CHAPTER 9

PROGRES DES METHODES DE MESURE DE LA HOULE NATURELLE AU LABORATOIRE NATIONAL D'HYDRAULIQUE

par

René Bonnefille [1], Pierre Cormault [2], Jean Valembois [3]

INTRODUCTION

Le Laboratoire National d'Hydraulique exploite et développe depuis une quinzaine d'années des techniques de mesure propres à l'étude du régime de la houle le long du littoral marin. Le type le plus connu de ces instruments est l'enregistreur autonome de houle (1), qui comporte dans un caisson étanche immergé, un manomètre différentiel et une caméra enregistrant les fluctuations de pression à une profondeur déterminée. Cette méthode de mesure indirecte des caractéristiques de la houle naturelle est la plus généralement adoptée ; mais elle possède le grave inconvénient de présenter une précision limitée, car dans l'état actuel des connaissances, il n'existe pas de relation exacte et simple entre une grandeur caractéristique de l'agitation de la mer en surface et une grandeur caractéristique de la fluctuation de pression induite à une profondeur donnée. Aussi le Laboratoire National d'Hydraulique s'est-il attaché à créer des méthodes de mesure directes de l'agitation de la surface de la mer, méthodes que nous allons décrire ci-dessous.

LE SONDEUR A ULTRA-SONS INVERSE

PRINCIPE

Le dispositif réalisé est constitué par un transducteur immergé capable d'émettre de courts trains d'ondes ultra-sonores vers la surface et d'en recueillir l'écho après réflexion sur cette surface. La mesure du temps de propagation aller et retour du train d'onde indique la distance qu'il a parcourue, donc la hauteur d'eau au-dessus du capteur.

---

1) Ingénieur, Chef de la Division Hydraulique Maritime du Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou, France

2) Docteur-Ingénieur au Laboratoire National d'Hydraulique de Chatou France

3) Conseiller Scientifique au Centre de Recherches et d'Essais de Chatou, France.

Sur ce principe, plusieurs appareils ont été construits depuis de nombreuses années, délivrant généralement un enregistrement analogique peu précis, car constitué d'une succession de traits dont l'enveloppe représente la houle captée. Afin d'obtenir une précision meilleure et des possibilités de traitement automatique de l'information acquise, la Division "Mesures" du Centre de Recherches et d'Essais de Chatou a construit pour le compte du Laboratoire National d'Hydraulique un appareillage qui présente les caractéristiques suivantes (2) :

- obtention des résultats de mesure sous forme numérique, par impression et perforation chaque dixième de seconde, de la cote exprimée en cm.

- Erreur absolue sur le mesure de la hauteur d'eau inférieure ou égale à $\pm$ 1 cm.

- Fonctionnement en marégraphe, par détermination de la moyenne de n mesures consécutives ($1 \leq n \leq 1000$)

- Sortie éventuelle des résultats sous forme analogique

CARACTERISTIQUES DE L'APPAREIL

La fréquence adoptée est 200 kHz, ce qui assure à la fois une précision suffisante sur la mesure de la distance parcourue par l'onde (déterminée à une longueur d'onde près, soit 0,75 cm) et une tache en surface de dimensions compatibles avec la géométrie d'une vague (pour une céramique d'un diamètre de 5 cm, le demi-angle au sommet du cône d'émission est d'environ 9°).

Il est important pour la précision de la mesure d'utiliser des trains d'ondes bien définis sur leur front avant. A cet effet, il a été imaginé deux procédés de "nettoyage" du signal. D'une part, un contrôle automatique de gain règle la puissance d'émission (de l'ordre de 1 watt) de telle manière que trois échos soient reçus en permanence, situés à une distance fixe du top émission, tandis que les échos parasites, aléatoires et fugitifs, sont éliminés. D'autre part, un circuit "fenêtre" bloque le récepteur pendant un temps légèrement inférieur à la période de répétition des émissions (1/10ème de seconde) à compter d'un signal réception. Seul un top réception correspondant à une mesure très proche de la précédente peut donc être pris en compte.

Enfin, un dispositif de correction qui mesure à tout instant la vitesse de propagation du son dans l'eau sur une base de 1m, permet de tenir compte des variations de température et de salinité de l'eau de mer. Ce dispositif, qui ne fait pas partie intégrante de l'appareil lui-même, est d'une utilisation facultative.

Les caractéristiques de l'appareil sont résumées dans le tableau suivant :

Fréquence ultra sonore	200 kHz
Fréquence des mesures	0,1 Hz
Gamme de mesure	0 à 30m
Précision	$\pm$ I cm
Longueur de câble maximale	3000 m
Consommation électrique	90 W
Poids de l'ensemble immergé	55 Kg
Poids de l'appareil à terre	23 Kg

Caractéristiques du Houlomètre à ultra-sons

La figure 1 présente le schéma synoptique de l'appareil décrit précédemment.

REALISATION DE L'APPAREILLAGE

La partie immergée (figure 2) comporte uniquement le transducteur piézo-électrique monté sur cardan avec un contrepoids important, ce qui lui permet d'avoir une position parfaitement verticale, quelque soit le degré d'horizontalité du fond, et un adaptateur d'impédance permettant d'attaquer directement le câble coaxial de transmission à terre du signal.

Une bouée contient éventuellement le système de correction des variations de célérité du son dans l'eau.

L'ensemble situé à terre (figure 3) comporte : l'émetteur-récepteur de sondage, de circuit de cadencement, les alimentations, et la partie logique capable de transformer le signal d'information sous une forme adaptée à l'impression et à la perforation des résultats, la perforatrice utilisée a une cadence maximale de 75 caractères par seconde, ce qui permet d'enregistrer jusqu'à IO mesures par seconde. Le code de perforation est choisi par l'utilisateur à l'aide d'une matrice à diodes enfichables.

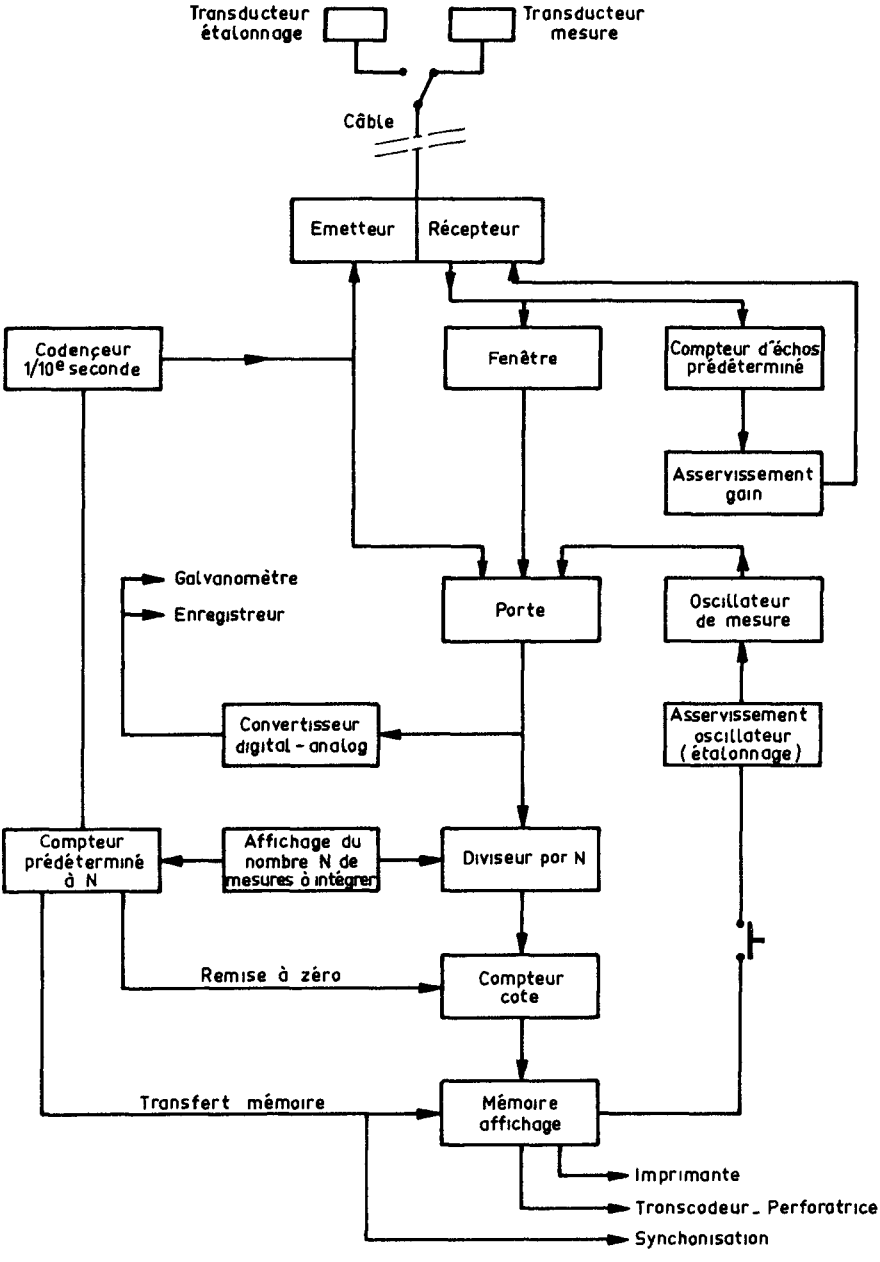

Fig. 1. Schéma synoptique du houlomètre à ultra-sons.

Fig. 2. Partie immergée du houlomètre à ultra-sons.

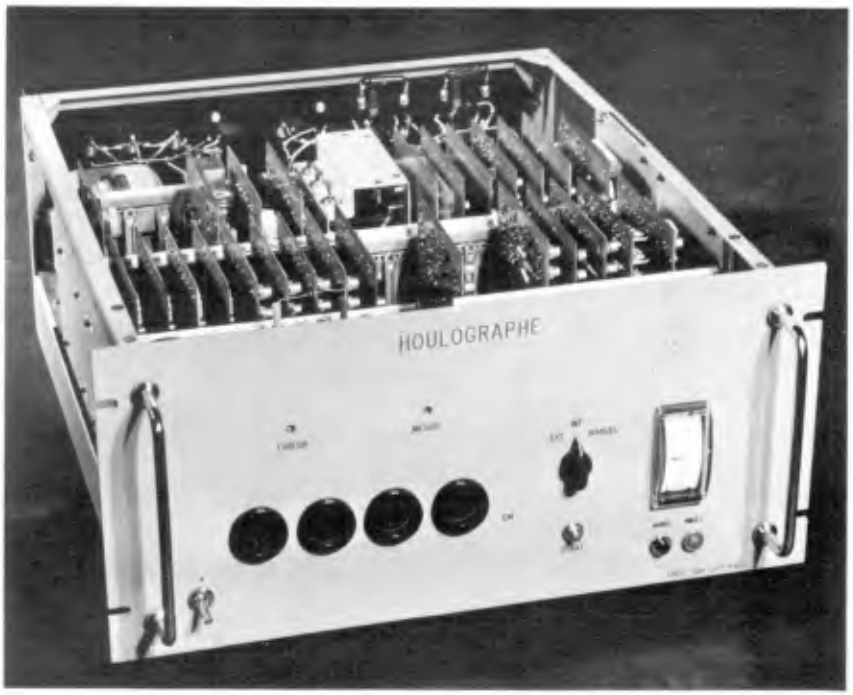

Fig. 3. Partie à terre du houlomètre à ultra-sons.

LE RADIO-HOULOMETRE

L'utilisation du sondeur à ultrasons inversé décrit ci-dessus comporte une sujétion : l'installation d'un câble de transmission entre la partie immergée et l'ensemble situé à terre. Afin de se libérer de cette sujétion, la division "Mesures" du Centre de Recherches et d'essais de Chatou a réalisé pour le Laboratoire National d'Hydraulique un ensemble de télémesure permettant de transmettre à 15 Km du point de mesure les caractéristiques de la houle, l'émetteur possédant une autonomie de 6 mois.

L'appareillage se présente de la façon suivante (3) : un capteur transforme le niveau instantané de la mer en une capacité variable. Cette capacité sert à moduler la fréquence centrale d'émission allouée (71,250 MHz) avec une excursion de fréquence de ± 25 KHz. La fréquence variable produite est amplifiée à un niveau convenable et envoyée dans l'espace par l'intermédiaire d'une antenne accordée directive. L'énergie nécessaire à l'émetteur est fournie par des piles amorçables par de l'eau potable, qui ont une très grande capacité. A la réception, l'onde modulée en fréquence est démodulée dans un discriminateur qui restitue le phénomène sous la forme d'une tension continue appliquée ensuite à un enregistreur.

Le capteur est une capacité cylindrique dont la valeur varie proportionnellement au niveau instantané de la mer. L'armature externe du condensateur est constituée par l'eau de mer tandis que l'armature interne, un conducteur métallique central, est noyée dans le diélectrique réalisé en téflon.

La puissance maximale à l'émission, de l'ordre de 1 watt, assure la liaison de 15 km avec un coefficient de sécurité important.

TRAITEMENT AUTOMATIQUE DES DONNEES

Les enregistrements obtenus à l'aide du sondeur à ultra sons se présentent sous la forme de bande perforée directement utilisable sur ordinateur. Chaque bande de 300m contient environ 10 enregistrements composés chacun :

a) d'un préambule comportant le numéro d'identification de la station de mesure, la date et l'heure de l'enregistrement

b) de vingt minutes de mesure

La bande perforée est d'abord dupliquée afin de détecter et corriger les erreurs de parité éventuelles pouvant affecter le codage en mode DC B des informations. Elle est ensuite lue par un ordinateur IBM 1440 possédant comme organe d'entrée un lecteur de bande perforée IBM 1011. Dans cette première phase, les données sont mise en forme, puis stockées sur une unité de bande magnétique de

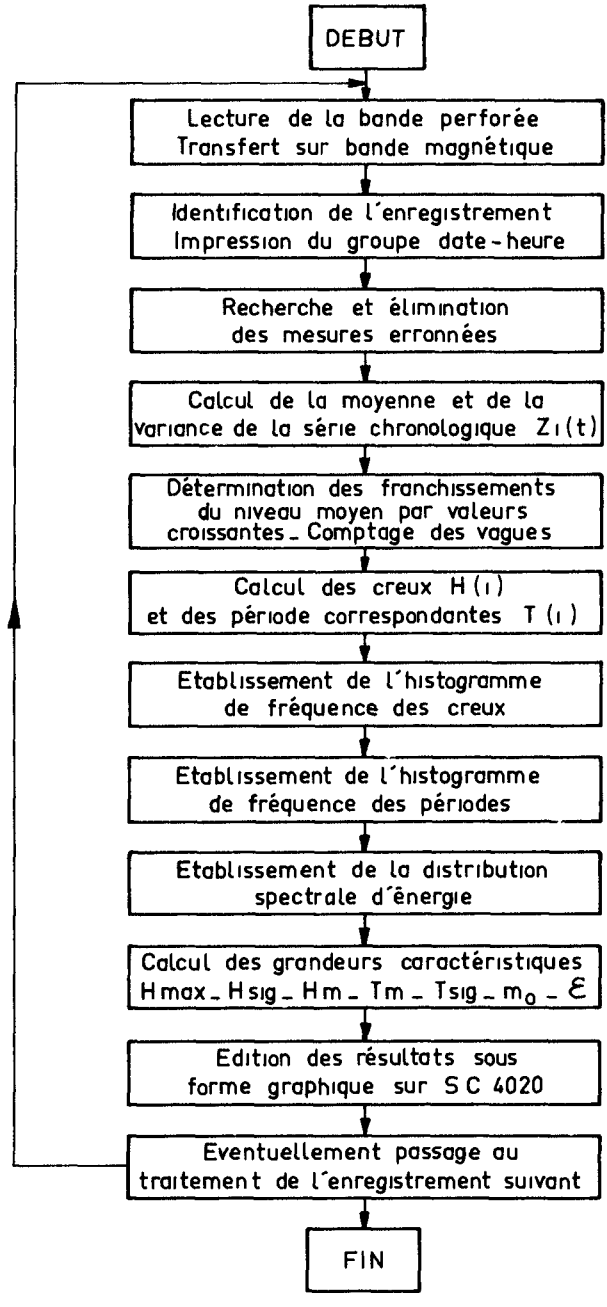

Fig. 4. Organigramme du programme de traitement sur IBM 7094.

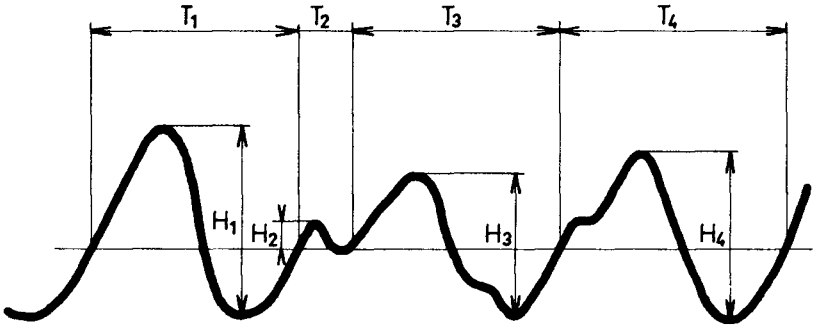

Fig. 5. Définition de la méthode d'analyse utilisée Les creux Hi et périodes Ti caractérisant La vague i résultent de La détermination des franchissements du niveau moyen par valeurs croissantes.

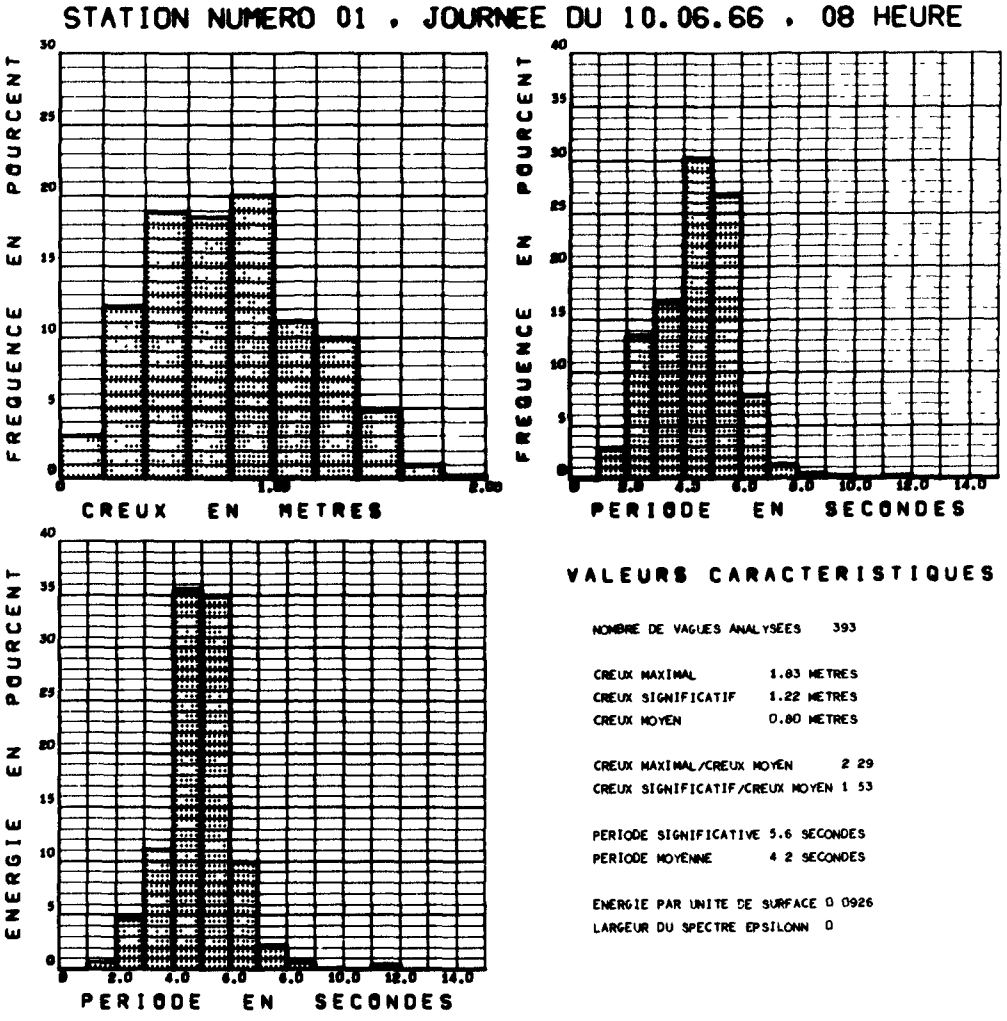

Fig. 6. Fac-similé de L'édition sur S.C. 4020 de L'analyse statistique automatique d'un enregistrement de houle.

l'ordinateur IBM 7094 qui effectue le traitement. L'organigramme du programme de calcul est schématisé sur la figure 4. Ce programme commence par détecter et éliminer les mesures erronnées, puis réalise les calculs suivants :

- détermination de la distribution statistique des creux et periodes de la houle, la définition de ces grandeurs étant illustrée par la figure 5.

- détermination de la distribution spectrale d'énergie,

- détermination des valeurs caractéristiques suivantes : creux maximal ; creux significatif ; creux moyen ; période significative ; période moyenne.

- Les resultats sont édités sous forme graphique par un organe périphérique de l'IBM 7094, le système STROMBERG-CARLSSON 4020 qui permet d'obtenir les résultats du calcul présentés sous leur forme définitive, sur microfilms 35mm. La figure 6 présente un fac-similé des planches de résultats qui sont ainsi automatiquement réalisées par l'ordinateur.

Le temps de traitement d'un enregistrement de houle d'une durée de vingt minutes est d'environ 15 secondes, l'obtention du cliché photographique sur S.C 4020 étant comprise dans ce temps.

CONCLUSION

Le Laboratoire National d'Hydraulique s'est attaché à créer des méthodes de mesure directes de l'agitation de la surface de la mer, plus précises que les méthodes indirectes utilisées jusqu'à présent et conçues pour permettre un traitement automatique des données. Le Laboratoire a ainsi réalisé un sondeur à ultra-sons inversé qui permet de connaître la cote de la surface libre de la mer en un point donné chaque dixième de seconde, et avec une erreur absolue n'excédant par un cm. Les informations recueillies sous forme numérique sur bande perforée, sont traitées sur ordinateur et les résultats édités automatiquement sous forme graphique. A l'aide de ces moyens de mesure aux possibilités et à la précision accrues, le Laboratoire National d'Hydraulique a entrepris une investigation qui permettra de préciser les lois régissant l'atténuation des effets de la houle avec la profondeur, ce qui présente un intérêt considérable, car l'enregistreur autonome de fluctuations de pression sur le fond de la mer demeure encore l'appareil de mesure dont l'emploi est le plus universel.

REFERENCES

(1) Valembois J (1954). Les appareils réalisés à Chatou pour la mesure de la houle naturelle · 5th Conference on Coastal Engineering Berkeley.

(2) Silberstein J.P (1965) La mesure des niveaux d'eau par ultrasons : Colloque sur l'électronique dans la mesure aux Etudes et Recherches d'Electricité de France (actes non encore publiés)

(3) Bernard P. (1965). Télémesure de la houle dans le Golfe de Fos : Colloque sur l'électronique dans la mesure aux Etudes et Recherches d'Electricité de France. (actes non encore publiés).