



Analyse des courants induits par la houle au voisinage de l'embouchure de l'Adour à Anglet

Christophe Brière^(a), Stéphane Abadie^(b)

^(a) *Doctorant UPPA – LaSAGeC, 1 Allée du Parc Montaury, 64600 Anglet, Tel: 05.59.57.44.36, Fax: 05.59.57.44.39, E-Mail: christophe.briere@univ-pau.fr*

^(b) *Maître de Conférences UPPA – LaSAGeC, Parc Montaury, 64600 Anglet, Tel: 05.59.57.44.21, Fax: 05.59.57.44.39, E-Mail: stephane.abadie@univ-pau.fr*

Résumé :

Depuis plusieurs décennies, les plages subtidales d'Anglet subissent une perte de leur stock sédimentaire estimée à 530000 m^3 par an (Abadie et al, 2004). En revanche, l'embouchure de l'Adour, située au nord des plages d'Anglet, s'ensable de manière récurrente nécessitant le dragage du chenal de navigation deux fois par an. Cette communication a pour objet la caractérisation des processus hydrodynamiques responsables de l'érosion des plages d'Anglet et de l'ensablement de l'embouchure de l'Adour. Pour cela, l'analyse s'appuie sur deux approches complémentaires : l'expérimentation in situ et la modélisation numérique. Les données recueillies lors d'une campagne de mesures et les résultats numériques d'hydrodynamique obtenus en considérant les forçages représentatifs du site sont analysés et mettent en évidence l'influence de la houle en tant que moteur principal du transport sédimentaire. Les climats de houle capable de générer un courant susceptible d'ensabler le chenal de navigation sont mis en évidence.

Abstract:

The sediment volume of the Anglet's underwater beaches has been decreasing for decades and the rate of erosion is estimated around 530000 m^3 per year (Abadie et al., 2004). On the other hand, the Adour River mouth, located northward, is subject to important silting, which implies dredging activities twice a year. This communication aims at characterising the hydrodynamic processes responsible of the Anglet's beaches erosion and of the River mouth silting. Two complementary approaches are considered : field experiment and numerical modelling. The analysis of field campaign measurements and of numerical results obtained under representative forcings put forward the influence of waves as the major forcing for sediment mobilisation. The wave climates able to silt the navigation channel are identified.

Mots clefs : analyse de données expérimentales, modélisation numérique, classification statistique de la houle, courants induits, embouchure.

1.Introduction

Situé dans les Pyrénées-Atlantiques, le littoral d'Anglet, composé d'un linéaire côtier de 4.5 km et de l'embouchure de l'Adour, a une importance économique indéniable. En particulier, le tourisme et les activités du port de Bayonne sont les principaux moteurs de la vie économique et sociale de la Communauté d'Agglomérations Bayonne-Anglet-Biarritz. Pérenniser les ressources offertes par le littoral est une priorité pour les acteurs économiques locaux. Or, ceux-ci sont confrontés à un double problème : d'une part, les plages d'Anglet sont en érosion depuis plusieurs décennies et, par ailleurs, l'embouchure de l'Adour s'ensable de manière récurrente.

Entre 2000 et 2003, le LaSAGeC a été en charge d'une étude visant à mieux comprendre la dynamique de ce système. Afin de caractériser plus spécifiquement l'hydrodynamique, deux approches complémentaires sont considérées. La première repose sur la connaissance du site au travers de mesures expérimentales in situ et la seconde consiste au développement d'une approche numérique, qui, après validation à partir des mesures expérimentales, permet de mieux comprendre l'interaction entre l'embouchure et les plages adjacentes.

Cette communication a pour objectif de quantifier l'importance des courants au sein de l'embouchure afin d'être en mesure, à plus long terme, de prévoir le transport solide dans cette zone. Dans un premier temps, la campagne de mesures réalisée en Mars 2003 est présentée et l'influence de la marée sur la dynamique du système est estimée. Par ailleurs, les statistiques locales de houle sont établies et une classification est proposée. Enfin, l'approche numérique est présentée et l'influence du forçage de houle est établie en fonction des différents états de mer pouvant être rencontrés au large d'Anglet.

2.Approche expérimentale

2.1.Campagne de mesures

Afin d'améliorer la connaissance du site d'Anglet, une campagne de mesures de courantométrie a été menée entre le 17 et le 24/03/03 par le LaSAGeC avec la collaboration du DGO de l'Université de Bordeaux I et du BRGM.

La campagne a consisté en la mesure simultanée des forçages (houle, vent, débit de l'Adour) et de la réponse du système (cf. Figure 1). Un courantomètre acoustique à effet Doppler (ADV) a été déployé au nord du musoir de la digue des Cavaliers (point C4) entre le 17 et le 21/03/03, puis à l'ouest du musoir (point C3) jusqu'au 24/03/03. Deux courantomètres électromagnétiques comportant un capteur de pression ont été utilisés (S4 ADW du DGO et S4 DW du CIRMAT). Le premier a été déployé au nord du musoir de la digue principale (point C5) alors que le second a été installé au large du Cap Saint Martin (point C1) entre le 17 et le 21/03/03, puis au droit de la plage de l'Océan (point C2).

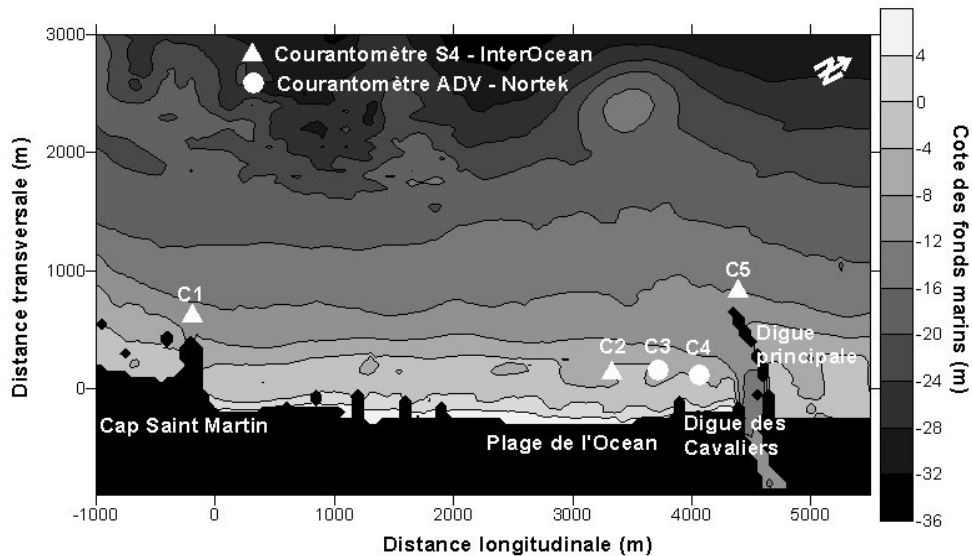


Figure 1 : localisation des capteurs

2.2. Conditions hydrodynamiques

La campagne de mesures est réalisée pendant une période de vives-eaux exceptionnelles, le maximum du marnage atteignant 4.5 m. Le débit de l'Adour, d'intensité moyenne, décroît linéairement de $320 \text{ m}^3/\text{s}$, le 17, jusqu'à $250 \text{ m}^3/\text{s}$, le 24/03/03. Les vents sont faibles avec un maximum de provenance Sud, le 23/03/03, mesuré à 3.5 m/s.

Les conditions d'agitation mesurées au large permettent de distinguer deux périodes de mesures : la hauteur significative est d'environ 0.9 m entre le 17 et le 22/03/03 alors qu'elle est comprise entre 1.1 et 1.7 m lors des deux derniers jours. Les houles les moins énergétiques sont de provenance moyenne Ouest-Nord-Ouest alors que la direction de pic des houles les plus énergétiques est normale au trait de côte. Enfin, la période de pic est comprise entre 11 s et 15 s.

2.3. Mesures à la côte

Les informations mesurées par fond d'environ 10 m permettent de reconstituer le spectre de la houle aux points de mesure par méthode PUV. Le signal de pression est utilisé pour estimer le spectre fréquentiel, puis la hauteur significative de la houle et la période du pic énergétique sont déterminées. La mesure des vitesses orbitales, déduites des mesures courantométriques, donne la direction de la houle. Les propriétés spectrales de la houle sont peu modifiées lors de sa propagation depuis le large jusqu'à la côte (cf. figure 2). Les biais obtenus entre les mesures au large et les mesures au capteur C5 (-12 m. CM) sont de 0.01 m pour la hauteur significative, de 0.25 s pour la période de pic et de 4° pour la direction de pic. Lors de sa propagation, la houle tend à se diriger selon la direction normale au trait de côte. Les spectres obtenus au capteur C5 sont étroits en fréquence et l'étalement directionnel est en moyenne de 10° autour de la direction du pic énergétique.

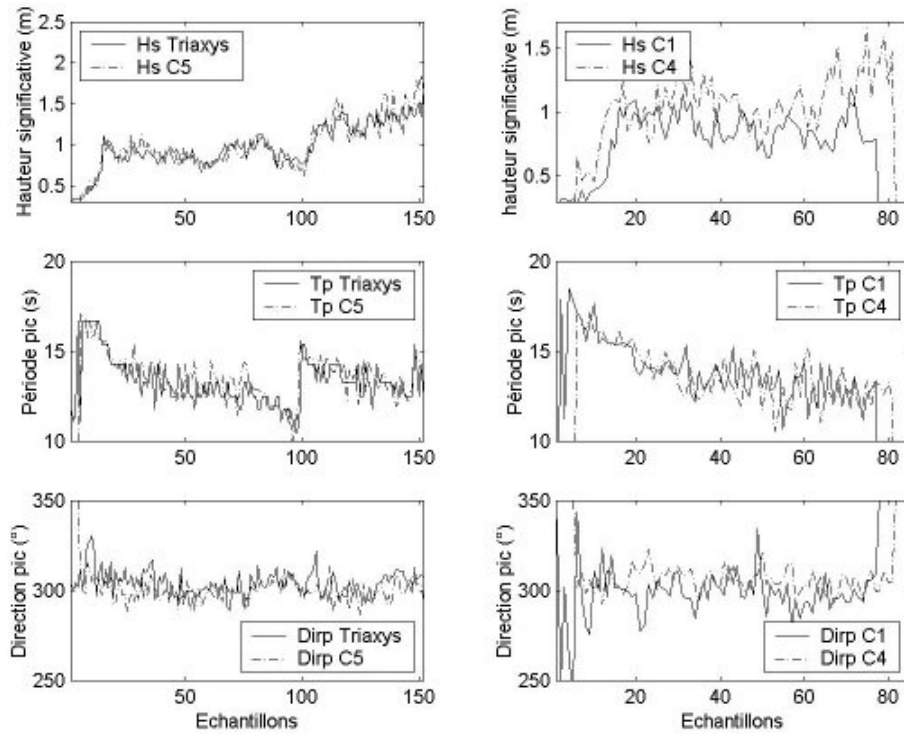
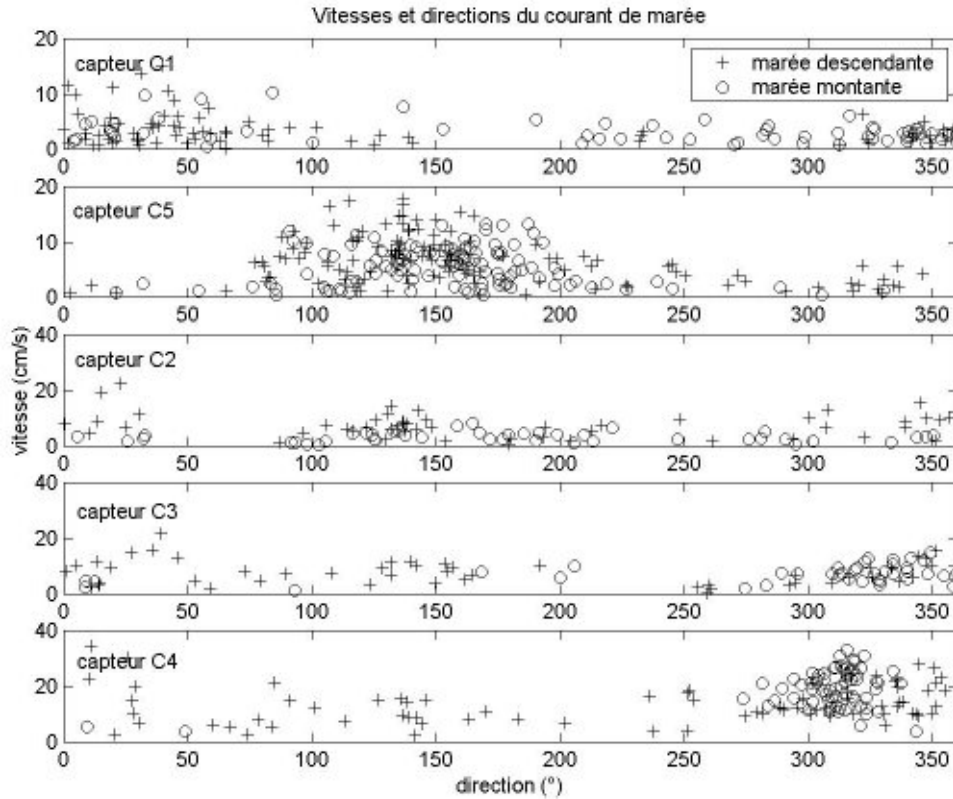


figure 2 : propriétés spectrales de la houle au large et aux capteurs C5, C1 et C4

Nota : les directions de provenance de la houle sont mesurées dans le sens trigonométrique inverse autour du Nord géographique, la normale au trait de côte est définie par le 300°)

Une concentration d'énergie est mesurée au capteur C4 (cf. figure 2). Les biais obtenus entre les mesures au capteur C1 (-12 m CM) et au capteur C4 (-8 m CM) sont de 0.20 m pour la hauteur significative, de 0.29 s pour la période pic et de 8° pour la direction du pic énergétique. La convergence de la houle au sud de l'embouchure est due à la réfraction des vagues au-dessus du haut fond créé par le clapage des sédiments dragués dans le chenal de navigation.

Le filtrage de l'énergie de la houle au sein des spectres d'énergie montre l'influence prépondérante du forçage de marée, lors de la campagne de mesures, sur la courantologie induite. Les mesures des courants sont proposées en figure 4. Les directions sont représentées dans un repère local où les angles sont mesurés dans le sens trigonométrique autour de l'axe des x positifs (cf. figure 1). Aux limites du domaine (capteurs C1 et C5), les courants sont faibles (< 15 cm/s) et sont dirigés principalement vers le système. Les plages d'Anglet forment ainsi un système fermé du point de vue sédimentaire sous conditions de faible agitation. En revanche, un courant plus fort (35 cm/s) dirigé vers l'embouchure est mesuré à marée montante par le capteur C4 ; son intensité décroît en s'éloignant de l'embouchure. Ce courant est susceptible de mobiliser les sédiments mais ne peut être responsable de l'ensablement du chenal de navigation (Dubranna et al., 2003).



*figure 3 : courants de marée mesurés aux différents capteurs.
Les courants de flot (o) sont distingués des courants de jusant (+).*

L'analyse des données expérimentales montre la présence d'une zone de convergence de la houle au sud de l'embouchure même si les conditions d'agitation sont faibles. Par ailleurs, les courants mesurés ne peuvent pas être responsable de l'ensablement du chenal de navigation. Ainsi, pour estimer l'influence des houles plus énergétiques sur la dynamique du système côtier d'Anglet, une approche complémentaire par modélisation numérique est retenue.

3. Etude statistique de la houle au large d'Anglet

3.1. Méthodologie

Depuis Avril 2002, une bouée Triaxys de mesure directionnelle de la houle est mouillée par fonds de 50 m au large d'Anglet au point 43°31.8'N 01°36.8'W . La série de données fournies comprend des données non-directionnelles et des spectres directionnels couvrant 122 fréquences de 0 à 0.61 Hz et 120 directions. Pendant une période d'indisponibilité, une bouée Datawell non-directionnelle a permis de compléter la série de données par des mesures de hauteurs et périodes.

La boîte à outils BOTIDO (Butel, 2000) sert de support au traitement statistique des données de houle. Les données directionnelles fournies par le LaSAGeC ne couvrant qu'une période estivale, une méthode de classification développée à l'Université de Bordeaux I (Butel et Dupuis, 2002) a été appliquée aux résultats du modèle numérique d'états de mer Wavewatch III (Tolman, 1999) obtenus sur environ 7 ans toutes les 3 heures au point 2°5'W 44°N. Il s'agit

d'une classification par minimisation par méthode de recuit simulé qui consiste en l'optimisation des coordonnées des centres de gravité de douze classes. Ensuite, un ajustement des paramètres obtenus pour le point 2°5'W 44°N est réalisé afin de déterminer les climats de houle au large Anglet. Pour cela, les corrélations entre les points 43°31.8'N 01°36.8'W et 2°5'W 44°N ont été calculées pour la hauteur significative, la période de pic et la direction de pic.

3.2.Résultats

Dans le cadre de cette étude, seule la classification des états de mer représentatifs est présentée :

*Tableau 1 : Classification représentative de la houle au large d'Anglet
(cf. Nota figure 2.)*

Classe	Occurrence (%)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp(°)	Etat de mer
1	17.9	1.14	9.9	302	Houle -Printemps Automne
2	15.5	0.79	8.9	301	Houle -Eté
3	12.7	1.79	10.5	304	Houle -Automne Hiver
4	10.0	2.39	11.7	303	Houle -Hiver
5	9.6	1.25	11.5	297	Houle -Hiver
6	8.1	1.21	7.1	301	Mer de vent - Eté
7	6.9	1.05	7.0	142	Mer de vent -Eté - Nord
8	6.6	2.62	8.9	305	Mer de vent - Annuel
9	5.1	3.36	12.3	302	Fortes tempêtes - Hiver
10	3.2	0.76	6.4	172	Mer de vent -Eté - Nord-Est
11	2.4	4.54	11.4	303	Très fortes tempêtes - Hiver
12	2.1	0.97	6.5	239	Mer de vent -Hiver - Sud

4.Approche numérique

4.1.Méthodologie

Pour modéliser l'évolution de la houle depuis le large jusqu'à la côte, les processus à prendre en compte sont les phénomènes propagatifs, les interactions conservatives entre ondes, les sources d'énergie et les dissipations. Deux grandes familles de modèles peuvent être distinguées : les modèles dits à phases moyennées comme Swan⁶ (Booij et al., 1999) et Tomawac⁷ (Benoît, 2002) et les modèles dits à résolution de phase comme Refonde⁸ (Marchand, 2001) et Refdif-S⁹ (Kirby et al., 1994).

Afin de dégager l'effet moyen dû aux vagues, les équations de Saint-Venant sont obtenues par intégration spatio-temporelle des équations de Navier-Stockes. Les modèles hydrodynamiques Reflux¹⁰ (Marchand, 1997) et Telemac 2D¹¹ (Hervouet, 2003) sont considérés.

Les modèles numériques précédemment cités sont calibrés et permettent de simuler la campagne de mesures. Les résultats numériques obtenus aux points de mouillage des différents capteurs et les mesures expérimentales correspondantes ont fait l'objet d'une analyse statistique comparative. Une approche couplée Tomawac/Telemac 2D est retenue.

4.2. Courantologie induite

Les hypothèses de travail suivantes sont appliquées : l'effet du vent est ignoré, le débit de l'Adour est choisi constant à $300 \text{ m}^3/\text{s}$ et le niveau du plan d'eau est fixé successivement à + 0 m. CM, + 2.5 m. CM et + 4 m. CM. Les conditions d'agitation définies par l'analyse statistique sont considérées comme conditions limites du modèle Tomawac. Le calcul hydrodynamique est réalisé avec Telemac 2D en tenant compte des tensions de radiation calculées par le modèle de propagation de la houle.

Trente-six simulations numériques sont réalisées, et l'analyse des résultats met en évidence deux processus hydrodynamiques distincts : les événements énergétiques, correspondant aux houles définies par les classes 1, 3, 4, 5, 9 et 11, sont susceptibles de générer une circulation en zone d'embouchure (cf. figure 5) alors que les événements moins énergétiques ne le permettent pas.

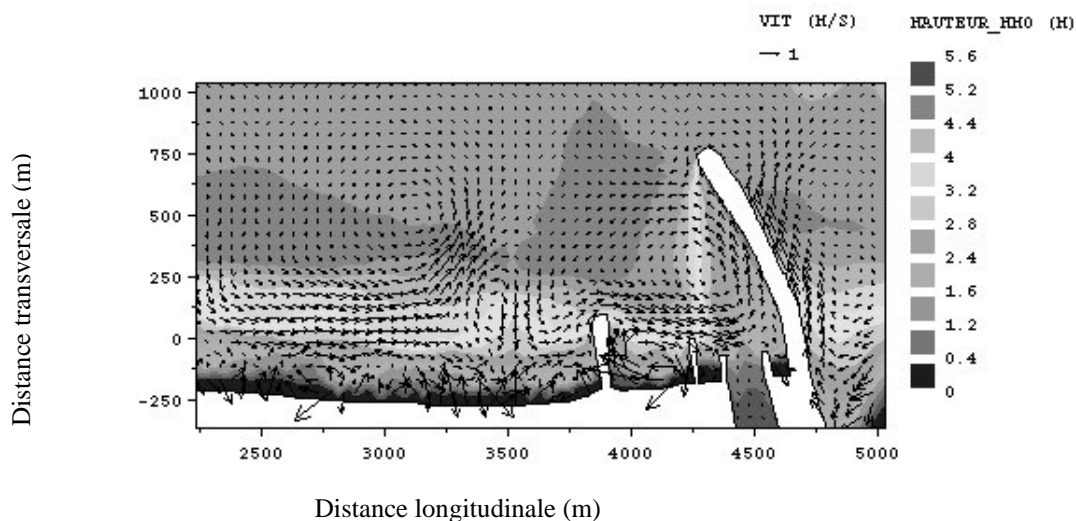


figure 5 : Distribution des hauteurs H_{m0} et circulation induite en zone d'embouchure. Conditions d'agitation de classe 11 au large. Niveau du plan d'eau : + 2.5 m CM.

D'autre part, les paramètres de hauteur significative et de niveau du plan d'eau sont prépondérants devant les paramètres fréquentiel et directionnel du pic énergétique.

Lorsque le niveau du plan d'eau est bas, le déferlement des vagues génère un gradient des tensions de radiation de l'extrémité de la digue des Cavaliers jusqu'à l'embouchure et induit un apport de masse. Pour un niveau d'eau plus élevé, le point de déferlement est plus proche de la côte et l'embouchure est protégée du courant induit (cf. figure 6). Qui plus est, une circulation propre aux systèmes fermés avec génération d'un courant sagittaire le long de la digue des Cavaliers peut s'établir au droit de la plage de la Barre.

Ainsi, seules les houles de classes 9 et 11 induisent un courant dirigé vers l'embouchure quelque soit le niveau du plan d'eau, alors que ce processus n'est actif qu'à marée basse, lorsque les conditions d'agitation au large sont définies à partir des classes 1, 3, 4 et 5.

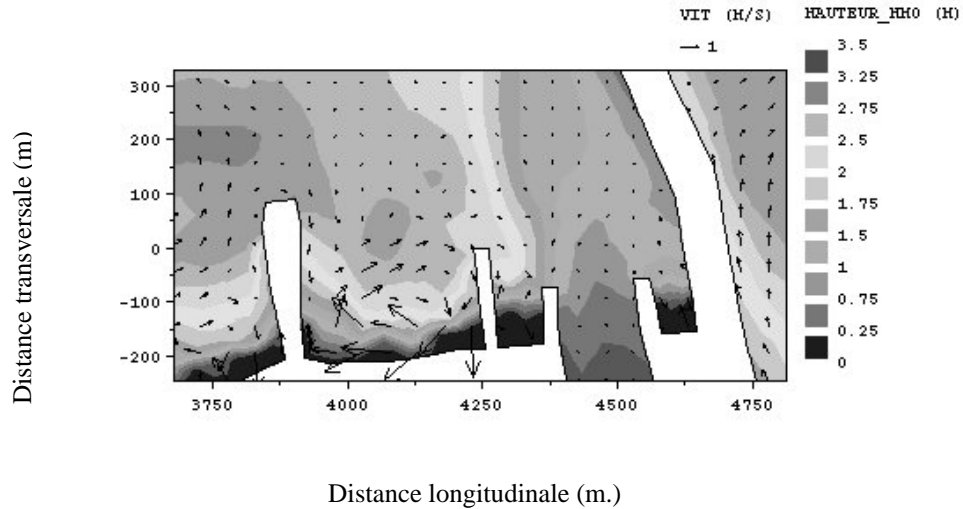


figure 6 : Distribution des hauteurs H_{m0} et circulation induite en zone d'embouchure
Conditions d'agitation de classe 4 au large, Niveau du plan d'eau : + 2.5 m CM

Les plages intertidales d'Anglet ont une répartition granulométrique bimodale. Par contre, les plages subtidales sont uniquement constituées de sédiments fins de diamètre moyen 0.3 mm. La vitesse critique de mobilisation de tels sédiments est estimée autour de 0.3 m.s^{-1} . Comme le montre la figure 7, cette vitesse est atteinte sur une distance normale au trait de côte de plus de 300 m, lorsque les conditions d'agitation sont importantes.

Ainsi, en considérant la variation du niveau du plan d'eau pendant un cycle de marée et l'occurrence des différents climats de houle définis par l'analyse statistique, la durée d'action d'un courant susceptible d'ensabler le chenal de navigation est estimée à 20% du temps.

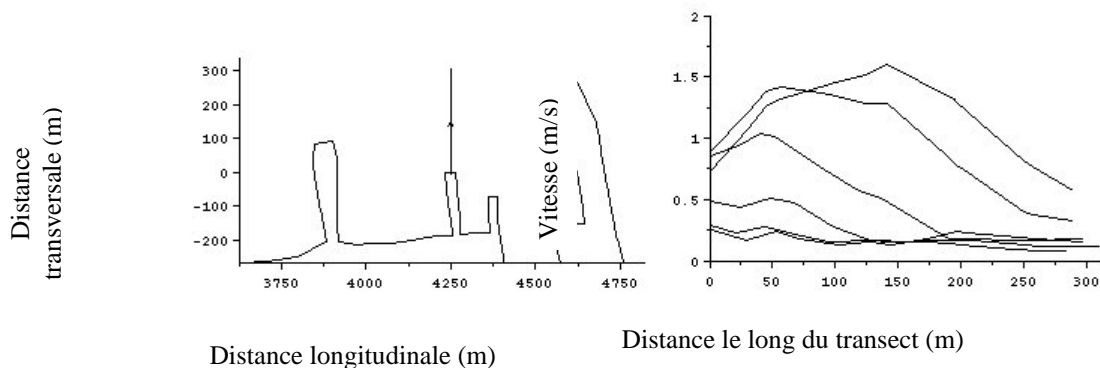


figure 7 : Vitesses du courant d'expansion de la houle suivant un transect parallèle au chenal de navigation. Niveau du plan d'eau : + 0 m CM.
Conditions d'agitation de classe 1, 3, 4, 5 9 et 11 au large.

5. Conclusions

Afin de caractériser les processus hydrodynamiques responsables de l'érosion des plages subtidales d'Anglet et de l'ensablement de l'embouchure de l'Adour, deux approches complémentaires ont été adoptées. Les mesures in situ, obtenues pendant la campagne de Mars 2003, ont permis d'établir l'influence relative du forçage de marée sur la dynamique du site mais également de valider une approche numérique. Les simulations effectuées en considérant les forçages représentatifs du site ont permis d'établir l'influence prépondérante de la houle. Il est démontré que les paramètres qui contrôlent l'hydrodynamique au sein de l'embouchure sont la hauteur significative de la houle au large mais également le niveau du plan d'eau. Par ailleurs, les événements suffisamment énergétiques sont susceptibles de générer une circulation en zone d'embouchure susceptible d'ensabler le chenal de navigation. Ce processus est actif environ 20% du temps.

6. Remerciements :

Ces travaux ont été soutenus par la CABAB et par les conseils généraux des Pyrénées-Atlantiques et d'Aquitaine. Nous remercions tout particulièrement R. Butel et H. Dupuis, pour le traitement des données de houle, et P. Bretel, J. Dubranna, P. Maron, R. Pedreros, D. Rihouey et A. Sottolichio, pour leur contribution lors de la campagne de mesures.

7. Bibliographie :

1. Abadie S. et al. (2004). Analyse de l'évolution du volume sédimentaire des plages subtidales d'Anglet, *VIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Compiègne*
2. Dubranna J. et al. (2003). Présentation de la campagne de mesures du LaSAGeC – Plages d'Anglet. *Conf. ASF, Bordeaux (France)*
3. Butel R., (2000). Une Boîte à Outils pour le traitement et l'Imagerie des Données de bouées Océanographiques, *Rapport interne D.G.O.*, 35p.
4. Tolman H.L., (1999). User Manual and System Documentation of WAVEWATCH III Version 1.18. NOAA/NWS/NCEP/OMB, Note 166.
5. Butel R., Dupuis H., (2002). Spatial Variability of Wave Conditions on the French Atlantic Coast using In-Situ Data, *Journal of Coastal Research, Special Issue 36*, 13p.
6. Booij N., Ris R.C. and Holthuijsen L.H., (1999). A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation, *Journal of Geophysical Research*, 104, CA, pp. 7649-7666.
7. Benoit M., (2002). Logiciel TOMAWAC de modélisation des états de mer en éléments finis, notice théorique de la version 5.2, Rapport technique EDF R&D LNHE HP-75/02/065/A.
8. Marchand B., (2001). REFONDE, un logiciel bidimensionnel d'agitation de houle, Rapport Univ. de Techn. de Compiègne, CETMEF Compiègne.
9. Kirby, J.T. and Ozkan, H.T., (1994). REF/DIF S, Version 1.1, Documentation and user's manual. 94-04, CACR.
10. Marchand B., (1997). REFLUX v. 4.0, module hydrodynamique, manuel théorique, Rapport Univ. de Techn. de Compiègne, CETMEF Compiègne.
11. Hervouet J.M., (2003). Hydrodynamique des écoulements à surface libre. Modélisation numérique avec la méthode des éléments finis. Presses de l'École Nationale des Ponts et Chaussées, Paris (France), 312 p.