

Étude d'un Récif Artificiel de Surf

René Bonnefille¹, Michel Allenbach², David Lajoie³ et Jean Bougis⁴

¹*Professeur d'Hydraulique Maritime, Ingénieur-conseil, 107, chemin du Baric, 06140 Vence, Tél : 04 93 58 62 89 et 04 70 58 50 29, bonnefille.r@wanadoo.fr*

²*Maître de Conférences, EA3325, Université de la Nouvelle Calédonie, 145 avenue James Cook – BP 4477 Nouméa Cedex, 98847 Nouvelle Calédonie, Tél. : (687) 26 58 27, allenbach@univ-nc.nc*

³*ACRI-IN, 260 route du Pin Montard, BP 234, 06909 Sophia Antipolis, France, Tél. 04 92 96 29 00, dl@acri-in.com*

⁴*Cabinet Jean Bougis, 34 chemin du Moulin, 06650 Opio, France Tél. : 04 93 77 74 22, jean.bougis@wanadoo.fr*

Résumé

Cet article présente l'étude réalisée en vue de la construction d'un Récif Artificiel de Surf en Nouvelle Calédonie. Cette étude s'est déroulée en trois phases. D'abord a été menée une étude systématique des houles incidentes sur le site au fond de la baie. Ensuite des études théoriques et numériques sur la propagation de la houle sur des plans inclinés ont eu pour but de chercher comment obtenir les conditions de déferlement qui paraissent optimales pour la pratique du surf. Enfin, des études expérimentales en cuve à houle ont permis de concevoir un ouvrage, adapté aux conditions maritimes du site de la Baie de Bourail et "surfable" pendant au moins 20% du temps.

Abstract

This paper presents the study performed in order to build an Artificial Reef for Surfing in New Caledonia. This study involved three phases : firstly a systematic study of incident waves on the site ; secondly theoretical and numerical studies of wave propagation over inclined planes to search how to obtain optimal wave conditions for surfing; lastly wave tank studies were carried out to adapt the artificial reef to the local conditions of Bourail Bay and allow a surfing time of at least 20% of the time.

Mots clés : surf, spot, récif artificiel, modèle numérique, modèle physique

Keywords: surf, spot, artificial reef, numerical model, physical model

1. Introduction

Située sur la côte Sud-Ouest de la Nouvelle Calédonie, la Baie de Bourail est un site géographique propice à la pratique du surf. Des sites naturels (appelés spots) permettant de "surfer" existent dans la Baie de Bourail et ses environs. Toutefois, leur utilisation est soumise aux aléas de l'arrivée de "belles vagues", aspect aléatoire qui freine le développement touristique. Il n'en serait plus de même, si les surfeurs débutants, autant que les surfeurs chevronnés, pouvaient être statistiquement assurés de pouvoir exercer leur sport favori plus fréquemment ; par exemple, tous les deux ou trois jours, cette conclusion résultant de calculs statistiques prenant en compte l'heure et l'état de la marée. Pour accroître l'intérêt touristique local, il a donc été envisagé de construire un Récif Artificiel de Surf (dénommé par la suite RAS).

Sous l'impulsion de l'Université de la Nouvelle Calédonie (UNC), l'étude a commencé par le recueil d'informations. Des documents scientifiques et techniques de vulgarisation, issus de projets étudiés ou réalisés, sont disponibles sur Internet, mais il semble qu'ils aient été "volontairement" tronqués en ce qui concerne les formes les plus intéressantes des RAS et la subtilité des conditions de déferlement des vagues.

Il est vite apparu qu'un paramètre essentiel dans la pratique du surf est la "vitesse d'épluchage". Il s'agit de la vitesse de déplacement du point de déferlement tout le long de la crête d'une vague, fonction de l'angle entre les crêtes de la houle et les lignes bathymétriques. Plus elle est faible (quelques mètres par seconde) plus il est aisé de "monter" sur la vague et de s'y tenir. Les grandes vitesses d'épluchage, associées au "beaux rouleaux avec tube", sont l'apanage des surfeurs chevronnés. Mais avant d'en arriver là, il faut commencer par surfer des lames à déferlement glissant de faible hauteur (50 à 60 cm).

Il suffit de se rendre au bord de la mer, pour voir que les grandes vitesses d'épluchage, c'est-à-dire les déplacements rapides de la zone du début de déferlement, ont lieu lorsque les vagues déferlent à proximité du rivage, quand la crête des vagues et les lignes bathymétriques des fonds marins sont presque parallèles. Au contraire, si on peut observer le déferlement à l'approche d'un banc de sable s'avancant vers le large, la houle aborde ce monticule avec une incidence importante et la vitesse d'épluchage est petite. Le secret du RAS est là !

L'intérêt économique du RAS ne peut naturellement se justifier que si le récif artificiel crée des vagues "surfables" pendant un maximum de temps. Dans ces conditions, la mise au point d'un RAS susceptible de fournir une proportion suffisante de vagues "surfables" parmi des houles incidentes de hauteurs relativement faibles dans une gamme de périodes assez étendue, passe nécessairement par trois étapes essentielles qui ont défini la trame de l'étude. A savoir :

- La connaissance statistique des houles sur le site d'implantation du RAS. Elle relève de la connaissance des climats de houles au large et d'une étude d'approche à l'intérieur d'une baie fermée et profonde.
- Le contrôle de la vitesse d'épluchage qui peut être abordé dans des conditions satisfaisantes par une analyse théorique et numérique.
- La maîtrise des conditions de déferlement de la houle qui, au-delà de l'utilisation de critères empiriques permettant de localiser plus ou moins bien le point de déferlement et son type, ne peut pas être obtenue sans une approche expérimentale.

2. Connaissance des houles sur le site

Dans un premier temps, les données naturelles au large de la Baie de Bourail (niveaux, marées, vent, courants, houle) ont été établies à partir des documents officiels et de la littérature technique spécialisée. Dans un deuxième temps, les houles au large ont été précisées, d'une part sur la base de l'enregistrement des houles de l'année 1999 réalisé par l'UNC au moyen d'une bouée, et d'autre part à partir d'une étude de données satellitales ClioSat réalisée par MétéoMer¹.

Les statistiques des états de mer au large étant cernées en fonction de leur secteur d'incidence (défini par pas de $22,5^\circ$), l'étude des conditions dans lesquelles elles peuvent atteindre le site prévu pour l'installation du RAS au fond de la Baie de Bourail a été réalisée au moyen d'un modèle d'approche de la houle fondé sur une méthode de réfraction-diffraction parabolisée en coordonnées curvilignes (Bougis²).

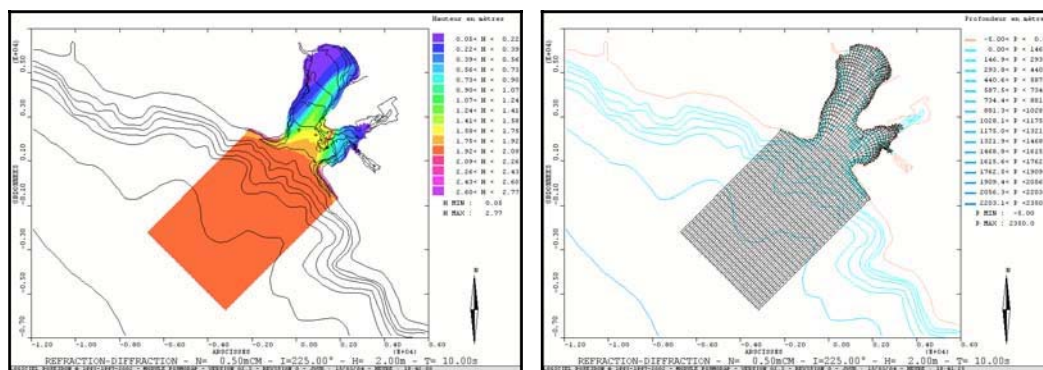


Figure 1 : Niveau +0,50m CM – SW – H=2,0m – T=10,0s.

La figure 1 présente un exemple de la pénétration de la houle dans la Baie de Bourail. Ces calculs ont permis d'établir la statistique des houles (marée, hauteur, période, incidence) sur le site prévu.

Les deux principales conséquences de cette première partie de l'étude ont été d'une part de définir la corrélation entre le temps d'utilisation du site par les surfeurs et la hauteur minimale des vagues qui doivent être "surfables", et d'autre part d'optimiser la position et l'orientation générale du RAS.

3. Approche analytique

Simultanément, les auteurs ont entrepris la recherche par voie analytique de l'existence d'un éventuel angle d'incidence optimal de la houle par rapport aux lignes bathymétriques parallèles du RAS. "Etude analytique" signifie calculer la propagation de la houle en utilisant seulement une approche théorique de base de la houle sous forme de relations entre les différents paramètres intervenant dans les phénomènes modélisés par des équations mathématiques simples : la théorie linéaire de la houle de Stokes, la théorie de la réfraction suivant la deuxième loi de Descartes (ce que les anglophones appellent loi de Snell) et les critères de déferlement d'origine expérimentale tenant compte de la pente du fond, de la période et de la hauteur de la houle et de la profondeur d'eau.

Cette procédure ne nécessite que des moyens de calcul rudimentaires et ne fait pas appel à la résolution d'équations différentielles par des méthodes de calcul numériques. En revanche, elle ne peut s'appliquer qu'à des configurations géométriques simples du RAS, composées essentiellement de lignes bathymétriques parallèles. Le bien fondé de l'utilisation du modèle numérique d'approche pour les cas plus complexes a été "validé" en reproduisant les résultats des calculs analytiques.

Afin d'augmenter statistiquement le nombre de lames qualifiées de "surfables", il est évidemment intéressant de faire "gonfler" la houle avant qu'elle aborde le RAS. La solution la plus évidente réside dans l'utilisation d'un plan incliné. Quelques calculs simples ont montré qu'une pente de 10% pouvait être un bon compromis entre l'efficacité du système et son coût de construction, pour des plans inclinés implantés par des profondeurs d'eau de 5 à 7 m. Lorsqu'elles abordent le RAS, les vagues sont alors beaucoup plus hautes qu'au large, hormis, bien sûr, les grandes vagues qui déferlent avant d'atteindre le RAS. Cet artifice permet d'augmenter le nombre de vagues "surfables", dans la mesure où on connaît la hauteur minimale de la vague dite "surfable". Par la suite, ce critère a été établi à environ 70 cm de hauteur de la vague sujette à un déferlement glissant.

Le RAS, proprement dit, est ensuite installé sur un plateau horizontal, dont la cote optimale est à déterminer, suivant qu'on veut surfer sur de petites ou de grandes vagues, pour les diverses cotes de la mer au cours des marées. Le problème est alors de constituer l'équivalent d'un banc de sable naturel qui fait déferler la houle. La forme analytique incurvée de la section verticale du RAS la plus simple est la parabole. Elle a donc été choisie et n'a pas déçu lors de l'étude expérimentale.

Restait à étudier l'effet du paramètre le plus important, l'angle d'incidence de la houle par rapport au RAS. Les calculs analytiques puis numériques ont montré que la vitesse d'épluchage passe par un minimum (le temps de surf de la vague est alors maximal) lorsque l'angle, entre la crête de la houle incidente et les lignes bathymétriques parallèles du RAS parabolique, est compris entre 60 et 70°

degrés. Après des tests systématiques, la valeur de 65° a été retenue. Ce résultat est sans doute à rapprocher du phénomène bien connu selon lequel le transport littoral sur une flèche sableuse est maximal quand l'angle d'attaque de la houle par rapport à la direction de la flèche est d'environ 63° !

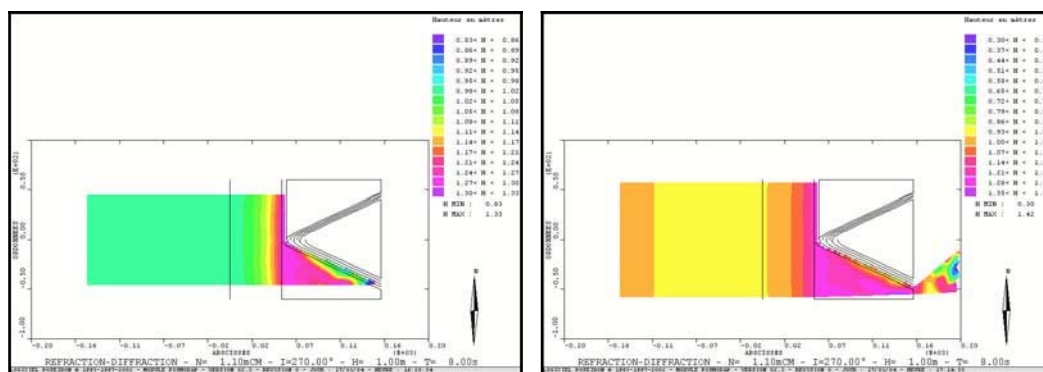


Figure 2 : Ligne de déferlement pour deux largeurs du RAS.

La figure 2 présente les lignes de déferlement obtenues pour deux largeurs différentes du RAS, avec le critère de déferlement de Weggel³. Pour diminuer les volumes de calcul, deux géométries différentes ont été testées simultanément à droite et à gauche. Les calculs ont été arrêtés au premier déferlement.

4. Etudes en modèle réduit physique

La Direction des Ressources Naturelles (DRN) et l'UNC ayant fait confiance à l'approche analytique et numérique, un projet de RAS a été esquissé en fin 2002. Il était désormais nécessaire de recourir à des études sur modèle physique pour essayer de maîtriser les conditions de déferlement tout au long du RAS. La figure 3 présente une vue générale du modèle final.

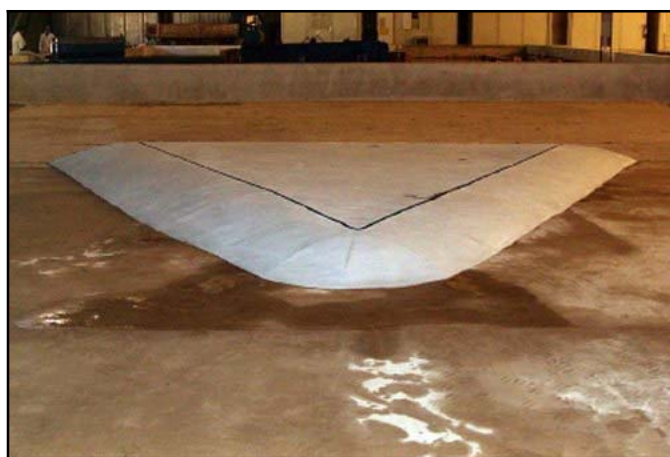


Figure 3 : Vue générale du RAS en cuve en houle

L'étude paramétrique du RAS en modèle réduit hydrodynamique a été entreprise, avec également comme objectif d'en préciser la faisabilité économique.

La campagne d'essais en modèle réduit physique a été pilotée par le Bureau d'Etudes ACRI-IN. Les essais ont eu lieu en cuve en houle au Laboratoire d'Etudes Maritimes (LEM) d'Alger. Ces essais ont permis de qualifier le degré de "surfabilité" des vagues déferlant sur les RAS et de dégager deux enseignements capitaux pour la réussite du projet.

Le premier enseignement concerne le raccord entre le plan incliné venant du large et le plateau horizontal sur lequel repose le RAS. Du point de vue analytique ou numérique, ce raccord ne pose pas de problème particulier. Par contre, les essais en cuve à houle ont mis en évidence un déferlement prématuré de la houle sur le plateau horizontal, localisé à environ une demi longueur d'onde après l'arrêt du raccord. Le critère de déferlement de la houle sur le plateau, c'est-à-dire le rapport entre la hauteur au déferlement H_B et la profondeur au déferlement d_B , s'est révélé être compris entre 0,4 et 0,5. Cette valeur est bien inférieure aux valeurs de l'ordre de 0,8 obtenues avec une faible pente, et encore plus inférieure aux valeurs supérieures à 1 obtenues dans le cas des plages de forte pente. Du fait de la petite valeur de H_B/d_B , les houles qui atteignent le plateau, déferlent prématurément avant d'aborder le RAS.

La prise en compte de la profondeur relative dans le critère de déferlement ne suffit pas à expliquer ce phénomène. En effet, d'après Hamm⁴, le passage à la limite du critère de déferlement de Miche–Battjes permet d'écrire :

$$\frac{H_B}{d_B} = 0,806 - 1,15 \frac{d_B}{\lambda_0} \quad \text{pour } \frac{d_B}{\lambda_0} \leq 0,25 \quad (1)$$

Expression dans laquelle λ_0 désigne la longueur d'onde de la houle en grande profondeur. Pour des périodes de 6 à 10 s, et une profondeur d'eau de 1 à 2 m sur le plateau, le critère de déferlement reste compris entre 0,76 et 0,80.

Il convient de remarquer que les critères de déferlement, habituellement utilisés, ont été déterminés par l'étude expérimentale du déferlement sur les plages. Ils sont réalistes lorsqu'un fond plat horizontal se raccorde à une pente constante montante et illimitée, mais ils n'ont pas été validés dans le cas d'un plan incliné qui monte jusqu'à atteindre un plateau horizontal.

Des essais complémentaires en canal à houle ont donc été effectués par le Bureau d'Etudes ACRI. Ils ont montré qu'à la rupture de pente entre les deux plans, les critères de déferlement classiques sont fortement altérés et qu'il faudrait sans doute raccorder le plan incliné et le plan horizontal en assurant la continuité de la pente sur une longueur de transition de l'ordre de la demi longueur d'onde. Il s'agit là d'un résultat scientifique important.

Pour maintenir la continuité de la pente, il faut donc réaliser un raccordement en forme, par exemple parabolique, entre le plan incliné et le plateau sur une longueur de l'ordre de 20 à 30 m. Mais, dans la pratique, est-il raisonnable d'espérer maîtriser une forme aussi délicate, construite en enrochements, dans des profondeurs de l'ordre de grandeur de 7 m ?

Le deuxième enseignement capital qui a été tiré des essais, est la nécessité de combler la zone située entre les paraboles de déferlement sur l'arrière du RAS. En effet, la présence d'un trou, ou même d'une pente légèrement descendante à l'aval des parties "surfables", engendre des réflexions parasites qui viennent perturber le défilement du rouleau au sommet des paraboles. Il y a donc tout intérêt à construire un RAS symétrique, plein entre les deux paraboles. Cela offre à la fois deux rampes de surf, mais assure également une propagation d'onde incidente propre sur les parties les plus hautes de l'ouvrage. De manière plus générale, les formes par lesquelles le plateau et le RAS se terminent doivent être soignées pour éviter les réflexions parasites.

5. Que reste-t-il à faire ?

Un complément d'optimisation du RAS ne peut être envisagé qu'une fois définie la structure du RAS : colline de sable, enrochements, béton, géotubes remplis de sable, etc. En effet, suivant le mode de construction adopté, la précision de la construction des fonds du RAS peut beaucoup varier. Si, par exemple, le plan incliné et le plan horizontal sont construits en enrochements, il sera illusoire d'espérer raccorder ces deux plans conformément à ce qui a été réalisé sur le modèle réduit.

Pour des raisons de sécurité des surfeurs, il faudra traiter particulièrement les fonds sur lesquels les surfeurs se retrouveront "à la mer", en particulier dans les zones à faible profondeur en fin de trajectoire du surf.

Une chose est claire, le RAS étudié est un volume plein posé sur les fonds de la mer. S'il était envisagé de le construire sur des plaques de béton sur pieu, il faudrait réétudier le RAS avec cette nouvelle disposition constructive. Or, il semble que compte tenu des parasites qui résulteraient des croisements des oscillations d'eau passant sur et sous le RAS, à moins de fermer les côtés, il serait très difficile d'obtenir de beaux déferlants glissants.

6. Conclusion

Les différentes phases de l'étude ont permis de montrer la faisabilité de principe d'un RAS en Baie de Bourail. Dans sa conception actuelle, le RAS permettrait d'obtenir au moins une vague sur cinq "surfable", pendant au moins 20% de l'année. Notons enfin, que la présence du RAS modifiant le champ de vagues qui arrive sur la plage, son impact sur l'équilibre hydrosédimentaire du site doit être étudié avant de pouvoir conclure définitivement.

7. Remerciements

Les auteurs adressent leurs remerciements
- au Laboratoire d'Etudes Maritimes d'Alger, dont la disponibilité permanente des agents et l'intérêt des ingénieurs pour le sujet, ont permis d'effectuer les

essais en cuve à houle avec souplesse, pour articuler les programmes et les définitions des essais souvent modifiés, ceci enfin grâce au haut degré d'adaptation du personnel du laboratoire, qualité rare aujourd'hui ;

- à la Direction des Ressources Naturelles de la Province Sud de Nouvelle-Calédonie qui a initié et financé le programme de mesures et d'études et dont les techniciens seront en charge de la construction si les décideurs économique-politiques néo-calédoniens donnent leur aval à l'opération

8. Références

- 1 MétéoMer, (2003) Données de houles ClioSat, rapport n° PP CLS 192/03.
- 2 Bougis J., (2004) Modèle d'approche de la houle par une méthode de réfraction-diffraction en coordonnées curvilignes, Actes des VIII^{èmes} Journées Nationales Génie côtier - Génie civil, Compiègne, p 55-64.
- 3 Weggel J.R. (1972) Maximum Breaker Height for design, Proceeding of International Conference Engineering, ASCE, p 419-432.
- 4 Hamm L. (1995) Modélisation numérique bidimensionnelle de la propagation de la houle dans la zone de déferlement, Thèse de Doctorat, Université de Grenoble I, 378 p.