genova conference,
- Foster, G.A., Healy, T.R., & De Lange, W.P., 1994. Sediement budget and equilibrium beach profiles applied to renourishment of an ebb tidal delta adjacent beach, Mt Maunganui, New Zealand. *J. of Coas. Res.*, 10, N°3, 564-575.
- Galpin J. (1998). Analyse de modèles de transport de sédiments en zone côtière. *Rapport de DEA, IMFT.*
- Guillen, J. & Hoekstra, P., 1977. Sediment distribution in the nearshore zone: grain size evolution in response to shoreface nourishment (island of Therschelling, The Netherlands)
- Guza, R.T. and Inman, D.L., 1975. Edge waves and beach cusps. *Journal of Geophysical Research*, 80, p. 2997-3012.
- Hall, J.V., 1952. Artificially nourished and constructed beaches. US Army beach erosion board, Washington, D.C., TM-29, December 21952.
- Hamm L. (1995) Modélisation numérique bidimensionnelle de la propagation de la houle dans la zone de déferlement. *Thèse de Doctorat*, Université Joseph Fourier, Grenoble I, 350 pages.
- Hamm L. (1998) Performance of soft beach systems and nourishment measures for European coasts (SAFE Project). *Proc. 3rd European Marine and Science Technology Conf*, European Union, DGXII, Lisbonne, 23-28 mai 1998.
- Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R., Stive, M.J.F., 2002. A summary of European experience with shore nourishment, *Coastal Engineering*, 47, 237-264.
- Hoekstra, P. & Howman, K.T., 1997. Selective sediment transport in the nearshore zone: field observations and potential mechanisms, *Proceedings Coastal Dynamics 1997*, ASCE New York.
- Hoekstra, P., Howman, K.T., Kroon, A., Ruessink, G., Roelvink, J.A. & Spanoff, R., 1996. Morphological development of the Terchelling shoreface nourishment in response to hydrodynamic and sediment transport process. *Proceedings 25th International Conference on Coastal Engineering 1996*, 2897-2909.
- Idier D. (1998). Modélisation numérique des Interactions Houle-Courant, *Rapport de DEA, IMFT.*
- INRS - SOGREAH (1999) Protection du littoral de Djerba contre l'érosion - rechargement des barres littorales - *Rapport intermédiaire* - Agence Pour la Protection et l'Aménagement du littoral - Ministère de l'Environnement et de l'Aménagement du Territoire -(Tunisie).

- Jackson, L.A., & Tomlinsen, R.B., 1990. Nearshore nourishment implementation, monitoring and model studies of 1.5Mm³ at Kirra beach. Proc. 22nd Int. conf. On Coastal Engineering, Delft, Netherlands. ASCE, New York, 2241-2254.
- Jackson, L.A.. 1990. Nearshore Nourishment : Implementation, Monitoring and Model Studies of the 1.5M m³ at Kirra Beach. *2nd International Conference on Coastal & Ocean Eng., Delft, Netherlands 1990.*
- Jackson, L.A.. 1993. On Beach Dynamics & Nourishment of Offshore Bars, Gold Coast, Australia. *Journal of Coastal Research Symposium 1993 - Hilton Head, USA*
- Jackson, L.A.. 1996. Coastal Bars on Canadian Coasts. *Coastal Zone Canada Conference 1996 - Quebec, Canada.*
- Kroon, A., Hoekstra, P., Houwman, K. & Ruessink, G., 1994. Morphological monitoring of a shoreface nourishment NOURTEC Experiment at Terschelling, The Netherlands. Proceedings Coastal Engineering 1994, 2223-2236.
- L.C.H.F, 1984. Catalogue sédimentologique des côtes de France. Tome 7 : *la côte méditerranéenne, de la frontière espagnole à la frontière italienne*, 426 p.
- Laustrup, C., 1988. Erosion control with breakwaters and beach nourishment. JCR, Vol. 4, N°4, 667-685.
- Lenthéric, C., 1989. Les villes mortes du Golfe du Lion. *Jean de Bonnot*, 416 p.
- Longuet-Higgins M.S. (1970). Longshore currents generated by obliquely incident sea waves 1 & 2. *J. Geophys. Res.*, 75, 6778-6789 & 6790-6801.
- Masselink G., 1997. Field investigation of wave propagation over a bar and the consequence generation of secondary waves. *Coastal Engineering* 33, p1-p9.
- McLellan, T.N., 1990. Engineering design consideration for nearshore berms, dredging research technical notes DRP-5-01, US Army Engineers Waterways Experiment station, CERC, Vicksburg, MS. January 1990.
- Mory M., Larroude Ph., Carreiras J., Seabra Santos F.J., "Scour around pile groups", Proceedings of Coastal Structures 99, Santander (Spain), 1999, ASCE
- NOURTEC, 1997. Innovative Nourishment Techniques Evaluation- Final Report. Coord. Rijkwaterstaat, National Institute of Coastal and Marine Management/ RIKZ, The Hague, The Netherlands, 105 pp with figures.
- Péchon Ph. (1994). Numerical modelling of wave-driven currents in the surf zone. *Proc. of ICCE'94 Conference, Kobe, Japon.*
- Pirazzoli, P.A., 1986. Secular trend of relative sea-level (RSL) changes indicated by tide-gauge records. *Journal of Coastal Research*, 1, 1-26.
- SOGREAH (1991) -Etude et mise en oeuvre du rechargement de la plage des Sables d'Olonne (Vendée) - Commune des Sables d'Olonne.
- SOGREAH (1996) Etude du rechargement de la plage de Saint-Jean-de-Luz (Pyrénées Atlantiques) - Commune de Saint-Jean-de-Luz
- Spanhoff, R., Biegel, E.J., Burger, M., & Dunsbergen, D.W., 2003. Shoreface nourishments in the Netherlands. Proceedings of Coastal Sediment 2003.
- Spielmann K., Astruc D., Thual O. (1998b). Modèle numérique d'évolution du profil d'une plage sableuse. *VIèmes Journées Nationales Génie Côtier Génie Civil, Toulon, France.*

- Spielmann K. (1997). Développement d'un modèle hydro-sédimentaire. *Rapport de DEA, IMFT.*
- Spielmann K. (1999a). Manuel du code MODHOU/MODHYS. *Rapport interne de l'IMFT.*
- Spielmann K., 2002, « Modélisation de la dynamique morphologique d'un profil de plage », Thèse de doctorat, Université de la Méditerranée, 270 pp.
- Spielmann K., Astruc D. et Thual O. (1999b). Influence of the wave model in a stationary 2DV cross-shore morphological model. *Proc. Int. Symp. ISCEM '99, Kuala-Lumpur, XII 39-50*
- Spielmann K., Astruc D. et Thual O., 2001, « Modélisation de la morphodynamique d'un profil de plage », *Compte Rendu de l'Académie des Sciences, Vol. 333, p. 669-675.*
- Spielmann K., Astruc D. et Thual O., 2004, « Analysis of some key parametrizations in a beach profile morphodynamical model, Coastal Engineering, à paraître.
- Spielmann K., Astruc D., Thual O. et Mocke G. P. (1998a). Influence of turbulence modelling on cross-shore suspended sediment transport. *IEEE International Conference Oceans '98, Nice, France.*
- Spielmann K., Certain R., Astruc D., Barousseau J.P., Stepanian A. et Levoy F. (2000). Storm response of a microtidal sand beach: field data and numerical modelling. *Proc. Int. Conf. Hydrod., ICHD2000, Yokohama, Japon.*
- Tessier, B., Certain, R., Barousseau, J. P. et Henriot, J. P., 2000 Evolution historique du prisme littoral du lido de l'étang de Thau (Sète, Sud-Est de la France). Mise en évidence par sismique réflexion très haute résolution, *C. R. Acad. Sci.*, 331 (C8), 709-716.
- Thyme, F., 1990. Beach Nourishment of the west Coast of Jutland. *JCR, Vol. 6, N°1, 201-209.*
- Vera-Cruz, D., 1972. Artificial nourishment of Copacabana Beach. *Proc. 13th Coastal Engineering Conf., Vancouver, B.C., Canada; ASCE, 2, 1451-1463.*
- Viguié J. (1996) Protection du littoral des Bas-Champs. *Génie Civil - Génie Côtier - IVèmes Journées Nationales, Dinard, 17 au 19 avril 1996.*
- Walton, T.L., & Purpura, J.A., 1997. Beach nourishment along the southeast Atlantic and Gulf Coasts. *Shore and Beach, July 1977, 45, n°3.*
- Warnier, F., Raes, E., Malherbe, B., & Lahousse, B., 1994. Book of abstracts. 24th Coastal Engineering Conference, ICCE'94, 552-554.
- Winjberg, K.M., 1995. Morphologic behaviour of a barred coast over a period of decades, *thèse de doctorat, Univ. d'Utrecht, 215 p.*
- Zwamborn, J.A., Fromme, G.A.W & Fitzpatrick, J.B., 1970. Unerwater mound for protection of Durban's Beaches. *Proc. 12th Coastal Eng. Conf. ASCE, 2, 975-994.*

Résumé :

Dans ce projet, la possibilité d'utiliser les barres sédimentaires d'avant-côte dans la lutte contre l'érosion côtière a été envisagée en testant un certain nombre de scénarios de rechargement en sable à l'aide de modèles numériques. Ces modèles ont été préalablement calibrés et validés à l'aide de données de terrain. Les résultats des simulations tendent à montrer que les rechargements les plus bénéfiques seraient ceux réalisés sur la barre externe ou en créant une nouvelle barre externe plus au large. La mise en oeuvre de tels rechargements est chiffrée à la fin de ce document.

Abstract :

In this project, many cases of nearshore nourishment are simulated to know if nearshore bars can act for fighting against erosion. First, these models were validated using real data sets. Then the main results show that nourishment on the outer bar or creating a new outer bar seaward seem to have the best effect on beach erosion. The cost of these nearshore nourishment is evaluated.