

ECOS-Sud

Comité : Evaluation - Orientation de la Coopération Scientifique
(Argentine - Chili - Uruguay)

Programme de coopération ECOS-CONICYT (Chili) Fiche-projet

(doit être adressée à ECOS-Sud, avec les documents annexes au plus tard le **31 mars 2007**, sous forme électronique exclusivement).

1. Titre du projet :

Morphodynamique numérique des plages sableuses et rip currents

Mots-clés (4 maximum) : littoral, morphologie, ondes infragravitaires, courants sagittaux

Champ disciplinaire (cocher) : Sciences Humaines et Sociales Sciences de la Vie
 Sciences de la Santé Sciences de l'Univers Sciences Exactes

2. Établissement principal¹ :

en France : **Institut National Polytechnique de Grenoble**

Laboratoire² (ou équipe) : **Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels (LEGI), UMR 5519**

Nom du Directeur : **Alain Cartellier (DR CNRS)**

au Chili : **Pontificia Universidad Católica de Chile**

Laboratoire (ou équipe) : **Escuela de Ingeniería ; Departamento de Ingeniería Hidráulica y Ambiental**

3. Responsables du projet³

en France

Nom et prénom : **Barthélemy Eric**..... Grade : **Professeur INPG**

Adresse administrative **LEGI ; BP53 ; 38041 Grenoble cedex9** :

Téléphone : **04 76 82 51 17** ... Télécopie : **04 76 50 01** Courrier électronique : **eric.barthelemy@hmg.inpg.fr**

au Chili

Nom et prénom : **Rodrigo Cienfuegos Carrasco**. Grade : **Profesor Auxiliar**

Adresse administrative : **Depto. Ingeniería Hidráulica y Ambiental - P. Universidad Católica de Chile - Vicuña Mackenna 4860 - Casilla 306 - Correo 221 - Santiago de Chile**

Téléphone : **(56 2) 354 42 27** Télécopie : **(56 2) 354 58 76** ... Courrier électronique : **racienfu@ing.puc.cl**

¹ Auquel appartient le responsable scientifique du projet.

² Indiquer le statut de l'Unité : UPRES, EA, UMR, UPR, U. INSERM, U. INRA, etc.

³ Le responsable du projet doit être habilité à diriger les recherches.

ECOS-Sud

Comité : Evaluation - Orientation de la Coopération Scientifique
(Argentine - Chili - Uruguay)

4. Liste des chercheurs confirmés (grade, structure de rattachement) et chercheurs en formation (structure de rattachement) participant au projet (distinguer si nécessaire entre chercheurs principaux, bénéficiaires des missions, et chercheurs associés ou occasionnels ; le nombre de 3 chercheurs principaux hormis les étudiants paraît raisonnable)

en France :

Barthélemy Eric, Prof., Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels, INP Grenoble (chercheur principal).....
Bonneton Philippe, DR CNRS, Lab. Environnements et Paléoenvironnements Océaniques (EPOC), Univ. Bordeaux 1 (chercheur principal)
Florent Grasso, Doctorant, Lab. des Ecoulements Géophysiques et Industriels, INP Grenoble (chercheur en formation).....
Marche Fabien, ATER, Lab. MAB , Univ. Bordeaux 1 (Post-Doc).....
Hervé Michallet, DR1 CNRS, Lab. des Ecoulements Géophysiques et Industriels, INP Grenoble (chercheur associé)
Castelle Bruno, Post-Doc, Lab. Environnements et Paléoenvironnements Océaniques (EPOC), Univ. Bordeaux 1 (chercheur associé)

au Chili :

Rodrigo Alberto Cienfuegos, Prof Auxiliar, DIHA, Escuela Ingeniería P. Universidad Católica de Chile (chercheur principal)
Duran Mario, Prof Adjunto., Centro Minería, P. Universidad Católica de Chile (chercheur principal sans bénéfice de missions)
Escauriaza Cristian, Prof Inst, DIHA, Escuela Ingeniería P. Universidad Católica de Chile (chercheur associé).....

ECOS-Sud

Comité : Evaluation - Orientation de la Coopération Scientifique
(Argentine - Chili - Uruguay)

5. Description du projet scientifique (problématique, contexte bibliographique, méthodologie, plan du travail, implication de chaque équipe...) utiliser autant de pages additionnelles que vous le jugerez nécessaire :

Voir projet scientifique présenté en annexe

Résultats escomptés au terme de l'action :

Publications en commun. Perfectionnement des conditions limites dans le modèle existant SERR-1D. Développement d'outils de morphologie numérique. Développement d'outils numériques performants pour la prédiction de l'hydrodynamique 2DH (SURF-BW). Validation de ces outils par comparaison avec les expériences de laboratoires et de terrain menées en France. Formation de chercheurs chiliens dans le domaine de l'océanographie littorale.

6. Antécédents de coopération avec la partie chilienne (donner, le cas échéant, les références des publications co-signées, thèses, équipements réalisés, brevets, etc.). Cette rubrique devra obligatoirement faire mention des actions antérieures ECOS auxquelles a participé *chacun* des membres du projet

Eric Barthélemy et Philippe Bonneton ont co-encadré la thèse de Rodrigo Cienfuegos soutenue le 24 novembre 2005 à l'Institut National Polytechnique de Grenoble. Dans ce travail un outil numérique performant pour la simulation 1D de la propagation des vagues depuis la zone de levée mais aussi dans la zone de surf a été développé et validé (SERR-1D). Un nouveau modèle de déferlement a été proposé et les comparaisons montrent qu'il permet de corriger certaines limitations pratiques observées notamment dans la paramétrisation utilisée dans FUNWAVE. Il a été mis en œuvre pour prédire les mouvements infragravitaires en situation 1D.

Les publications associées sont les suivantes :

- 1) A fourth-order compact finite volume scheme for fully nonlinear and weakly dispersive Boussinesq-type equations. Part I: model development and analysis. R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and P. Bonneton. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 51, pp 1217-1253, 2006.
- 2) A fourth-order compact finite volume scheme for fully nonlinear and weakly dispersive Boussinesq-type equations. Part II: boundary conditions and model validation. R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and P. Bonneton. *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 53 9, pp. 1423–1455, 2007.
- 3) Résolution numérique en volumes finis d'un système d' équations de Serre étendu. R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and P. Bonneton. *Révue Européenne de Génie Civil*, vol. 9 (7-8), pp. 889-902, 2005.
- 4) Analysis of nonlinear properties of surf zone waves as estimated from Boussinesq modelling : Random waves and complex bathymetries. R. Cienfuegos, E. Barthélemy, P. Bonneton and X. Gondran. 30th International Conference in Coastal Engineering (ICCE 2006), ASCE, San Diego, USA, sept. 2006 (accepted)..
- 5) A new wave-breaking parametrization for Boussinesq-type equations. R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and P. Bonneton. *Fifth International Symposium on Waves Measurements and Analysis (WAVES 2005)*, COPRI-ASCE, Madrid, Spain, Jul. 2005, CD-Rom.
- 6) Modélisation de la propagation de la houle sur une plage par la résolution en volumes finis des équations de Serre. R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and P. Bonneton. *VIIIèmes Journées Nationales Génie Côtier- Génie Civil*, Compiègne, France, Sept. 2004, vol. 1, pp. 383-389.
- 7) Roller modelling in the context of undertow prediction. R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and P. Bonneton. 29th International Conference in Coastal Engineering (ICCE 2004), ASCE, Lisbon, Portugal, Sept. 2004, vol. 1, pp. 318-330
- 8) Non-linear wave properties and infragravity wave motions simulated by a Boussinesq model. Barthélemy, E., Cienfuegos, R., Grasso, F., 18ème Congrès Français de Mécanique, Grenoble, France, Août 2007, proceeding accepté, 2007.

Emmanuel Mignot bénéficie d'un financement de 11 mois (septembre 2006 –juillet 2007) pour travailler en tant que Post-Doc à la Pontificia Universidad Católica de Chile. Il travaille actuellement sur la modélisation physique des ressauts hydrauliques comme modèle pertinent pour les vagues déferlées. Il a aussi mis en œuvre le code SERR-1D pour des études de propagation de fronts et de test de conditions limites.

Participations des membres du présent projet dans des projets ECOS antérieurs :

Mario Durán : Projet ECOS-Conicyt C03-E08 : “Modélisation, analyse mathématiques et Simulation numérique de quelques phénomènes provenant des sciences de l'ingénieur”.

ECOS-Sud

Comité : Evaluation - Orientation de la Coopération Scientifique
(Argentine - Chili - Uruguay)

7. Moyens :

Moyens propres provenant d'autres sources de financement (à indiquer obligatoirement) :

- 1) Projet LEFE-IDAO, « Hydrodynamique de la zone affectée par le déferlement », de l'INSU
- 2) Projet FONDECYT-iniciation recherche n° 11060312 attribué à R. Cienfuegos : "Numerical modelling of nearshore hydrodynamics and associated sediment transport processes"
- 3) Projet LITEAU II, « Stratégies de rechargement des plages en érosion », du Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable (MEDD)
- 4) Projet PEA-ECORS, « Morphodynamiques des plages sableuses - expérience in situ », du Service Hydrographique de la Marine (DGA).

Moyens sollicités dans le cadre ECOS-CONICYT pour la première année :

..... Nombre de missions France-Chili pour chercheurs confirmés, avec justification scientifique, en mentionnant obligatoirement leur durée (15 jours minimum) et les bénéficiaires (une priorité sera accordée aux jeunes chercheurs) :

Aucune mission dans la première année pour chercheur confirmé.....

.....
Nombre de missions Chili-France pour chercheurs confirmés, avec justification scientifique, en mentionnant obligatoirement leur durée (15 jours minimum) et les bénéficiaires (une priorité sera accordée aux jeunes chercheurs) :

Cienfuegos Rodrigo (4 semaines au Lab. EPOC de Bordeaux 1) : travail sur l'extension 2DH de SERR-1D avec P. Bonneton.

Stratégies de génération du maillage et transformation de coordonnées.

.....
.....
Stages pour chercheurs en formation (doctorants ou post-doctorants) chiliens en France ou français au Chili (annexer le CV et le programme de travail) :

Marche Fabien (4 semaines à la PUC) : travail sur l'extension 2DH de SURF-WB en incorporant des termes dispersifs aux équations. Avec R Cienfuegos et M. Duran.

Florent Grasso (2 mois à la PUC) : mis en œuvre de SERR-1D pour la caractérisation des ondes infragravitaires engendrées par le déferlement sur des plages en équilibre ou en évolution. Comparaison avec les essais de laboratoire menés au LEGI.

.....
Information sur les thèses en cours ou à venir, en particulier les thèses en co-tutelle ou en co-direction, reliées au projet : donner le nom, le titre de la thèse et la date de commencement

.....
.....

ECOS-Sud

Comité : Evaluation - Orientation de la Coopération Scientifique
(Argentine - Chili - Uruguay)

8. Informations complémentaires (cocher) :

Ce projet a été présenté en totalité ou en partie à un autre organisme (indiquer les moyens éventuellement obtenus) :
une mission pour R. Cienfuegos a été demandé dans le cadre de la soumission du projet MODLIT répondant à l'appel d'offre RELIEF-ECORS (2007) dont l'acceptation sera connu en juillet 2007

Ce projet n'a été soumis à aucun organisme, même partiellement.
.....

Ce projet est tripartite avec l'Argentine. En cas de réponse positive, le projet doit être déposé également dans le cadre de l'appel d'offres correspondant (date limite 14 avril 2007, pour l'Argentine).

Existence d'un accord Inter-universitaire : oui ; non ; je ne sais pas

Date : 27/03/07

Nom et signature du responsable français du projet : **Eric Barthélemy**



Avis, nom et signature du responsable de l'unité de recherche à laquelle appartient le responsable de projet :

Avis, nom et signature du Chef d'Établissement (les projets provenant d'UMR Université-CNRS pourront transiter indifféremment soit par l'université ou par le Délégué Régional du CNRS compétente ; pour les autres EPST, il s'agira du Directeur des Relations Internationales ou de l'Administrateur Délégué Régional, qui se chargera de recueillir les avis scientifiques éventuellement requis.)

Morphodynamique numérique des plages sableuses & rip-currents

ECOS-Chili 2007 PUC-INPG Le projet Scientifique

Correspondant chilien :
CIENFUEGOS Rodrigo
Depto. Ingenieria Hidraulica y Ambiental
Pontificia Universidad Catolica de Chile
Vicuna Mackenna 4860
Casilla 306 - Correo 221
Santiago de Chile

tél : (56 2) 354 42 27
fax : (56 2) 354 58 76
E-mail : racienfu@ing.puc.cl

Correspondant français :
BARTHÉLEMY Eric
Laboratoire des Ecoulements Géophysiques et Industriels - INPG
BP 53
38041 Grenoble cedex9

tél : (33) (0)4 76 82 51 17
fax : (33) (0)4 76 82 50 01
E-mail : eric.barthelemy@hmg.inpg.fr

1 Introduction

Le présent projet s'insère dans un contexte scientifique large. Il se rattache à la thématique de l'hydrodynamique et de la morphologie des zones littorales affectées par le déferlement des houles et tire ses méthodes de la mécanique des fluides, de la physique et de la modélisation numérique.

Pour le Chili et la France, qui possèdent les plus grandes façades maritimes respectivement du continent Latino-Américain et de l'Europe continentale, les enjeux autour de ces questions sont considérables. Plus des 2/3 de la population mondiale vit sur les côtes. En France environ 10 millions de personnes résident à moins de 25km du bord de mer. La croissance de cette population en France atteint 1 à 2% suivant les régions côtières (croissance de la population nationale de 0.04%).

Les littoraux sableux en Europe subissent une érosion généralisée avec un recul moyen de l'ordre de 1m par an (<http://www.euroasion.org>) et qui est aussi constatée depuis 50 ans sur pratiquement tous les littoraux (Bird, 1985). Cette érosion a des causes multiples. L'augmentation du niveau des océans (10-25 cm sur les 100 dernières années d'après l'IPCC) en est une et l'augmentation dans les 100 prochaines années (de l'ordre de 50cm) constitue une menace qui conduirait à un recul du trait de côte de l'ordre de plusieurs centaines de mètres.

Par ailleurs une gestion des côtes à long terme, que certains qualifieront de durable, est à l'ordre du jour afin que la pression démographique interannuelle mais aussi saisonnière (tourisme) ne mettent pas en péril les écosystèmes, ressources économiques importantes. Au Chili, la forte croissance économique que le pays a connu depuis une quinzaine d'années

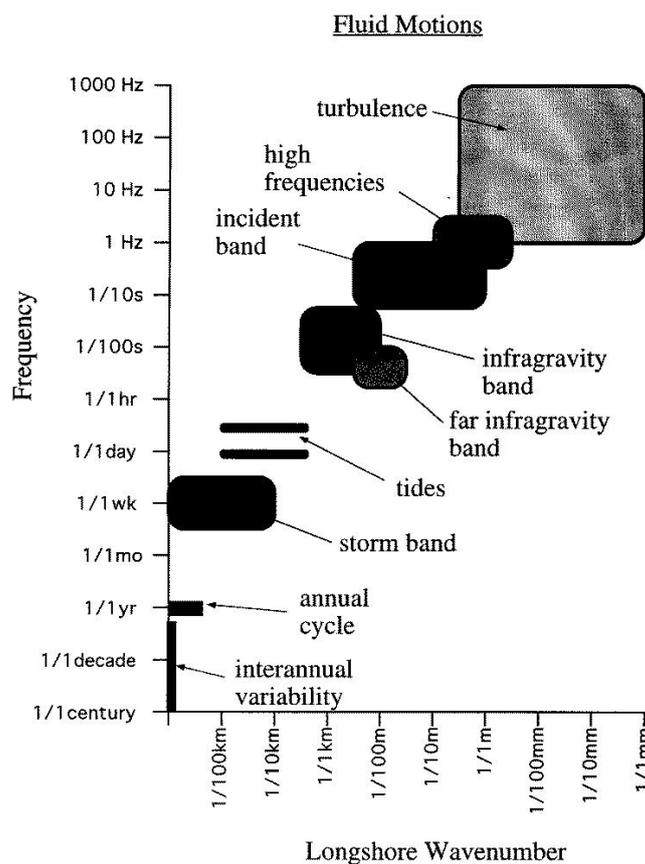


FIG. 1 – Echelles de temps des phénomènes hydrodynamiques littoraux en fonction de leurs échelles spatiales.

commence à soulever des questions sur la gestion efficace et durable de l'environnement littoral. Qu'il s'agisse de la forte augmentation de la fréquentation des plages liée au tourisme, ou à l'intensification des activités industrielles susceptibles de perturber des écosystèmes fragiles situés souvent à la frontière entre la terre et la mer, les enjeux économiques et sociaux sont de plus en plus importants et les citoyens de plus en plus attentifs à ces questions. Au Chili, l'Etat a entrepris ces dernières années d'importants projets de réaménagement et de revalorisation du littoral parmi lesquels figurent les "planes BICENTENARIO". Par ces projets la population d'Antofagasta jouit de trois plages artificielles. L'état prévoit, entre autres, de favoriser la récupération du secteur compris entre Caleta Portales et Muelle Barón à Valparaíso. Les évaluations préliminaires, très positives, notamment des projets des plages artificielles, vont sans doute favoriser le développement d'initiatives de ce type dans d'autres régions du pays.

Les zones littorales sont dynamiquement sous l'influence des houles provenant du large et du déferlement. Ceci se traduit par une gamme étendue d'écoulements qui présentent des échelles de temps et d'espace très variées comme synthétisé sur la Fig.1. Notre projet est centré sur la compréhension et la modélisation de la circulation moyenne dans la zone de surf (les 100 à 500 premiers mètres à proximité du rivage) et de la morphologie induite.

L'intérêt général de ce type d'études réside évidemment dans l'importance de ces phénomènes pour l'ensemble des processus littoraux tels que le transport de sédiments, l'évolution du trait de côte, la morphologie littorale, la dispersion des polluants, les flux bio-géo-chimiques à l'interface terre / mer. Par ailleurs cette compréhension doit permettre de définir, avec plus de respect pour leur dynamique propre, les actions pour la sauvegarde des systèmes littoraux.

Nous proposons dans ce contexte un projet de collaboration entre des équipes de recherche Chiliennes et Françaises, portant sur la compréhension et la modélisation de



FIG. 2 – Barres-Bâines et déferlements sur la côte Landaise (Plage du Truc Vert).

phénomènes littoraux particuliers, encore mal compris que sont :

1. la morphodynamique 1D dite cross-shore des plages sableuses et les ondes infragravitaires associées
2. les courants sagittaux (ou rip currents), macro-structures turbulentes et la morphodynamique associées

2 Les thèmes

2.1 La morphodynamique 1D des plages sableuses

Il est actuellement admis que d'un point de vue morphodynamique, l'asymétrie des houles est responsable de la migration vers le trait de côte des corps sableux tels que les barres de déferlement (Drake and Calantoni, 2001; Elgar et al., 2001; Hoefel and Elgar, 2003; Stive and Reniers, 2003). Cet important mécanisme d'accrétion doit non seulement être étudié parce qu'il permettra de mieux comprendre le comportement morphologique des profils de plages mais aussi parce qu'il est un des mécanismes qui garanti que les stratégies de rechargement d'avant-côte fonctionnent.

Dans ce contexte le couplage de modèles de type Boussinesq avec des modèles appropriés de transport de sédiment est une approche prometteuse. Cependant notre connaissance partielle des processus d'érosion et de déposition dans la zone de surf en présence de turbulence et de l'interaction houles-courants constitue un frein. Le transport par charriage qui se produit en particulier comme un sheet flow dans la zone de levée, est assez bien comprise et peut être relativement bien modélisé numériquement (Ribberink and Al-Salem, 1995; Guizien et al., 2003; Da Silva et al., 2006). En revanche la modélisation des flux sédimentaires en zone de surf et de jet de rive (swash zone) sièges d'une turbulence intense et d'un transport de sédiment très intermittent et en suspension, reste encore très

empirique (Puleo et al., 2003, e.g.). Des premiers pas permettent aujourd’hui d’envisager plus sérieusement le couplage de modèles de Boussinesq avec des modèles de transport de sédiments (Rakha et al., 1997; Karambas and Koutitas, 2002).

Les formules classiques d’ingénierie pour les flux sédimentaires (Bagnold, 1966; Bailard and Inman, 1981) ne permettent pas prédire la migration vers le haut de plage des barres sableuses pour des faibles conditions de forçages par la houle (Hoefel and Elgar, 2003; Stive and Reniers, 2003). En effet il est à peu près clair que cette limitation est due à la mauvaise prise en compte dans ces formules de l’accélération induite dans la couche limite par les fronts raides de la houle (Drake and Calantoni, 2001; Elgar et al., 2001; Hoefel and Elgar, 2003; Hsu and Hanes, 2004). Cependant Hoefel and Elgar (2003), ont été à même de reproduire la migration d’environ 30m vers le haut de plage de la barre de déferlement observée sur la plage de Duck (North Carolina) en forçant une formule améliorée de Bailard, proposée par Drake and Calantoni (2001), avec les vitesses mesurées proche du fond.

Bien que le détail des mécanismes qui concourent à la migration des barres n’est pas complètement cerné, la précédente conclusion pointe vers le type d’informations qui manquent. Il est en effet clair que les asymétries et certains effets retard (principalement associés au transport en suspension) contrôlent l’accrétion qui est le mécanisme naturel de rechargement du profil. De plus des “expériences” numériques récentes basées sur des modèles à 2 phases renforcent l’idée que sous des houles déferlantes ou quasi déferlantes, l’accélération (principalement associée à l’asymétrie verticale) est le paramètre le plus pertinent pour estimer le transport par sheet flow Drake and Calantoni (2001); Hsu and Hanes (2004).

2.2 Les courants sagittaux : “rip currents”

La circulation globale de la zone de surf résulte de la combinaison et de l’interaction d’une grande variété de phénomènes hydrodynamiques. Parmi ceux qui soulèvent actuellement le plus de questions nous avons choisi de porter notre attention sur les courants sagittaux (CS).

La zone de surf se caractérise par une vorticité verticale plus importante que celle observée en zone de levée (zone dite aussi de shoaling). De grands tourbillons ou macro-vortex associés à cette vorticité verticale sont présents en zone de surf à plusieurs échelles spatiales et temporelles.   l’échelle de la houle, des macro-vortex sont engendrés par le déferlement différentiel des crêtes de houles (Peregrine, 1998). Les crêtes des houles déferlent avec de forts gradients transversaux à cause de : (i) les inhomog nit s de la topographie de la plage qui conduisent à la réfraction et diffraction de la houle (ii) l’inhomog nit  du forçage par la houle du large. Les formes de fond les plus fréquentes responsables du déferlement différentiel sont les barres d’avant côtes festonnées (barres en croissant, barres-baines par exemple : voir Fig. 2) ou même certains ouvrages immergés de protection. Pour sa part l’inhomog nit  spatiale du forçage (voir Fig. 2) a de nombreuses causes :

1. la houle venant du large est elle-même inhomogène en terme de direction et d’amplitude
2. le déferlement d’ondes irrégulières à spectre étroit provoque une variation, à la fréquence des groupes de vagues (dans des gammes de périodes $\geq 25s$), du set-up (niveau moyen de la surface libre au dessus du niveau au large). Ceci engendre des ondes infragravitaires (IFG de longueur d’onde de l’ordre de la centaine de mètres) qui peuvent se propager soit vers le large soit être piégées à la côte. Elle provoque ainsi des variations de niveau d’eau qui module la réfraction des houles incidentes
3. les courants moyens, résultats du déferlement, produisent une rétro-action sur les houles incidentes.

Dans leurs travaux récents Brocchini et al. (2004) ont étudié expérimentalement et numériquement la dynamique de macro-vortex et leur génération sur une topographie

isolée lors de la phase de mise en régime au passage de la première vague. La dynamique de macro-vortex isolés ou en paires (dipôles) ainsi engendrés a fait l'objet de récentes recherches par d'autres auteurs (Buhler and Jacobson, 2001; Centurioni, 2002; Johnson and McDonald, 2004). Cependant le devenir et les interactions de ces structures en régime établi et leur rôle sur la dynamique moyenne et résiduelle sont mal connus. Comment se réorganise à grande échelle et à long terme la vorticité ainsi produite à échelle de la vague ?

La vorticité relativement intermittente et à petite échelle, s'accompagne donc d'une vorticité de plus grande échelle, associée aux écoulements moyens résiduels dans cette zone de surf. Les courants sagittaux ou rip-currents (Smith and Largier, 1995; MacMahan et al., 2006; Castelle and Bonneton, 2006) qui consistent en des écoulements rapides ($O(1\text{m/s})$), de type jet (largeur de 10    20m,) dirigés vers le large perpendiculairement au trait de côte, en sont les exemples le plus frappants et meurtriers (voir Fig. 3). Ces courants font partie d'un système de circulation plus large dont les principales caractéristiques sont indiquées sur Fig. 3. Il faut noter que ces rip currents sont responsables d'une érosion localisée et d'un transport de sédiments vers le large qui conduisent à la formation d'un chenal. Il se produit une rétroaction morphologique par laquelle la houle a de moins en moins tendance à déferler dans le chenal. Ceci renforce alors le déferlement différentiel qui à son tour crée un jet du corant sagittal plus fort. La combinaison d'un jet relativement intense et de profondeurs d'eau localement plus importantes en font des courants redoutables pour les baigneurs. Ces courants sont préférentiellement engendrés par des houles d'incidence normale et permettent d'évacuer vers le large les masses d'eau transportées par la houle vers la côte.

Ces rip currents sont observés depuis longtemps (Shepard et al., 1941; MacMahan et al., 2006) et font encore l'objet de campagnes in-situ (Castelle et al., 2006). Certaines actions du projet ECORS (voir paragraphe 4) porteront précisément sur la mesure et l'observation des rip currents. Les observations in-situ montrent que l'intensité des courants sagittaux augmente avec l'énergie de la houle incidente (Shepard and Inman, 1950; Castelle and Bonneton, 2006; Castelle et al., 2006) et que leur apparition est aussi favorisée par des climats de houle très énergétiques. Les rip currents présentent un partie centrale (neck) qui est assez bien reproduite par des modèles basés sur la conservation de la vorticité potentielle (Arthur, 1962; Kennedy, 2003).

Kennedy (2003) analyse le mouvement et les écoulements associés à un dipôle vorticitaire. La configuration initiale du dipôle, liée à un déferlement différentiel, est celle proposée par Peregrine (1999). La paire de vortex se déplace vers le large et les profondeurs plus importantes. L'étirement et la compression non-linéaire des tubes vortex est donc un élément clef de la dynamique des CS et en particulier doit être prise en compte dans la modélisation pour retrouver la section contractée (neck ; Fig. 3) dans le jet (Bowen, 1969; Kennedy, 2003).

Des calculs numériques tendent à montrer (Svendsen et al., 2002) que le débit associé à un CS n'est pas fonction de l'espacement entre cellules de CS. Ceci est faveur d'une génération du courant sagittal plutôt par déferlement différentiel que par les gradients transverses de set-up (niveau moyen) le long du trait de côte dont la mise en évidence in-situ n'a jamais été concluante (Callaghan et al., 2004). En outre les mécanismes qui règlent précisément l'espacement/périodicité des rip currents le long d'une plage font encore l'objet de controverses et aucune tendance nette se dégage des nombreuses mesures in-situ (Ranasinghe et al., 2002).

Par ailleurs il est très souvent observé des pulsations très basses fréquences dans des gammes qui correspondent aux gammes d'inhomog  nit   temporelles évoquées plus haut (Bonneton et al., 2004). Et les expériences in-situ récentes (RIPEX, MacMahan et al. (2004)) font état du rôle des ondes IFG piégées. Il a été aussi suggéré que l'interaction houle-courant dans le rip même serait responsable de cette pulsation. Une fois le jet du courant sagittal établi, la houle incidente se réfracte sur ce courant et sa cambrure augmente. Dès lors le déferlement à tendance à se déclencher plus au large que dans la phase de mise en régime. Le set-up s'initie plus au large (le niveau moyen de la surface libre

augmente) contribuant à en diminuer le débit. Ce qui par conséquent tend à diminuer la raidissement précoce de la houle. Un tel enchainement devrait alors produire une oscillation du CS. Les instabilités hydrodynamiques de cisaillement du courant de dérive et l'éjection de structures vorticitaires à la tête du CS sont aussi des mécanismes potentiels pour rendre compte des oscillations des courants sagittaux (Smith and Largier, 1995).

3 La méthode

Les outils

Nous avons choisi d'aborder les problématiques soulevés, en partie avec l'aide de la modélisation numérique. Dans le vaste choix de méthodes qui permettent la modélisation des écoulements en zone de surf, plusieurs familles se distinguent clairement à l'heure actuelle :

1. Les méthodes que l'on peut nommer Navier-Stokes ($k - \epsilon$ instationnaire ou LES) combinées à des méthodes VOF permettent donc de faire des calculs instationnaires et pourraient en principe donner accès aux propriétés des macro-structures. Cependant leurs coûts en ressources informatiques sont très importants. Les limitations se situent surtout dans la gamme restreinte d'échelles simulées. Ces méthodes ne permettent pas à l'heure actuelle de décrire à la fois la turbulence 3D dans le déferlement et les macro-structures tourbillonnaires quasi-2D à l'échelle de la plage.
2. Les modèles dit à phase moyennée, n'autorisent que le calcul des écoulements résiduels. Les fluctuations aux échelles des vagues sont paramétrisées par des lois de fermetures ainsi que les effets de diffusion lié à la turbulence. Ils peuvent être utilisés pour la modélisation des rip et des shear waves. Ces modèles peuvent être perfectionnés pour prendre en compte les variabilités verticales des écoulements (Svendsen and Putrevu, 1994). On peut classer dans cette catégorie les modèles écrit avec la vorticité potentielle et la fonction de courant (Bowen and Holman, 1989).
3. La famille des modèles basés sur les hypothèses "shallow water" ou eau peu profonde (soit Barré de Saint Venant dits SV ou soit Boussinesq; Bonneton (2001); Barthélemy (2004); Bonneton (2007)) s'appuient sur le fait que les écoulements en zone de surf sont effectivement en eaux de faibles profondeurs (longueur d'onde de 50 à 100m pour des profondeurs de 4 à 0m) et que l'écoulement peut être considéré comme uniforme sur la verticale. Nos équipes ont développé un code, SERR-1D, de propagation depuis les profondeurs intermédiaires jusqu'au trait de côte basé sur les équations dites de Serre (Serre, 1953). Les modèles reposant sur les équations SV et en particulier le code SURF-WB (Laboratoire EPOC, Bordeaux) ont montrés leur capacité à reproduire la dynamique des fronts d'onde déferlés en zone de surf (Bonneton, 2003; Bonneton et al., 2004).

Des premières études (Chen et al., 1999; Marche, 2005; Marche et al., 2007) indiquent que les modèles SV sont adaptés à la modélisation 2DH (2D dans un plan horizontal puisque les variables descriptives sont des moyennes sur la verticale) des courants résiduels et de la macro-vorticité à l'échelle des vagues (voir Fig.4).

4. Une simplification de type "toit rigide" dans des modèles de type SV (Allen et al., 1996) permet des analyses non-linéaire de stabilité dans lesquelles les modes gravitaires sont de fait filtrés.

Dans le cadre de ce projet notre objectif est d'étendre le domaine d'application de nos modèles à des vagues tridimensionnelles et aléatoires, afin de pouvoir simuler explicitement toute la gamme des processus hydrodynamiques en zone de surf, allant de la transformation rapide des vagues, jusqu'à la dynamique lente des macro-structures tourbillonnaires et les ondes IFG (cf. Fig. 1). A l'heure actuelle, le modèle FUNWAVE (code basé sur les équations de type Boussinesq, University of Delaware; Wei and Kirby (1995))

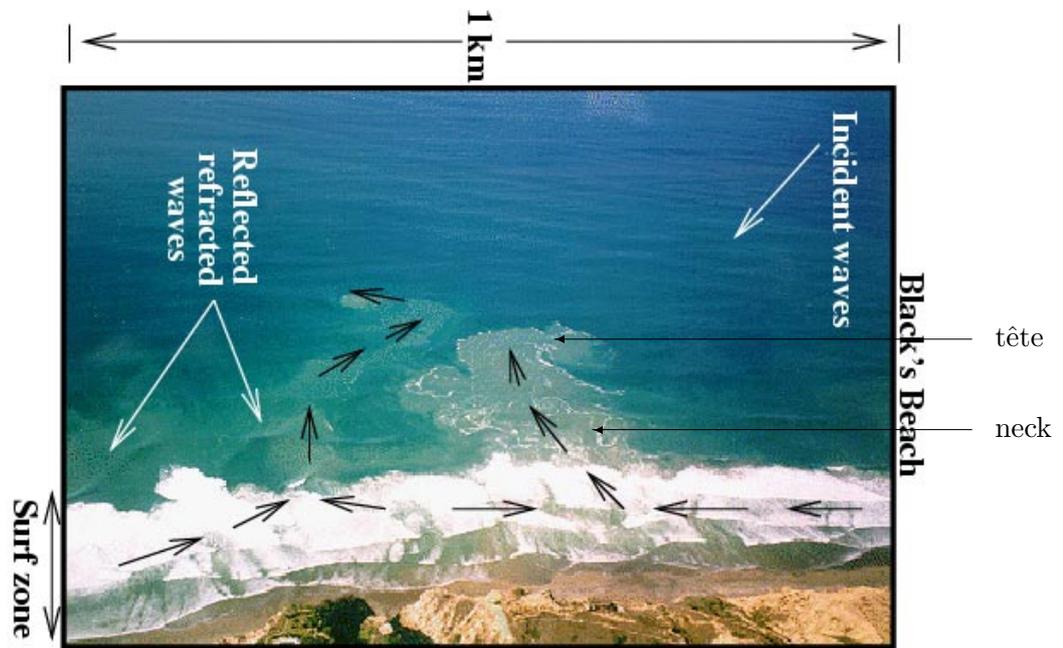


FIG. 3 – Courants sagittaux (Black's Beach, Californie). Les flèches indiquent le sens des courants moyens. On distingue le SC lui même orienté vers le large sous forme d'un jet avec la section contractée (neck) et les courants qui alimentent le SC le long du trait de côte (feeder currents).

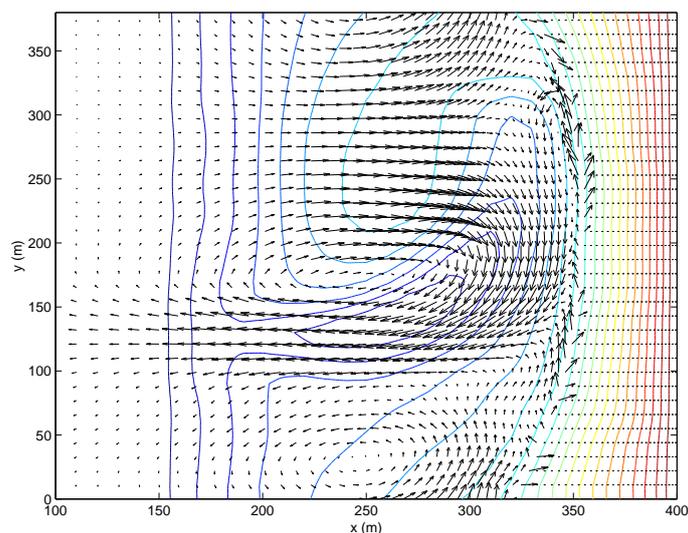


FIG. 4 – Vue en plan du champ de vitesse moyenné issu d’un calcul SV (Marche, 2005). (–) contours bathymétriques. La houle (hauteur de houle de 2m) est frontalement incidente à l’abscisse $x = 100$. On distingue très nettement le courant sagittal dans le chenal de la barre-bâine.

est au niveau international le seul à pouvoir représenter l’ensemble de ces phénomènes. Cependant, des travaux ont mis en évidence les faiblesses de ce modèle pour la zone de surf, liées à une mauvaise représentation du déferlement. En particulier Cienfuegos et al. (2006a), Cienfuegos et al. (2006b) et Cienfuegos et al. (2006c) ont mis au point une paramétrisation du déferlement, finement déduite de la physique même de ce déferlement (Cienfuegos et al., 2004). Grâce à cette paramétrisation le modèle Boussinesq (1D avec fortes non-linéarités et dispersion appelé SERR-1D) reproduit parfaitement la dynamique des ondes déferlées, leurs asymétries (formes en dents de scie) mais aussi des propriétés moyennes de l’écoulement telles que le set-up et le set-down.

Le modèle SURF-WB (Laboratoire EPOC, Bordeaux) donne aussi d’excellents résultats en ce qui concerne la distorsion et la dissipation des vagues déferlées, mais il ne s’applique qu’aux zones de surf et de swash. Notre objectif durant la première année du projet est alors d’étendre le domaine d’application du modèle à la zone de levée et donc à l’ensemble du domaine littoral. Pour cela, nous allons travailler avec des équations de type Boussinesq qui correspondent à celles de Barré de Saint Venant avec des termes dispersifs supplémentaires. Nous allons développer une méthode à pas fractionnaire, afin de traiter les termes dispersifs comme des « termes sources », tout en utilisant pour les termes hyperboliques les méthodes performantes de capture de chocs déjà développées dans SURF-WB.

3.1 Les axes de travail

3.1.1 La morphodynamique 1D

En principe le couplage de SERR-1D avec un module morphologique doit permettre de prédire la réponse du profil de plage à différents climats de houle. Notre objectif est de développer un outil de modélisation pour être utilisé dans le cadre de la prédiction à court et moyen terme des évolutions des profils de plage. A cette fin on analysera les capacités de différentes formules de transport pour prédire les évolutions des plages et leur profils d’équilibre aussi bien observées en laboratoire qu’en nature.

Notre objectif est de s’appuyer sur le fait que les modèles de type Boussinesq fournissent des informations à chaque phase de la houle tels que la hauteur de vagues, l’asymétrie, le skewness, les vitesses et l’accélération du fluide nécessaires pour forcer les formules de transport sédimentaire. On s’attachera plus particulièrement à tester la formule de Bailard-Bagnold améliorée proposée par Drake and Calantoni (2001) et de l’agrémenter de

certaines paramétrisations proposées par Nielsen (2002) et Nielsen and Callaghan (2003). De plus des approches à phase moyennée qui paramétrisent les effets instationnaires et de retard de phase entre les vitesses et la concentration associés à la charge en suspension, seront analysées (Dibajnia and Watanabe, 1992; Da Silva et al., 2006). En effet ces derniers semblent, sur un plan empirique, être requis pour correctement reproduire les profils de plage en équilibre (Puleo et al., 2003).

3.1.2 Les mouvements infra-gravitaires

Les formes d'équilibre d'avant plage dépendent fortement des mouvements infragravitaires particulièrement énergétiques près du trait de côte (Bowen, 1980). On pressent que SERR-1D est capable de capturer les 2 mécanismes qui forcent les mouvements infragravitaires. En effet la dispersion et les interactions non-linéaires pris en compte dans SERR-1D sont essentiels pour la génération des ondes longues liées au vagues en paquet. De plus le déferlement, actuellement bien reproduit dans SERR-1D, participe au mécanisme de l'oscillation du point déferlement autre mécanisme de génération des ondes infragravitaires. Les expériences entreprises actuellement au LEGI serviront sur ce plan d'éléments de comparaison importants. Des comparaisons préliminaires sur les ondes infragravitaires ont été menées avec succès (Cienfuegos et al., 2006; Barthélemy et al., 2007).

Des essais numériques de propagation de houles irrégulières avec SERR-1D ont montré que la condition limite de trait de côte, qui est très importante pour la dynamique de la zone de swash, doit être améliorée dans notre modèle. Ainsi une tâche primordiale sera le test de différents type de condition limite qui permettent de capturer le flux et le reflux des houles sur la plage. Plusieurs stratégies numériques sont envisageables pour traquer l'interface entre l'écoulement et la zone sèche. Certaines simplement ad-hoc sont actuellement utilisées dans SERR-1D (Lynett et al., 2002). D'autres plus sophistiquées reposent sur les propriétés des caractéristiques des équations de l'eau peu profonde ou sur des transformation de coordonnées (Bellotti and Brocchini, 2001; Prasad and Svendsen, 2003). Dans le cadre du présent projet notre objectif est donc bien d'implémenter une stratégie physiquement et mathématiquement pertinente. Sur cet axe de travail les collaborations mettront en jeu Mario Durán de la PUC et Philippe Bonneton de l'Université de Bordeaux University I.

3.1.3 Les courants sagittaux et les mouvements infragravitaires

Enfin notre objectif à échéance de 3 ans est l'extension 2DH du modèle SERR-1D et la modélisation des houles irrégulières telles que rencontrées in-situ. Sur le premier point une extension en 2D horizontal des équations (option choisie pour FUNWAVE) soulèvent des questions concernant le maillage, le suivi des ondes déferlées et le coût informatique. L'utilisation pour le modèle de coordonnées curvilignes généralisées permettrait une adaptation à des géométries complexes tout en conservant une formulation sur maillage décalé (Shi et al., 2001). Cristian ESCAURIAZA utilise avec beaucoup de succès ce type de maillage dans un code TVD SV avec capture de chocs. Par ailleurs un maillage quadrilatère structure a déjà été utilisé dans le cadre des schémas compacts (Lacor et al., 2004). A ce stade aucune option n'a été arrêtée.

Des collaborations internationales (dans le cadre du programme ECORS, voir partie 4) avec M. BROCCINI (University of Genova) nous conduirons à une intercomparaison détaillée des capacités des codes FUNWAVE, SURF-WB et SERR-1D. Une fois les codes validés, nous étudierons avec ces modèles, les mécanismes de génération de la vorticité verticale par les fronts d'onde déferlants (déferlement différentiel) se propageant sur des topographies 3D. En interaction étroite avec les campagnes de mesure ECORS (voir partie 4) nous étudierons avec SURF-WB et FUNWAVE la courants sagittaux et les ondes basses fréquences induites par les vagues sur la plage aquitaine du Truc Vert (Fig.2).

3.1.4 Modèle physique de la morphodynamique 3D associée à des courants sagittaux forcés (rips)

Les courants sagittaux (2.2) sont la plupart du temps fortement couplés à la morphologie locale et la présence de chenaux de vidange (rip channel) (MacMahan et al., 2006). Ils sont fréquemment observés sur les plages dites intermédiaires, qui ont la particularité de présenter des structures sédimentaires 3D quasi-périodiques.

Nous proposons de réaliser des essais de morphodynamique dans le bassin de génie côtier (30m x 30m équipé sur un bord d'un batteur serpent constitué de 30 volets indépendants permettant de réaliser des houles aléatoires multidirectionnelles) de l'INP Grenoble situé dans le laboratoire de la SOGREAH et auquel par convention le LEGI a accès 25% du temps (Fig. 5). Nous nous appuyerons sur les connaissances acquises grâce aux expériences 2D en canal décrites par ailleurs et nos études antérieures dans cette installation. Nous utiliserons le même sédiment et partirons de profils de plage caractéristiques. Wang et al. (2002), Wang et al. (2003) et Wang and Kraus (2005) ont réalisé des expériences de nature proche, en bassin 3D (LTF facility), de déferlement de houles irrégulières avec incidence sur fond sédimentaire mobile. Ces auteurs ont ainsi obtenu des profils de plage similaires à ceux que nous obtenons en canal, ce qui assure la faisabilité de nos propres expériences. Ces expériences sont partie intégrante d'une soumission à l'appel d'offre RELIEF de l'INSU et plus particulièrement de son volet ECORS-2. Nous proposons d'étudier la réponse morphologique et l'hydrodynamique pour la succession de climats de houle caractéristiques déterminée dans le cadre des expériences en canal 2D. Ces climats de houle seront composés de houles frontales. La hauteur énergétique de ces houles sera légèrement plus faible au centre afin de créer le déferlement différentiel nécessaire à la génération et l'entretien d'un courant sagittal. La formation du chenal pourra également être initiée en perturbant la bathymétrie. Nous suivrons d'une part la dynamique du courant sagittal en mesurant sa structure horizontale et verticale par vélocimètre et courantomètre acoustique profileur (ADV/ADCP) (Hurther et al., 2007) ainsi que le champ de vorticités par mesure et traitement de données de vélocimétrie par image de particules PIV ((Branger and Kimmoun, 2007; Kimmoun and Branger, 2007; Lubin et al., 2006), et trajectographie de surface (Holland et al., 2001; A.B. and Thomas, 2004). D'autre part la formation et l'évolution de ce chenal seront mesurées par relevés topographiques. L'idée d'une profondeur d'équilibre du chenal pourra être questionnée et testée. Les houles multi-directionnelles aléatoires sont, comme en canal 2D, à même de forcer des ondes infragravitaires. Cette réponse basse fréquence liée à l'organisation de la houle en paquets est suspectée d'être en partie responsable des pulsations du jet principal du courant sagittal observées en nature (MacMahan et al., 2004). Il est par ailleurs observé que le panache produit par l'évasement du courant sagittal hors de la zone de surf est aussi le siège de pulsations. Nous nous proposons en situation contrôlée de laboratoire de comprendre la nature de ces pulsations plus complexes du panache et d'en mesurer les caractéristiques.

4 Le contexte contractuel, institutionnel et industriel

Les actions de collaboration en cours

La venue de Rodrigo CIENFUEGOS à Grenoble pour son travail de Master et de thèse a été l'élément fondateur de la collaboration que l'on souhaite formaliser par ce projet ECOS-Chili. Un certain nombre de séjours de chercheurs français à l'université de la PUC ont déjà eu lieu et nous souhaitons bien évidemment pérenniser cette collaboration fructueuse.

Emmanuel MIGNOT (ATER INPG pendant l'année 2005-2006) est actuellement Post-Doc au département DIHA de la PUC depuis le mois d'octobre 2006 et ce jusqu'à août 2007. Il travaille sur la détermination expérimentale des caractéristiques macroscopiques des ressauts hydrauliques ainsi que les mesures détaillées des écoulements dans ces ressauts. Ce travail est évidemment en relation avec le projet actuel dans la mesure où les

ressauts hydrauliques sont les modèles les plus appropriés pour étudier simplement les caractéristiques des vagues déferlées (Svendsen et al., 2000). Dès décembre 2007 il participera pour 8 mois à la campagne de mesures in-situ ECORS.

Eric BARTHÉLEMY (Prof. INPG) réalise actuellement un séjour d'un an à la PUC pendant l'année universitaire 2006-2007 et qui prendra fin en juillet 2007. Un CRCT (Congé de Recherche et Conversion Thématique) et un contrat de recherche avec la PUC ont permis de financer ce séjour. Pendant cette année il a participé au cours "Hydraulica costera" suivi par 20 étudiants et qui se déroule au le premier semestre. Sa contribution au projet portera sur la modélisation numérique 2DH des écoulements en zone de surf et du couplage de cette modélisation avec une modélisation morphologique et/ou du transport de sédiments. A plus long terme il participera à l'implémentation dans FUNWAVE des nouvelles paramétrisations du déferlement évoquées dans la partie 3.

Les actions contractuelles associées

Notre projet s'inscrit dans une démarche globale de recherche de nos équipes. Les laboratoires EPOC et LEGI participeront à une très grande expérience in-situ pendant l'année universitaire 2007-2008. L'Etablissement Principal du Service Hydrographique de la Marine (EPSHOM) à Brest financera, au travers d'un PEA (Programme d'Etude Amont de la DGA), cette étude sur la morphodynamique des plages sableuses à court et moyen terme. Le site d'étude sera celui de la Plage du Truc Vert sur la côte Landaise (Fig. 2). Ce PEA intitulé ECORS, est coordonné par l'équipe METHYS du laboratoire EPOC de l'Université de Bordeaux I avec laquelle nous sommes déjà associés dans le cadre du projet PATOM/IDAO et dont est membre Ph. Bonneton, coencadrant de la thèse de Rodrigo Cienfuegos. Parmi les nombreuses actions thématiques retenues dans ce projet, celles en liaison avec la présente demande portent sur l'analyse des structures tourbillonnaires associées aux rip currents en sortie de chenal d'une barre-bâine aussi bien en zone intertidale et qu'en zone subtidale et à la morphodynamique.

Les expériences en bassin tri-dimensionnel proposées dans le cadre de l'appel d'offre RELIEF seront regroupées avec celles de l'ANR COPTER (2006- 2008), avec l'accord officiel de l'ANR, afin de pouvoir réaliser des expériences plus ambitieuses, servant les objectifs scientifiques complémentaires des deux projets. Le projet COPTER (Conception, Optimisation et Prototypage d'Ouvrage de lutte contre l'ERosion littorale) a pour but d'optimiser la forme de structures d'avant-côte traditionnelles ou innovantes pour minimiser l'érosion des plages. Une des ambitions du projet est de trouver des structures qui laissent inchangée l'action des houles de petites amplitudes, bénéfique pour la reconstruction de la plage, et qui dans le même temps permet de dissiper l'énergie des houles les plus fortes. Le financement comporte un volet pour la réalisation d'essais en canal/bassin sur les structures issues de l'optimisation. Les laboratoires impliqués dans l'expérimentation ont décidé de rapprocher le volet expérimentation acquis de COPTER du volet expérimentation demandé dans le présent appel d'offre RELIEF afin d'obtenir les conditions de financement et d'accès aux équipements les meilleures possibles. De plus, nos équipes de recherche comptent parmi les équipes les plus impliquées sur ces thèmes aussi bien au niveau national qu'au niveau international.

Programmes Nationaux :

- Programme CNRS LEFE/IDAO : "Hydrodynamique de la zone affectée par le déferlement" (coordinateur : H. Michallet)
- Programme National d'Environnement Côtier (PNEC) : "Conditions d'entraînement des sédiments naturels et flux d'érosion associés".
- Programme du MEDD : LITEAU II sur les "Stratégies de rechargement des plages en érosion"
- Programme FONDECYT du CONICYT Chile (11060312) : "Numerical modelling of nearshore hydrodynamics and associated sediment transport processes"



FIG. 5 – Bassin à houle 3D de l'INPG-SOGREAH.

Projets européens du 6^e PCRD :

- HYDRALAB : il s'agit d'un réseau européen (financement CEE) de très grand instruments de recherche en hydraulique environnementale
- ENCORIA : réseau européen (financement CEE) dont le champ d'action porte sur la gestion intégrée de la zone côtière (ICZM)
- programme INTER-REG en sous-traitance du Conseil Général 34 : projet GESA sur le rechargement des plages en érosion.

Références

- A.B. Kennedy A.B. and D. Thomas. Drifter measurements in a laboratory rip current. *J. Geophys. Res.*, 109, 2004. C08005.
- J.S. Allen, P.A. Newberger, and R.A. Holman. Nonlinear shear instabilities of alongshore currents on plane beaches. *J. Fluid Mech.*, 310 :181-213, 1996.
- R.S. Arthur. A note on the dynamics of rip currents. *J. Geophys. Res.*, 67(7) :2777-2779, 1962.
- R.A. Bagnold. An approach to the sediment transport problem from general physics. *US Geological Survey Professional Paper*, 442-I(37 pp), 1966.
- J. A. Bailard and D. L. Inman. An energetics bedload model for a plane sloping beach : local transport. *J. Geophys. Res.*, 86 :2035-2043, 1981.
- E. Barthélemy. Nonlinear shallow water theories for coastal waves. *Surveys Geophys.*, 25 (3-4) :315-337, 2004.
- E. Barthélemy, R. Cienfuegos, and F. Grasso. Non-linear wave properties and infragravity wave motions simulated by a boussinesq model. In *18ème Congrès Français de Mécanique*, Grenoble, France, 2007.

- G. Bellotti and M. Brocchini. On the shoreline boundary conditions for Boussinesq-type models. *Int. J. Numer. Meth. Fluids*, 37 :479–500, 2001.
- E. C. F Bird. *Coastline changes*. John Wiley and Sons, New York, 1985.
- N. Bonneton, P. Bonneton, N. Sénéchal, and B. Castelle. Very low frequency rip current pulsations during high-energy wave conditions on a meso-macro tidal beach. In *Proc. 30th Int. Conf. on Coastal Eng.*, San Diego, USA, 2004.
- P. Bonneton. A note on wave propagation in the inner surf zone. *Comptes Rendues Académie des Sciences, Série IIB* :27–33, 2001.
- P. Bonneton. Nonlinear dynamics of surface waves in the inner surf zone. *Rév. Franç. Génie Civil*, 7(9) :1061–1076, 2003.
- P. Bonneton. Modelling of periodic wave transformation in the inner surf zone. *Ocean Eng.*, 2007. in press, article online in advance of print.
- P. Bonneton, V. Marieu, H. Dupuis, N. Senechal, and B. Castelle. Wave transformation and energy dissipation in the surf zone : comparison between a non-linear model and field data. *J. Coastal Res.*, 39, 2004. in press.
- A.J. Bowen. Rip currents : 1. theoretical investigations. *J. Geophys. Res.*, 74 :5467–5478, 1969.
- A.J. Bowen. *The coastline of Canada*, volume 80-10, chapter Simple models of nearshore sedimentation, beach profiles and longshore bars, pages 1–11. Geological Survey of Canada, 1980.
- A.J. Bowen and R.A. Holman. Shear instabilities of the mean longshore current. 1 theory. *J. Geophys. Res.*, 94 C12 :18023–18030, 1989.
- H. Branger and O. Kimmoun. Experimental and numerical investigation of the hydrodynamics generated by regular breaking waves. In *EGS*, Vienna, 15-20 April 2007.
- M. Brocchini, A.B. Kennedy, L. Soldini, and A. Mancinelli. Topographically-controlled breaking wave-induced macrovortices. part1. widely separated breakwaters. *J. Fluid Mech.*, 507 :289–307, 2004.
- O. Buhler and T.E. Jacobson. Wave-driven currents and vortex dynamics on barred beaches. *J. Fluid Mech.*, 449 :313–339, 2001.
- D.P. Callaghan, T.E. Baldock, P. Nielsen, D.M. Hanes, K. Hass, and J.H. MacMahan. Pulsating and circulation in a rip system. In *Proc. 29th Int. Conf. Coast. Engng.*, volume 1, Lisbon, 2004. ASCE.
- B. Castelle and Ph. Bonneton. Modélisation du courant sagittal induit par les vagues au-dessus des systèmes barre/baine la côte aquitaine (france). *C.R. Geoscience*, 338 (10) : 711–717, 2006.
- B. Castelle, Ph. Bonneton, N. Senechal, H. Dupuis, R. Butel, and D. Michel. Dynamics of wave-induced currents over an alongshore non-uniform multiple-barred sandy beach on the aquitanian coast. *Continental Shelf Res.*, 26 :113–131, 2006.
- L.R. Centurioni. Dynamics of vortices on a uniformly shelving beach. *J. Fluid Mech.*, 472 :211–228, 2002.
- Q. Chen, R.A. Dalrymple, J.T. Kirby, A.B. Kennedy, and M.C. Haller. Boussinesq modelling of a rip current system. *J. Geophys. Res.–Oceans*, 104 :20617–20637, 1999.

- R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and Ph. Bonneton. Roller modelling in the context of undertow prediction. In *Proc. 29th Int. Conf. Coast. Engng.*, volume 1, Lisbon, 2004. ASCE.
- R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and P. Bonneton. Nonlinear surf zone wave properties as estimated from boussinesq modelling : random waves and complex bathymetries. In *30th Int. Conf. Coastal. Eng.*, San Diego, USA, 2006.
- R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and Ph. Bonneton. A 4th order compact finite volume scheme for fully nonlinear and weakly dispersive boussinesq-type equations. *Int. J. Num. Meth. Fluids*, 51 :1217–1253, 2006a.
- R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and Ph. Bonneton. A 4th order compact finite volume scheme for fully nonlinear and weakly dispersive boussinesq-type equations part ii : boundary conditions and validation. *Int. J. Num. Meth. Fluids*, 2006b. online, DOI : 10.1002/fld.1359.
- R. Cienfuegos, E. Barthélemy, and Ph. Bonneton. A phase-averaged breaking wave model. *Coast. Engn.*, 2006c. in preparation.
- P.A. Da Silva, A. Temperville, and Seabra Santos F. Sand transport under combined current and wave conditions : A semi-unsteady, practical model. *Coastal Eng.*, 53 : 897–913, 2006.
- M. Dibajnia and A. Watanabe. Sheet flow under nonlinear waves and currents. In *23rd Int. Conf. Coastal. Eng.*, pages 2015–2028, Venica, Italy, 1992.
- T. G. Drake and J. Calantoni. Discrete particle model for sheet flow sediment transport in the nearshore. *J. Geophys. Res.*, 106(15) :19859–19868, 2001.
- S. Elgar, E. L. Gallagher, and R. T. Guza. Nearshore sandbar migration. *J. Geophys. Res.*, 106 :11623–11628, 2001.
- K. Guizien, M. Dohmen-Janssen, and G. Vittori. 1dv bottom boundary layer modeling under combined wave and current : Turbulent separation and phase lag effects. *J. Geophys. Res.*, 108(C1) :16.1–16.15, 2003.
- F. Hoefel and S. Elgar. Wave-induced sediment transport and sandbar migration. *Science*, 299 :1885, 2003.
- K.T. Holland, J.A. Puleo, and T.N. Kooney. Quantification of swash flows using videobased particle image velocimetry. *Coastal Eng.*, 44 :65–77, 2001.
- T.-J. Hsu and D.M. Hanes. Effects of wave shape on sheet flow sediment transport. *J. Geophys. Res.*, 109 :C05025, 2004.
- D. Hurther, H. Michallet, and X. Gondran. Turbulent measurements in the surf zone suspension. *J. Coastal Res.*, 2007. accepted.
- E.R. Johnson and N. Robb McDonald. Surf-zone vortices over stepped topography. *J. Fluid Mech.*, 511 :265–283, 2004.
- T.V. Karambas and C. Koutitas. Surf and swash zone morphology evolution induced by non linear waves. *J. Waterw. Port Coastal and Oc. Eng.*, 128 :102–113, 2002.
- A.B. Kennedy. A circulation description of a rip current neck. *J. Fluid Mech.*, 497 : 225–234, 2003.
- O. Kimmoun and H. Branger. A piv investigation on laboratory surf-zone breaking waves over a sloping beach. *J. Fluid Mech.*, 2007. submitted.

- C. Lacor, S. Smirnov, and M. Baelmans. A finite volume formulation of compact central schemes on arbitrary structured grids. *J. Comput. Phys.*, 198 :535–566, 2004.
- P. Lubin, H. Branger, and O. Kimmoun. Large eddy simulation for regular waves breaking over a sloping beach. In *30th. Int. Conf. Coastal Eng.*, San Diego, USA, 2006.
- P.J. Lynett, T.R. Wu, and P.L.F. Liu. Modeling wave runup with depth-integrated equations. *Coastal Eng.*, 46 :89–107, 2002.
- J.H. MacMahan, Ad J.H.M. Reniers, E.B. Thornton, and T.P. Stanton. Surf zone eddies coupled with rip current morphology. *J. Geophys. Res.*, 109, 2004. C07004,doi :10.1029/2003JC002083.
- J.H. MacMahan, E.B. Thornton, and Ad J.H.M. Reniers. Rip current review. *Coastal Engineering*, 53 :191–208, 2006.
- F. Marche. *Theoretical and numerical study of shallow water models. Applications to nearshore hydrodynamics*. PhD thesis, Université de Bordeaux I (MAB-EPOC), 2005.
- F. Marche, P. Bonneton, P. Fabrie, and N. Seguin. Evaluation of well balanced bore-capturing schemes for 2d wetting and drying processes. *Int. J. Numerical Meth. Fluids*, 2007. in press, article online in advance of print.
- P. Nielsen. Shear stress and sediment transport calculations for swash zone modelling. *Coastal Eng.*, 45 :53–60, 2002.
- P. Nielsen and D.P. Callaghan. Shear stress and sediment transport calculations for sheet flow under waves. *Coastal Eng.*, 47 :347–234, 2003.
- D.H. Peregrine. Surf zone currents. *Theoretical Comp. Fluid Dyn.*, 10 :295–309, 1998.
- D.H. Peregrine. Large-scale vorticity generation by breakers in shallow and deep water. *Eur. J. Mech. B*, 18 :403–408, 1999.
- R.S. Prasad and I.A. Svendsen. Moving shoreline boundary conditions for nearshore models. *Coastal Eng.*, 49 :239–261, 2003.
- J.A. Puleo, K.T. Holland, N.G. Plant, D.N. Slinn, and D.M. Hanes. Fluid acceleration effects on suspended sediment transport in the swash zone. *J. Geophys. Res.*, 108 :3350, 2003.
- K.A. Rakha, R. Deigaard, and I. Broker. A phase-resolving cross shore sediment transport model for beach profile evolution. *Coastal Eng.*, 31 :231–261, 1997.
- R. Ranasinghe, G. Symonds, K. Black, and R. Holman. Processes governing rip spacing, persistence and strength in a swell dominated microtidal environment. In *Proc. 27th Int. Conf. Coast. Engng.*, Sydney, 2002. ASCE.
- J.S Ribberink and A.A. Al-Salem. Sheet flow and suspension of sand in oscillatory boundary layers. *Coastal Eng.*, 25 :205–225, 1995.
- F. Serre. Contribution à l'étude des écoulements permanents et variables dans les canaux. *Howille Blanche*, 8 :374–388, 1953.
- F.P. Shepard and D.L. Inman. Nearshore water circulation related to bottom topography and refraction. *Trans. Am. Geophys. Union*, 31 :196–212, 1950.
- F.P. Shepard, K.O. Emery, and E.C. La Fond. Rip currents : a process of geological importance. *J. Geol.*, 49 :337–369, 1941.

- F. Shi, R.A. Dalrymple, J.T. Kirby, and A. Kennedy. A fully nonlinear Boussinesq model in generalized curvilinear coordinates. *Coastal Eng.*, 42 :337–358, 2001.
- J.A. Smith and J.L. Largier. Observations of nearshore circulation : rip currents. *J. Geophys. Res.–Oceans*, 100(C6) :10967–10976, 1995.
- M.J.F. Stive and A.J.H.M. Reniers. Sandbars in motion. *Science*, 299 :1855, 2003.
- I.A. Svendsen and U. Putrevu. Nearshore mixing and dispersion. *Proc. R. Soc. London Ser. A*, 445 :561–576, 1994.
- I.A. Svendsen, J. Veeramony, J. Bakunin, and J.T. Kirby. The flow in weak turbulent hydraulic jumps. *J. Fluid Mech.*, 418 :25–57, 2000.
- I.A. Svendsen, K.A. Hass, and Qun Zhao. Analysis of rip current systems. In *Proc. 27th Int. Conf. Coast. Engng.*, Sydney, 2002. ASCE.
- T. Wang and N.C. Kraus. Beach profile equilibrium and patterns of wave decay and energy dissipation across the surf zone elucidated in a large-scale laboratory experiment. *J. Coastal Res.*, 21(3) :522–534, 2005.
- T. Wang, B.A. Ebersole, E.R. Smith, and B.D. Johnson. Temporal and spatial variations of surf-zone currents and suspended sediment concentration. *Coastal Eng.*, 46(1) :175–211, 2002.
- T. Wang, B.A. Ebersole, and E.R. Smith. Beach-profile evolution under spilling and plunging breakers. *J. OF Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng.*, 129(1) :41–46, 2003.
- G. Wei and J.T. Kirby. A time dependent code for extended boussinesq equations. *Journal Waterway, Port, Coast., Ocean Eng.*, 121 (5) :251–261, 1995.