

## **5<sup>e</sup> JOURNÉES DE L'HYDRODYNAMIQUE**

**22, 23, 24 mars 1995 – ROUEN**

### **VERS UNE SIMULATION PLUS RAPPROCHÉE DES ÉTATS DE MER EN LABORATOIRE**

Etienne P.D. Mansard et Michael D. Miles  
Institut de Dynamique Marine  
Conseil National de Recherches Canada  
Ottawa, Ontario Canada K1A 0R6

#### **Résumé**

Les progrès récents de la simulation des houles ont assuré la reproduction de certaines caractéristiques complexes des états de mer naturels, en laboratoire, telle que la génération des houles multidirectionnelles de répartition angulaire arbitraire. La mise en oeuvre des absorbeurs passifs efficaces et l'élaboration des techniques d'absorption actives ont beaucoup améliorés la qualité de la houle simulée.

#### **Abstract**

Recent advances in wave simulation have led to reproduction of some of the complex characteristics of natural waves inside laboratory basins. This includes the generation of multidirectional waves with any arbitrary spreading function. Development of efficient passive wave absorbers and reliable active absorption techniques have improved extensively the quality of simulated waves.

## **INTRODUCTION**

La technique de simulation des houles en laboratoire a évolué rapidement au cours des quinze dernières années. Elle a considérablement bénéficié des progrès réalisés dans le matériel informatique tant en terme de puissance que de prix. Il est maintenant relativement facile et peu coûteux de commander un générateur à houles multidirectionnelles où plusieurs segments du générateur sont contrôlés individuellement.

Il est également possible de simuler fidèlement les aspects complexes des états de mer connus, tels que groupement des houles, asymétries, répartition angulaire de l'énergie des houles etc. Cet article vise à donner une vue d'ensemble des développements réalisés dans ce domaine de simulation des houles. On utilisera ici seulement les exemples réalisés dans le laboratoire du Conseil National de Recherches du Canada (CNRC), tout en reconnaissant qu'il existe d'autres approches utiles dans la littérature. Malheureusement, elles ne sont pas incluses ici à cause du manque d'espace.

## **TECHNIQUES DE SIMULATION**

La simulation d'un état de mer dans un bassin ou canal à houle consiste à effectuer les trois fonctions suivantes:

- ◆ Spécification de l'état de mer et synthèse d'un train de houles;
- ◆ Préparation du signal de consigne; et
- ◆ Analyse de houles pour en évaluer la précision lors de la simulation.

On présentera tout d'abord la simulation des houles irrégulières unidirectionnelles (i.e. houles 2D) avant d'aborder les techniques modernes qui assurent la simulation des composantes non linéaires et des houles multidirectionnelles (i.e. houles 3D).

## **SIMULATION DES HOULES UNIDIRECTIONNELLES ET LINÉAIRES**

### **Synthèse d'un train de houles**

La figure 1 présente un schéma qui illustre l'organigramme utilisé dans le laboratoire du CNRC pour la simulation des houles irrégulières. Les boîtes carrés représentent les programmes que l'utilisateur peut exécuter d'une façon interactive. (Les mots soulignés sont les appellations de ces programmes dans le progiciel GEDAP du CNRC). Les boîtes ovales contiennent des fichiers intermédiaires qui servent à transférer l'information d'un programme à l'autre. Cette figure présente quatre différents choix pour la synthèse d'un train de houles. Ils sont:

1. Génération des houles mesurées en nature;
2. Génération des houles aléatoires en utilisant soit un spectre théorique (i.e. paramétrique) ou un spectre obtenu à partir des relevés en nature;
3. Génération des houles avec groupement. (Comme dans le cas précédent, on peut y utiliser soit un spectre paramétrique, soit un spectre de mesures sur le site. Pour le groupement, on a également le choix entre un modèle paramétrique ou des mesures); et
4. Génération des houles épisodiques ou des "transients".

Les détails de ces techniques se trouvent dans la publication de Funke et Mansard (1984).

### **Préparation du signal de consigne**

L'étape qui suit la synthèse du train de houles est la préparation du signal de consigne pour

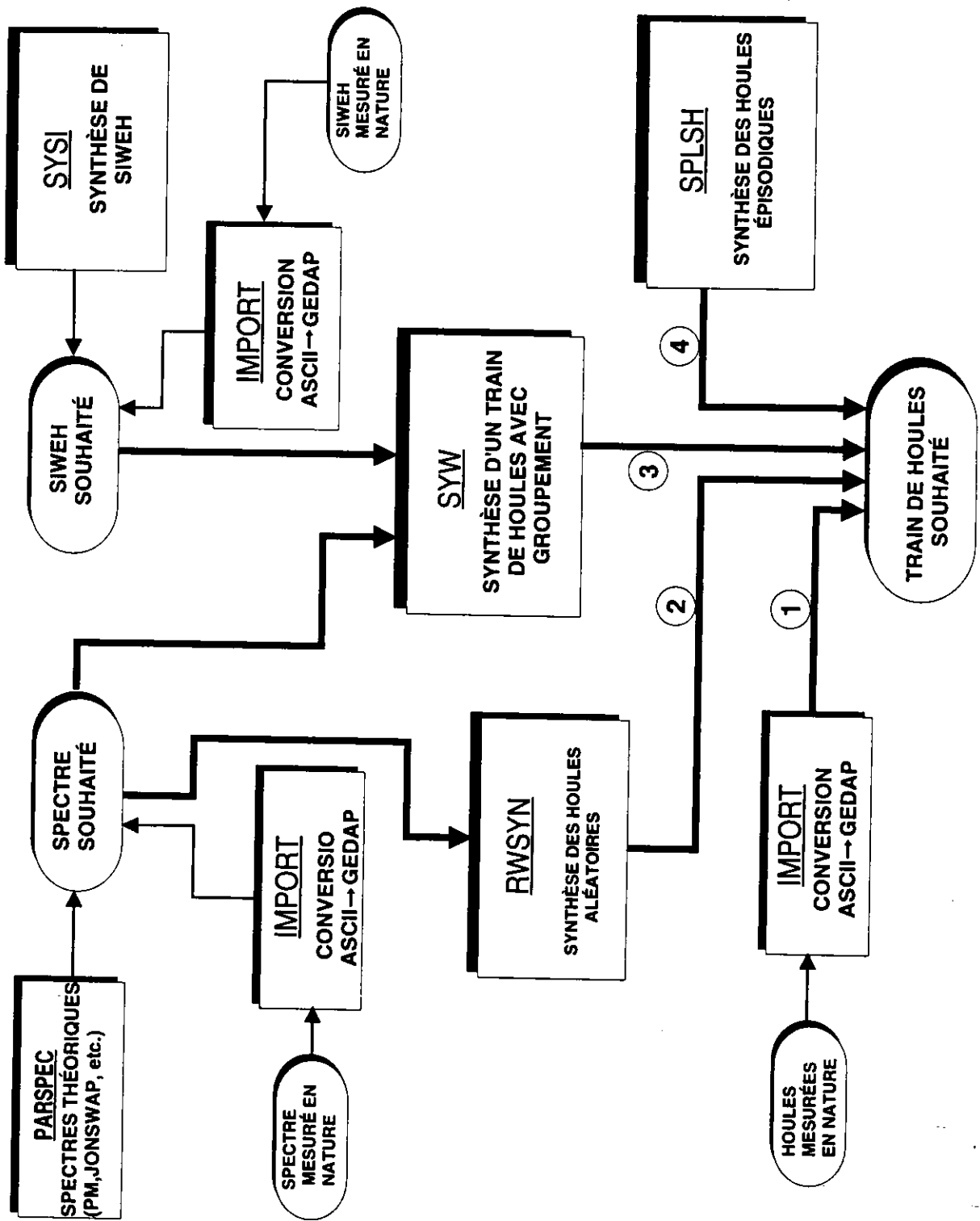


Figure 1 : Synthèse d'un train de houles unidirectionnelles.

commander le générateur à houle. La fonction de transfert hydrodynamique, qui sert à calculer le déplacement du batteur correspondant à une houle de période et d'amplitude données, est bien connue. Mais le comportement de l'asservissement ou d'autres composantes telles que filtre numérique/analogique faisant partie de l'ensemble du générateur, peut varier d'un système à l'autre, en influençant d'une manière importante les caractéristiques des houles simulées. Il est donc nécessaire de pré-calculer ce comportement et d'inclure une compensation adéquate durant la préparation du signal de consigne. Le CNRC effectue cette compensation en entreprenant un étalonnage dynamique du batteur dont la méthodologie est décrite ci-dessous:

L'étalonnage statique est d'abord établi en commandant le générateur avec un signal connu lentement variable, et en mesurant le déplacement du batteur. En utilisant cette information et la fonction de transfert hydrodynamique du batteur, un nouveau signal de consigne est préparé pour engendrer un train de houles, composé d'ondelettes de différentes fréquences. Le déplacement actuel du batteur résultant de ce signal est ensuite relevé afin d'établir une relation entre le signal d'entrée et de sortie. La relation qui résulte de cet étalonnage dynamique est une fonction complexe, établie sous forme d'amplitude et de déphasage telle qu'illustrée à la figure 2a, à titre d'exemple, pour un des générateurs du CNRC. La figure 2b illustre le train de houles et le spectre réalisés dans un canal à houle par l'utilisation de ces fonctions de transfert. La bonne concordance entre les spectres souhaité et mesuré confirment l'efficacité de l'étalonnage dynamique.

Pour assurer une bonne reproduction des caractéristiques temporelles de l'état de mer dans un canal à houle, à une position souhaitée, on applique une compensation supplémentaire fondée sur la théorie de la dispersion linéaire. Cette compensation tient compte du déphasage des composantes qui se manifeste lors de la propagation de la houle.

### **Analyse des houles unidirectionnelles**

Il existe de nombreuses techniques d'analyse pour vérifier la fidélité de la simulation. L'AIRH/AIPCN (1986) fournit une liste des paramètres de houles et leurs définitions, utilisées par la plupart des laboratoires. Ces paramètres sont classifiés en cinq groupes afin de faciliter leur utilisation:

- A. Notations principales;
- B. Paramètres et fonctions généraux;
- C. Paramètres et fonctions classiques;
- D. Paramètres et fonctions des états de mer directionnels; et
- E. Paramètres et fonctions de recherches, paramètres et fonctions supplémentaires.

### **Réflexion des houles**

Une des analyses importantes employées souvent dans les laboratoires est le calcul du coefficient de réflexion. Pour assurer une bonne simulation de l'état de mer dans un laboratoire, il est essentiel de minimiser les réflexions provenant des parois du bassin (ou du canal) en concevant un absorbeur qui puisse dissiper l'énergie incidente des houles.

Pour s'assurer que le fonctionnement de l'absorbeur soit efficace, un algorithme fiable, pouvant séparer les composantes incidentes et réfléchies d'un état de mer, doit d'abord être élaboré. Plusieurs techniques existent pour cet algorithme, et elles sont généralement fondées sur l'analyse de transformée de Fourier ou sur l'estimation des spectres croisés; Elles expriment leurs résultats, dans la plupart des cas, dans le domaine des fréquences. Récemment, Mansard (1994) a évalué l'efficacité de la technique fondée sur la transformée de Fourier pour la séparation des caractéristiques temporelles des composantes incidentes et réfléchies. Des recherches se poursuivent dans ce domaine d'analyse de réflexion, afin de traiter les cas des houles non-linéaires, des houles obliques et multidirectionnelles.

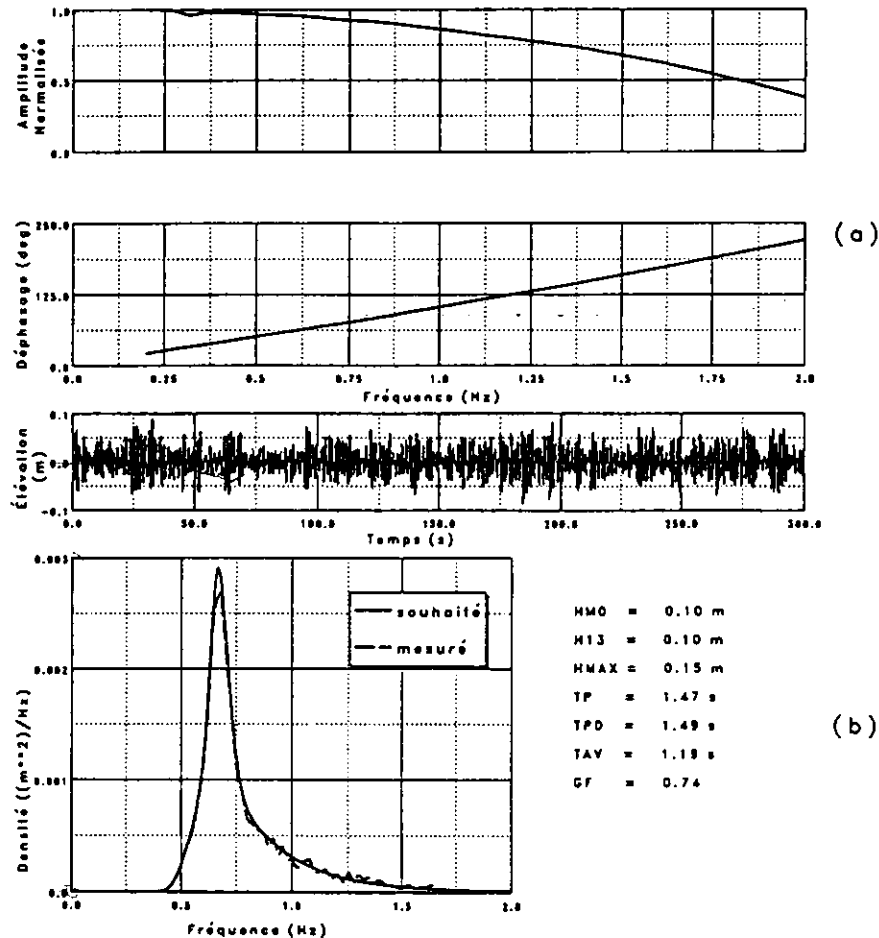


Figure 2: Fonctions de transfert de l'asservissement du générateur et caractéristiques des houles simulées.

### ABSORBEUR PASSIF DE HOULES

Dans des bassins à houle de faible profondeur, une plage d'amortissement de pente douce (construite de graviers ou d'autres matériaux) est adéquate pour effectuer une bonne dissipation de l'énergie. Mais dans des installations très profondes, cette plage n'est pas pratique à cause de sa grande longueur. Le CNRC utilise donc un absorbeur vertical, composé de plaques métalliques de porosité progressive, qui nécessite beaucoup moins d'espace par rapport à une plage. On peut concevoir cet absorbeur pour assurer un très faible coefficient de réflexion (de l'ordre de 5%), ceci pour une large gamme de fréquences. La description de ce concept est décrit dans l'article de Jamieson et Mansard (1987). Ce genre de concept est appelé absorbeur passif car il existe des techniques d'absorption active pour atténuer l'énergie des houles.

### ABSORPTION ACTIVE DE HOULES

Généralement, l'étude sur modèles des ouvrages marins nécessite l'utilisation de l'absorption active pour la raison suivante: les houles engendrées par le batteur sont réfléchies par l'ouvrage qui est soumis à l'essai. En nature, ces houles réfléchies retournent vers l'océan et disparaissent. Par contre en laboratoire, elles se propagent vers le générateur pour être ensuite réfléchies par lui. Ces re-réflexions peuvent nuire aux caractéristiques des houles incidentes d'une façon importante. Plusieurs laboratoires ont donc élaborés des techniques par lesquelles le générateur à houle absorbe les houles réfléchies par l'ouvrage pendant qu'il effectue la génération de houles. Ces fonctions simultanées sont appelées en littérature absorption active. Une brève description de deux différentes techniques d'absorption active utilisées par le CNRC est donnée ci-dessous:

### **Méthode par l'analyse de réflexion en direct**

Dans cette première méthode, les houles sont mesurées dans un canal, par un jeu de 3 ou 4 sondes situées à une distance d'environ 5m du batteur. L'analyse de réflexion en temps réel est ensuite exécuté en domaine fréquentiel, en utilisant la technique de transformée de Fourier rapide et la méthode de 2 sondes pour séparer le train de houles engendré par le batteur et celui se propageant vers le batteur. Différentes paires de sondes sont automatiquement utilisées suivant les longueurs d'ondes des composantes, afin d'assurer une estimation précise du train de houles se propageant vers le batteur. Ce train de houles est ensuite compensée pour tenir compte de leur propagation jusqu'à la position du batteur, avant de déterminer le signal de consigne du batteur requis pour leur absorption. Cette détermination met en jeu la fonction du transfert hydrodynamique du batteur et une fonction de transfert séparée pour la compensation dynamique de l'asservissement. L'étalonnage dynamique du batteur, décrit antérieurement, fournit facilement les données nécessaires pour cette fonction de transfert. Le signal de consigne ainsi calculé est ensuite ajouté, en direct, au signal de consigne initial correspondant à la génération de houles. Le batteur peut ainsi engendrer le train de houles souhaité, en même temps qu'il exécute l'absorption des houles réfléchies par l'ouvrage mis à l'essai.

### **Méthode par la mesure de la surface libre au niveau du batteur**

La seconde méthode est fondée sur l'utilisation d'une sonde de houles montée sur le batteur à houle lui même, et d'un contrôleur numérique. Ce dernier se sert de cette hauteur de houle comme l'un des paramètres de retour pour contrôler le mouvement de l'actionneur hydraulique et ainsi absorber les houles se propageant vers le batteur.

La figure 3 présente un schéma de l'organigramme de cette technique. Les cinq sondes indiquées dans cette figure ne font pas partie du système utilisé pour l'absorption mais, elles servent à estimer le coefficient de réflexion, dans certains cas, à titre de validation de la technique.

Ces deux méthodes d'absorption active ont été évaluées dans un canal à houle spécial du CNRC, où l'on avait utilisé deux générateurs, installés aux deux extrémités du canal. Un de ces générateurs a été utilisé pour créer les houles et l'autre pour les absorber. Cette possibilité permettait de faire varier très facilement la gamme des houles réfléchies en terme d'amplitude et de fréquence. C'est ainsi qu'on a constaté que ces techniques d'absorption devaient inclure une compensation non-linéaire pour assurer une absorption correcte des harmoniques liées qui se manifestent en eau peu profonde.

La compensation non linéaire est déjà en place dans la première méthode pour des houles régulières. Des essais se poursuivent actuellement pour apporter des améliorations semblables dans la deuxième méthode.

### **SIMULATION DES HOULES UNIDIRECTIONNELLES ET NON LINÉAIRES**

La plupart des techniques de simulation et d'analyse utilisées dans les laboratoires sont fondées sur la théorie linéaire des houles, car l'approximation du premier ordre est suffisante pour résoudre la plupart des problèmes de génie. Mais lorsque la hauteur des houles est élevée ou que la profondeur d'eau est faible, la théorie du 2<sup>e</sup> ordre doit être employée. En développant jusqu'au second ordre la solution de l'équation de Laplace, qui est couramment utilisée pour décrire les houles, on peut obtenir les termes additionnels qui se décomposent en deux composantes importantes, à savoir : onde courte et onde longue, liées aux groupes. Ces composantes sont caractérisées comme liées, car elles se propagent à la même vitesse que leurs composantes fondamentales (ou les composantes du premier ordre) au lieu de suivre les vitesses classiques données par l'équation de la dispersion linéaire.

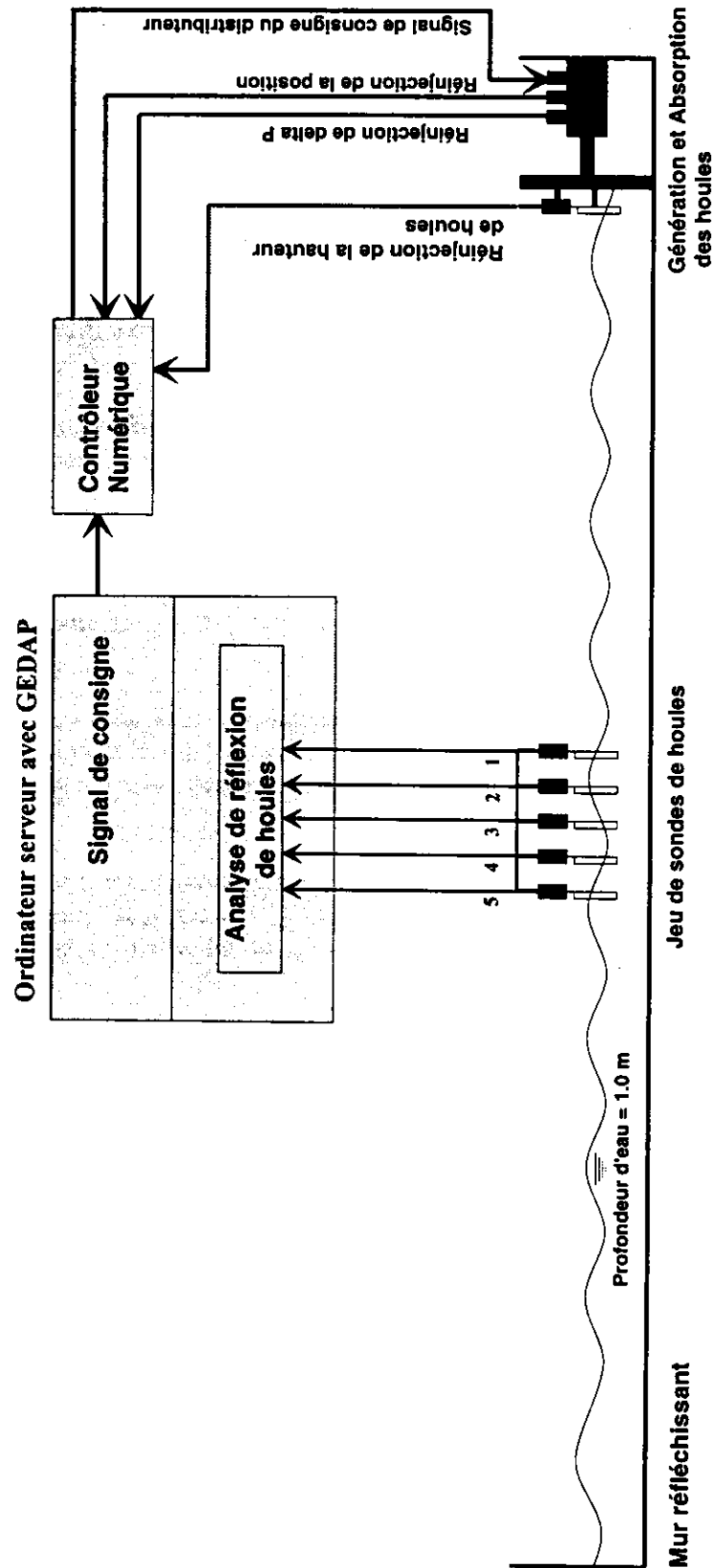


Figure 3 : Schéma du dispositif expérimental pour l'absorption active par la méthode qui utilise la réinjection de la hauteur de houle.

Les ondes longues liées engendrent une variation de la cote moyenne de la surface libre, en produisant une dépression de la surface libre au passage des groupes et sa remontée entre les groupes. Comme les périodes de groupes sont de l'ordre de 20 à 100 secondes, la variation de la surface libre moyenne suit également cette période.

Les ondes courtes liées sont typiquement des phénomènes de double fréquence qui modifient le profil individuel des houles en rendant les crêtes plus pointues et en aplatissant les creux. Les périodes typiques de ces ondes courtes sont de l'ordre de 2 à 10 secondes.

Une illustration simple de ces composantes est donnée à la figure 4.

La figure 4a fournit un exemple d'une houle de fréquence  $f_1$  sans et avec sa composante non linéaire de fréquence  $2f_1$ . L'aspect pointu de la crête et l'aplatissement du creux dans le profil du 2<sup>e</sup> ordre sont évidents.

La figure 4b illustre une houle bichromatique constituée de deux fréquences. Quand l'interaction se produit entre deux composantes des fréquences  $f_1$  et  $f_2$ , les composantes non linéaires qui en résultent sont les suivantes:

- Une composante d'onde longue de fréquence  $(f_2 - f_1)$ .
- Trois composantes d'ondes courtes dont les fréquences sont  $2f_1$ ,  $2f_2$  et  $(f_1+f_2)$  respectivement.

Les composantes  $2f_1$  et  $2f_2$  sont connues sous le terme d'auto-interaction, et  $(f_1 \pm f_2)$  sous le terme d'interaction mutuelle. Il est à noter qu'il n'existe aucun terme d'auto-interaction pour les ondes longues. Dans le cas d'un spectre de houles irrégulières, un grand nombre de ces termes d'interaction se manifestent.

Pour calculer l'amplitude de ces ondes non linéaires par l'équation (1) donnée ci-dessous, on doit tout d'abord quantifier les valeurs des fonctions  $G_{nm}^-$  et  $G_{nm}^+$ . On retrouve l'expression du calcul de  $G_{nm}^-$  dans l'article de Sand (1982) et celle du calcul de  $G_{nm}^+$  dans l'article du Sand et Mansard (1986).

$$G_{nm}^{\pm} = \frac{a^{(2)\pm}}{a^{(1)} a^{(1)}} \quad (1)$$

où + et - signifient les ondes courtes et les ondes longues respectivement; (1) et (2) correspondent au 1<sup>er</sup> et 2<sup>e</sup> ordre respectivement.

L'importance d'inclure ces harmoniques dans la simulation de la houle, afin d'assurer une estimation fiable du comportement d'un ouvrage testé, a été démontré par plusieurs chercheurs ( Bowers 1977; Molin 1983; Mansard &Pratte 1982; Mansard et al. 1988). Bien que cette inclusion soit relativement facile dans les modèles numériques, la génération correcte des harmoniques liées dans un bassin à houle est plus difficile.

### **Simulation des houles non linéaires dans un bassin à houle**

La simulation des houles dans un bassin ou canal à houle se fait généralement au 1<sup>er</sup> ordre. Cependant, dans le cas des houles où la condition de linéarité n'est plus valide, les composantes non-linéaires s'introduisent automatiquement sans qu'elles ne soient incluses dans l'algorithme de génération des houles. En même temps, on constate qu'un certain nombre de composantes parasites sont créées par inadvertance. Ceci est dû au fait que la théorie classique de génération ne tient pas compte des conditions aux limites d'ordre supérieur pour le mouvement du batteur. Si toutefois la théorie de génération est utilisée en



tenant compte des conditions aux limites du batteur jusqu'au 2<sup>e</sup> ordre, ces termes parasites peuvent être pré-calculés et ensuite éliminés. L'amplitude de ces composantes parasites est évidemment fonction des caractéristiques des houles, mais elle dépend aussi du type de batteur à houle et de son mouvement. Des solutions du 2<sup>e</sup> ordre existent de à et leurs performances ont été démontrées en [Barthel et al. (1983), Sand & Mansard (1986), Mansard (1991)].

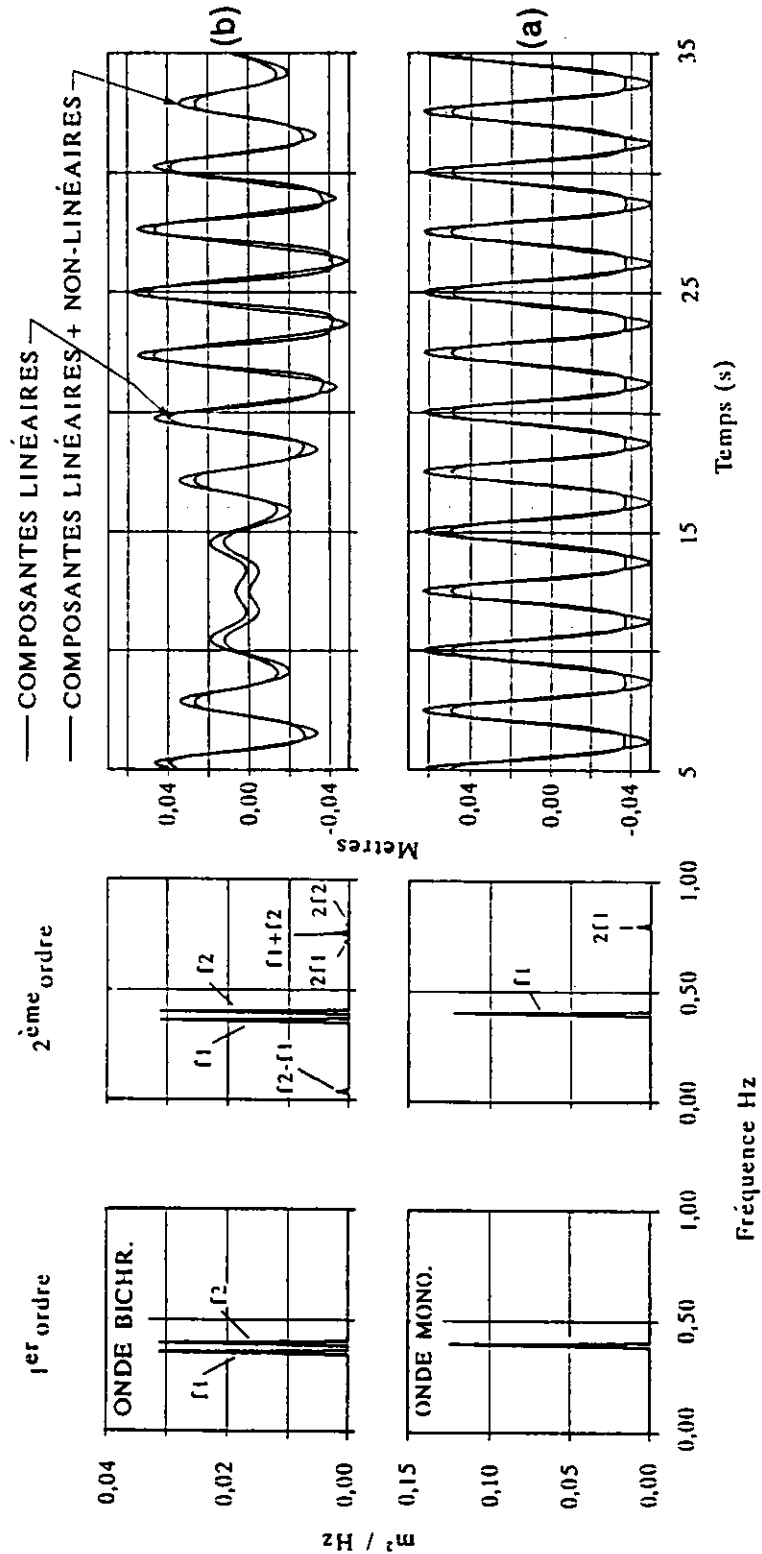


Figure 4 : Illustration des composantes non linéaires

## GÉNÉRATION DES HOULES MULTIDIRECTIONNELLES

Bien que les calculs théoriques pour la simulation des mers multidirectionnelles par des générateurs segmentés aient été connus depuis quatre décennies grâce au Biesel (1954), la possibilité de les simuler dans une cuve à houle ne s'est réalisée dans la pratique que depuis les vingt dernières années. Toutefois cette possibilité s'agrandit très rapidement grâce aux techniques de simulations des houles multidirectionnelles qui s'améliorent de plus en plus.

La figure 5 illustre un modèle d'un spectre multidirectionnel dont l'énergie est répartie dans les domaines de fréquence et de direction. Pour la répartition angulaire de l'énergie on a recours à divers modèles, parmi lesquels celui du type  $\cos^{2s}$  est appliqué couramment. L'expression utilisée pour calculer cette répartition est la suivante:

$$D(f,\theta) = \frac{\Gamma(s(f)+1)}{\sqrt{\pi}\Gamma(s(f)+0.5)} \cos^{2s(f)} (\theta - \theta_0(f)) \quad \text{for } |\theta - \theta_0(f)| < \frac{\pi}{2} \quad (2)$$

où  $\Gamma$  est la fonction gamma,  $\theta_0(f)$  est la direction moyenne qui peut varier en fonction des fréquences; De même, l'indice  $s(f)$ , qui caractérise l'étalement de la répartition angulaire est également fonction de la fréquence. Pour l'illustration fournie à la figure 5, on a fait varier "s" de 20 à 4 avec l'augmentation de la fréquence, indiquant peu d'étalement quand la valeur de "s" est élevée. Dans cette figure, la direction moyenne des composantes varie aussi en fonction des fréquences.

Une fois que le spectre multidirectionnel est défini, il existe plusieurs modèles par lesquels le train de houles peut être synthétisé. Parmi ceux ci, le modèle de "single summation" est peut-être celui qui est utilisé le plus couramment. Ce modèle suppose que chaque composante de fréquence se propage dans une seule direction, sans créer d'effet d'interaction de phases, assurant ainsi des hauteurs significatives homogènes dans le domaine de l'espace. Une fois que la surface libre est générée par ce modèle, le signal de consigne pour commander les divers segments du générateur peut être facilement calculé par une méthodologie semblable aux houles unidirectionnelles décrite précédemment.

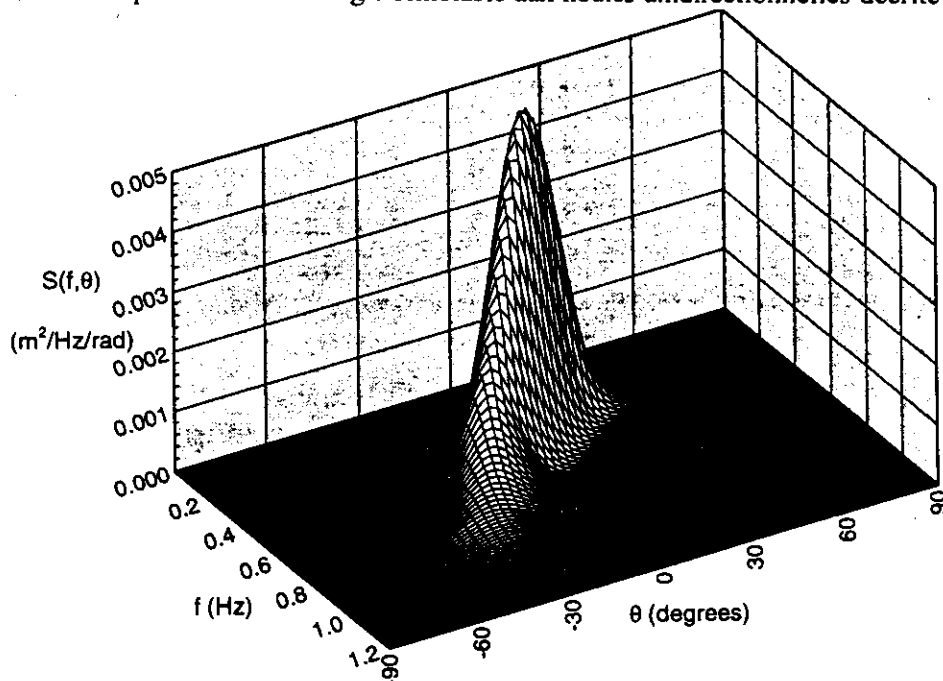


Figure 5: Exemple d'un spectre de houles multidirectionnelles.

De nombreuses références peuvent être suggérées pour obtenir plus de détails sur les techniques de génération de houles multidirectionnelles: (Miles 1989, 1990; Jefferys 1987; Takayama et al. 1989, Cornett et al., 1993). De même, pour l'analyse des houles multidirectionnelles, Benoit (1992, 1993) sont suggérés.

Pendant que la recherche se poursuit dans le domaine de simulation des houles multidirectionnelles, des chercheurs visent à agrandir la zone de travail dans les bassins à houles multidirectionnelles. Sand et Mynett (1987) démontre qu'il est difficile de garantir un état de mer homogène sur toute la surface d'un bassin 3D à cause des processus de diffraction et de réflexion qui s'y manifestent. D'ailleurs pour certaines combinaison des paramètres d'étalement et de période de houles, la surface homogène peut être très restreinte. C'est pourquoi certains chercheurs comme Funke et Miles (1987) et Dalrymple (1989), ont élaborés des approches qui peuvent augmenter cette surface.

Un des critères importants dans l'étude sur modèle des ouvrages maritimes en présence des houles 3D est donc de prédire les caractéristiques de houles en diverses positions du bassin, pour en déterminer la zone où l'état de mer est homogène. Pour les études d'architecture navale, où la distance de parcours des navires doit être pris en considération, cette tâche devient très importante. Le CNRC utilise à cette fin un modèle numérique linéaire.

### MODÈLE NUMÉRIQUE POUR LA PRÉDICTION DU CHAMP DE HOULES DANS UN BASSIN

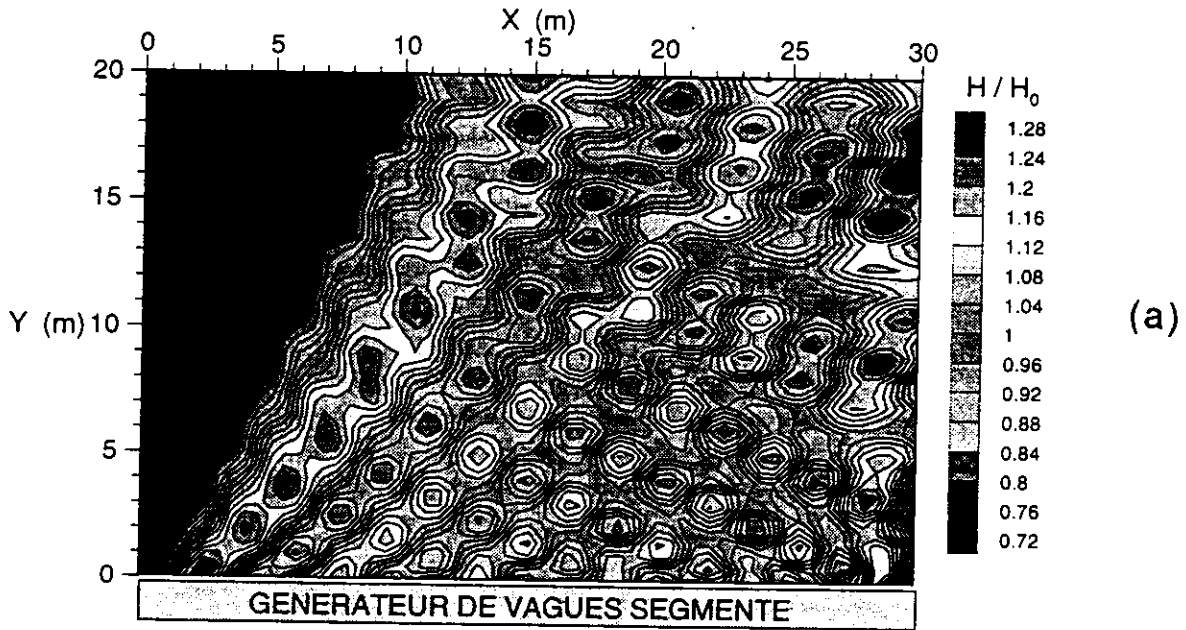
Le modèle WAGEN5 utilisé par le CNRC est un modèle linéaire de la diffraction des éléments limites ("Boundary Element"). Il est basé sur sa version précédente WAGEN4, élaborée par Isaacson et Mathai (1993) pour des houles régulières. Il prédit le champ de houles généré par un générateur de houles segmenté, dans un bassin de profondeur constante, pouvant contenir des parois entièrement réfléchissantes ou des absorbeurs passifs partiellement réfléchissants. La version originale de ce modèle WAGEN a été validée par Hiraishi et al. (1991) dans une vaste série d'essais réalisés dans le bassin à houles multidirectionnelles du CNRC. La dernière version de WAGEN5 a été utilisée pour l'étude de concept d'un bassin à houles multidirectionnelles pour le Bassin d'Essais de Carènes de Paris. Une des conditions du contrat exigeait la démonstration de la concordance existant entre les résultats numériques et physiques. La concordance a été bonne.

Une illustration des possibilités du programme WAGEN5 est présentée ci-dessous pour deux cas expérimentaux suivants: houle régulière unidirectionnelle mais oblique et houles irrégulières multidirectionnelles. Dans les deux cas, la réflexion des absorbeurs passifs aux parois a été supposée d'être 10%.

La figure 6a présente l'isogramme des hauteurs de houles, normalisées par la hauteur souhaitée, pour une houle régulière ayant une période de 1,5 s et un angle de propagation de 20°. On y voit clairement la zone de diffraction et la variabilité relativement large des hauteurs (de l'ordre de  $\pm 20\%$ ) sur la surface du bassin. Toutefois, cette variabilité diminue pour des houles irrégulières à cause de l'effet de moyennement résultant de la présence de plusieurs fréquences, chacune ayant une configuration de diffraction différente. On peut bien voir ce phénomène à la figure 6b qui illustre un cas de la mer multidirectionnelle et irrégulière. Les isogrammes fournies ici représentent les hauteur de houles significatives normalisées. On peut y remarquer une surface relativement grande où la variabilité de l'état de mer est inférieure (ou égale) à  $\pm 2\%$ . La direction moyenne  $\theta_0 = 0^\circ$  et la valeur de l'indice  $s=2$  utilisées dans cet exemple sont constantes pour toutes les fréquences.

Le CNRC utilise ce genre de calcul et de diagramme pour évaluer la zone de travail utile et ainsi décider de l'emplacement d'un modèle pour les essais avec des houles 3D. Le modèle WAGEN5 s'avère également être un outil important pour concevoir des nouveaux bassins à houles multidirectionnelles.

HAUTEUR NORMALISEE D'UNE VAGUE REGULIERE ET UNIDIRECTIONNELLE  
 PERIODE = 1.5 s ANGLE DE PROPAGATION = 20°



HAUTEUR SIGNIFICATIVE NORMALISEE  
 D'UNE MER MULTIDIRECTIONNELLE AVEC UNE  
 REPARTITION ANGULAIRE  $\text{Cos}^4(\theta)$

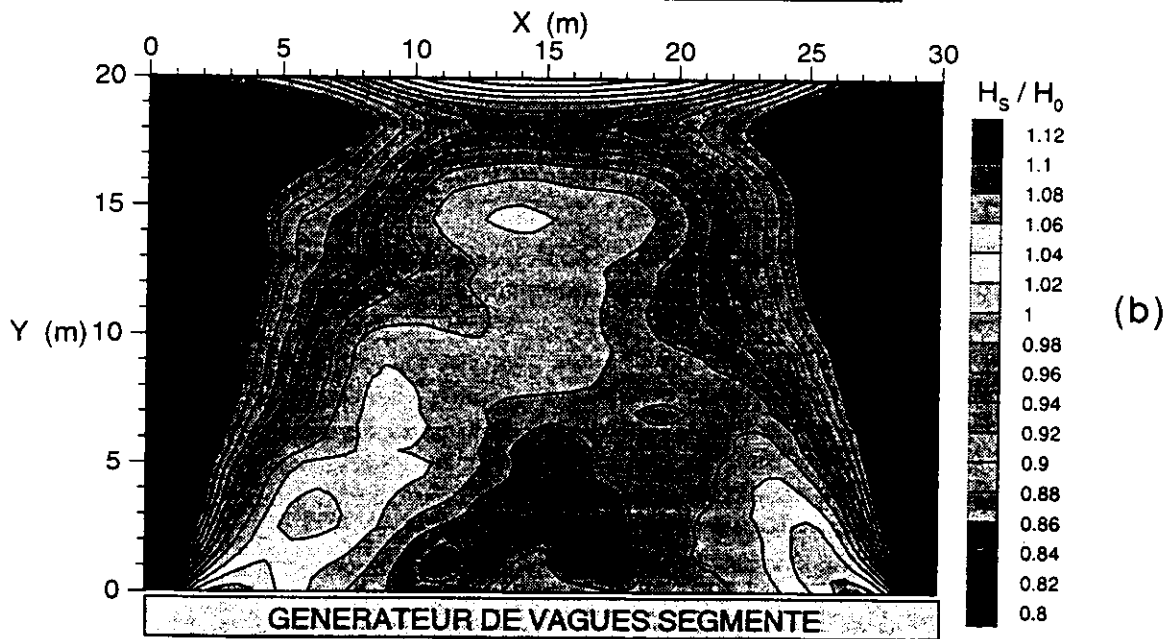


Figure 6. Exemples de prédiction des houles par WAGEN5.

## CONCLUSIONS

La génération et l'analyse des houles multidirectionnelles, l'élaboration de techniques fiables d'absorption active et passive ont largement contribué à une simulation plus réaliste des états de mer en laboratoire. La prochaine étape majeure pour leur amélioration consiste peut-être à élaborer une théorie non-linéaire pour la simulation et la prédiction des houles multidirectionnelles.

## REMERCIEMENTS

Nous remercions notre collègue M. T. Faure qui a bien voulu éditer ce document et fournir des commentaires. La réalisation matérielle de ce document doit beaucoup à Mme D. Black qui a tapé le texte et à M. R. Girard qui en a préparé les figures.

## BIBLIOGRAPHIE

AIRH/AIPCN. 1986. Paramètres des états de mer. Supplément au Bulletin No. 52 d'AIPCN, Secrétariat général, Brussels, Belgique.

Barthel, V., Mansard, E.P.D., Sand, S.E., & Vis, F.C. 1983. Group Bounded Long Waves in Physical Models, *Ocean Engineering*, Vol. 10, No. 4, 1983, pp. 261-294.

Biesel, F., 1954 *Wave Machines*, Proc. of the First Conf. on Ships and Waves, Hoboken, N.J. U.S.A.

Benoit, M. 1992. Practical Comparative Performance Survey of Methods Used for Estimating Directional Wave Spectra from Heave-Pitch-Roll Data, Proc. 23<sup>rd</sup> Int. Conference on Coastal Engineering, Venice, Italy.

Benoit, M. 1993. Extensive Comparison of Directional Wave Analysis Methods from Gauge Array Data, Proc. 2nd Int. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, U.S.A.

Bowers, E.C. 1977 Harbour Resonance due to Set-Down Beneath Wave Groups, *J. Fluid Mech*, Vol 79, No.1.

Cornett, A., Miles, M.D., & Nwogu, O.G. 1993. Physical Modelling of Multidirectional Waves, Proc. 2nd Int. Symp. on Ocean Wave Measurement and Analysis, New Orleans, U.S.A.

Dalrymple, R.A. 1989. Directional Wavemaker Theory with Sidewall Reflection, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 27, No. 1, pp. 23-34.

Funke, E.R. & Mansard, E.P.D. 1984. The NRCC "Random" Wave Generation Package, Hydraulics Laboratory, Technical Report TR-HY-002, National Research Council of Canada.

Funke, E.R. & Miles, M.D. 1987. Multi-Directional Wave Generation with Corner Reflectors, Hydraulics Laboratory Technical Report, TR-HY-021, National Research Council of Canada.

Hiraishi, T., Mansard, E.P.D., Miles, M.D., Funke, E.R. & Isaacson, M. 1991. Numerical and Experimental Validation for a Diffraction Model of Directional Wave Generator, National Research Council Canada, Hydraulics Laboratory Technical Report TR-HY-016.

Isaacson, M., & Mathai, T. 1993. Wave Field in a Laboratory Wave Basin with Partially Reflecting Boundaries, Proc. 3rd Int. Offshore and Polar Eng. Conf. Singapore.

Jamieson, W.W. & Mansard, E.P.D. 1987. An Efficient Upright Wave Absorber, Proc. ASCE Speciality Conf. on Coastal Hydrodynamics, University of Delaware, Delaware, USA.

