

## 4e JOURNEES DE L'HYDRODYNAMIQUE

1, 2, 3 mars 1993 - Nantes

### TRAITEMENTS DES MESURES DE CHAMPS DE VAGUES AUTOUR DES ATTENUATEURS

E.LANDEL, P.GUERIN  
Société PRINCIPIA R.D.  
BP 160 - 83503 LA SEYNE GARIBALDI CEDEX  
Tél. : 94.06.06.00 — Fax : 94.06.58.83

#### Résumé

La caractérisation expérimentale des performances d'atténuation de brise-houles immergés présente un certain nombre de difficultés liées, entre autre, à la complexité des champs de vagues. A partir d'un nombre limité de sondes limnimétriques, il est cependant possible de décrire le champ de vagues modifié par le brise-houle, en utilisant des représentations mathématiques élémentaires (Séries) dont les coefficients caractéristiques sont obtenus à partir de valeurs mesurées et en utilisant les propriétés d'orthogonalité des fonctions de base. Cette méthode d'holographie, issue de travaux effectués en acoustique, a permis de traiter deux problèmes types : la caractérisation du champ de vagues perturbé par un atténuateur isolé et la détermination du rendement d'un brise houle constitué d'une file de structures régulièrement espacées. Ces développements permettent en outre d'introduire dans des modèles numériques d'agitation portuaire, les caractéristiques intrinsèques de ces atténuateurs.

#### Summary

Experimental studies of submerged breakwaters performances are mainly restricted by the wave field complexity. This wave field may be determined by the use of a limited number of captors and using a mathematical representation. Thus, the modelling coefficients are obtained using wave captors and the fact that basis representative functions are orthogonal. This holographic method, developed for acoustic antennas, allows the study of :

- 1 - characterisation of the modified wave field by a single breakwater.
- 2 - a system of a several breakwaters regularly spaced.

Those methods allow to introduce complex entities such as submerged breakwaters in a numerical harbor agitation model.

## I- INTRODUCTION

Dans le cadre du développement d'atténuateurs de houle, la caractérisation de leurs performances par des essais expérimentaux n'est pas sans poser certaines difficultés, dès lors que l'on s'intéresse à des configurations où les effets tridimensionnels jouent un rôle non négligeable (effets d'envergure limitée, réseau discontinu). Des méthodes de traitements des mesures de la dénivelée de la surface libre sont alors nécessaires pour :

- 1 - faciliter l'interprétation des essais.
- 2 - introduire les caractéristiques intrinsèques des atténuateurs dans des modèles numériques décrivant la propagation des ondes de gravité.

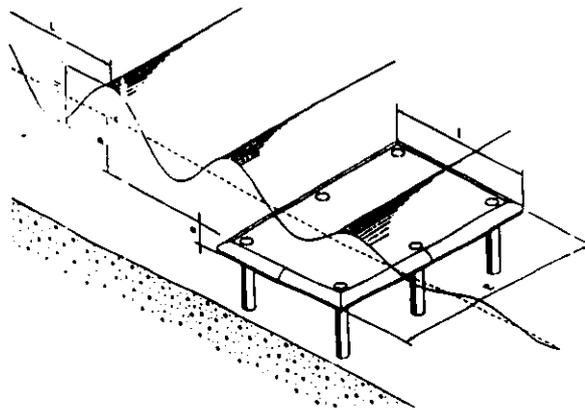
A partir de techniques développées pour des antennes acoustiques, ([1] et [2]) deux méthodes numériques sont développées qui permettent de traiter les dénivelées de la surface libre dans deux configurations :

- 1 - quand l'atténuateur est isolé et le champ diffracté présente un caractère de cylindricité.
- 2 - quand la barrière d'atténuateurs est constituée d'une file infinie de structures jointives ou séparées.

Ces méthodes ont été développées et validées pour des atténuateurs du type plaque mince [3], dans le cadre du projet Euréka EU394 [4].

## II - POSITION DU PROBLEME

L'implantation d'ouvrages de protection dans la bande côtière peut s'étudier au moyen de méthodes numériques décrivant les effets de réfraction et de diffraction de la houle. Sur les ouvrages émergents, des conditions de réflexions partielles sont classiquement utilisées. Dans le cas de barrières d'atténuateurs de houles immergés et non jointifs de surcroît, les interactions sur la houle produites par de telles structures ne peuvent plus être décrites par une simple relation locale mais par une méthode plus fine qui rende compte de la complexité des champs de vagues perturbés par les atténuateurs. A cela il convient d'ajouter le fait que les phénomènes physiques mis en jeu par des structures du type plaque mince sont extrêmement complexes : déferlement sur le dessus de la plaque, décrochements tourbillonnaires sur ses arêtes [5]. Ces phénomènes sont à caractère très fortement non linéaire et ne peuvent être appréhendés correctement par des théories linéarisées du potentiel. Par contre à une certaine distance de ces structures, les déformées de la surface libre retrouvent des amplitudes suffisamment faibles vis-à-vis de la longueur d'onde pour qu'il soit possible d'admettre la linéarité des équations.



Vue en coupe du dispositif étudié

On procède alors à des essais sur modèle réduit et à des mesures d'élévation de la surface libre au moyen de sondes limnimétriques. Ces mesures permettent d'identifier des champs de vagues élémentaires : multipôles hydrodynamiques pour des atténuateurs isolés ou ondes planes pour des barrières linéaires d'atténuateurs régulièrement espacés.

### III - IDENTIFICATION DE MULTIPLES HYDRODYNAMIQUES

Le problème consiste à caractériser le champ de vagues diffracté par un atténuateur de houle. La structure est isolée, placée dans une lame d'eau limitée par un fond plat et par une surface libre. Elle est soumise à une houle incidente monochromatique de pulsation  $\omega$  et de direction fixée.

#### III.1 - Description théorique de la perturbation d'un champ de houle par un atténuateur

On a admis les hypothèses qui conduisent à linéariser les équations et qui permettent de conclure à l'existence d'un potentiel des vitesses. Le potentiel total se décompose alors en un potentiel incident  $\Phi_I$  et un potentiel perturbé  $\Phi_p$ . Ce dernier potentiel,  $\Phi_p$ , peut être décrit par une formulation intégrale utilisant une distribution de sources seules sur la surface  $S$  de l'atténuateur :

$$(3.1) \quad \Phi_p = \iint_S \sigma(M') G(MM') dS(M')$$

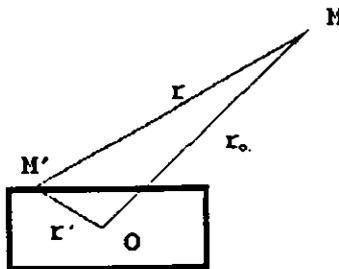
La fonction de Green  $G$  vérifie l'équation de Laplace ainsi que la condition de glissement sur le fond, la condition de surface libre linéarisée et la condition de radiation à l'infini. Lorsque la distance horizontale  $r$  est grande, cette fonction admet la forme asymptotique suivante:

$$(3.2) \quad G = -\frac{i}{2h} \frac{M_o^2 - K_o^2}{M_o^2 - K_o^2 + M_o} \text{ch}[m_o(z+h)] \cdot \text{ch}[m_o(z'+h)] H_o^{(1)}(m_o r)$$

Par ailleurs la distribution de sources  $\sigma$  est telle que la condition de glissement sur l'atténuateur est satisfaite :

$$(3.3) \quad \frac{\partial \Phi_p}{\partial n} = -\frac{\partial \Phi_I}{\partial n}$$

Lorsque le point d'observation  $M$  est éloigné de l'atténuateur, la distance  $r'$  devient très petite vis-à-vis de la distance  $r_o$ .



Positions relatives des points  $M$  et  $M'$   
dans le plan horizontal

Dans ces conditions la fonction de Hankel peut être approchée par le développement en série de Taylor :

$$(3.4) \quad H_o^{(1)}(m_o r) \simeq \sum_{l,m} \frac{x'^l y'^m}{l! m!} \frac{\partial^l}{\partial x'^l} \frac{\partial^m}{\partial y'^m} \left[ H_o^{(1)}(m_o r) \right]_{r=r_o}$$

En utilisant cette approximation dans l'expression (2.1), le potentiel prend alors la forme suivante :

$$(3.5) \quad \Phi_p(\tau, \theta, z) = -\frac{i}{2h} \frac{M_o^2 - K_o^2}{M_o^2 - K_o^2 + M_o} ch[m_o(z+h)] \sum_{l,m} \mathcal{M}_{lm} \phi_{lm}(\tau, \theta)$$

avec :

$$(2.6) \quad \phi_{lm} = \frac{\partial^l}{\partial x'^l} \frac{\partial^m}{\partial y'^m} \left[ H_o^{(1)}(m_o r) \right]_{r=r_o}$$

$$(3.7) \quad \mathcal{M}_{lm} = \iint_S \frac{x'^l y'^m}{l! m!} ch[m_o(z'+h)] \sigma(x', y', z') dS$$

Les fonctions  $\phi_{lm}$  sont appelées multipôles et les coefficients  $\mathcal{M}_{lm}$  sont les poids des multipôles. On souhaite se ramener à une expression faisant intervenir les coordonnées cylindriques  $r$  et  $\theta$ . On montre facilement que cette expression prend la forme suivante:

$$(3.8) \quad \Phi_p(\tau, \theta, z) = -i \frac{g}{\omega} \frac{ch[m_o(z+h)]}{ch[m_o h]} \sum_n A_n H_n^{(1)}(m_o r) exp(in\theta)$$

Les coefficients  $A_n$ , qui sont homogènes à des élévations de surface libre, sont inconnus et peuvent être déterminés à partir de mesures dans une cuve à houle.

### III.2 - Identification des multipôles à partir de mesures

On a montré précédemment que la solution élémentaire du potentiel admettait une forme asymptotique en champ lointain qui se traduit pour la dénivelée de la surface libre par une expression de la forme :

$$(3.9) \quad \eta_p(\tau, \theta) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n H_n(m_o r) exp(in\theta)$$

où  $\eta_p(\tau, \theta)$  représente l'élévation de la surface libre due à la perturbation induite par l'atténuateur. Cette perturbation est mesurée dans une cuve à houle à partir de sondes résistives disposées autour de l'atténuateur. Les valeurs des coefficients  $A_n$  sont obtenues en utilisant les propriétés d'orthogonalité des fonctions angulaires:

$$(3.10) \quad A_n = \frac{\epsilon_n}{2\pi H_n(m_o R)} \int_0^{2\pi} \eta_p(\tau, \theta) exp(-in\theta) d\theta$$

où  $\epsilon_n$  désigne le symbole de Neumann et vaut 1 si  $n$  est nul et 2 pour tout autre valeur de  $n$ .

En réalité, les amplitudes ne sont connues qu'en un nombre  $P$  fini de points, régulièrement répartis sur un cercle de rayon  $R$ . L'intégrale est discrétisée en éléments d'égale longueur  $\Delta\theta = \frac{2\pi}{P}$  sur lesquelles l'élévation de la surface libre est supposée constante :

$$(3.11) \quad A_n \approx \frac{\epsilon_n \Delta \theta}{2\pi H_n(m_0 R)} \sum_{p=0}^{P-1} \eta_p \exp(-inp\Delta\theta)$$

En adoptant un nombre de sondes qui soit une puissance de deux, il est possible d'utiliser l'algorithme de sommation de la transformée de fourrier rapide (FFT) :

$$(3.12) \quad A_n \approx \frac{\epsilon_n}{P H_n(m_0 R)} FFT(\eta_p)$$

On mesure, sur les sondes,  $\eta_p$  l'élévation de la surface libre perturbée.

D'un point de vue pratique, on est donc amené à disposer des sondes sur un cercle centré sur l'atténuateur. Les sondes dont le nombre est une puissance de deux sont régulièrement espacées. Le rayon du cercle doit être tel que l'hypothèse de champ lointain soit vérifiée. Or, on montre que le champ évanescents devient négligeable si le rayon du cercle de mesure est supérieur à deux fois la profondeur d'eau, en supposant le rapport signal sur bruit de l'ordre de 40 dB.

### III.3 - Définition des conditions d'essais

La plaque étudiée, ainsi que les caractéristiques du milieu sont typiquement celles des atténuateurs qui ont été installés sur le site de Bac de Roda à Barcelone [6].

- Longueur : L = 24.0 m
- Largeur : l = 16.0 m
- Epaisseur : e = 2.0 m

La profondeur d'eau h est égale à 10.0 m, l'immersion moyenne d est de 1.50 m (côte supérieure de la plaque à la surface libre au repos). Les essais sont réalisés à une échelle du vingtième, pour des houles monochromatiques, d'incidences variables par rapport à la maquette. Seize sondes, régulièrement espacées, sont disposées sur un cercle, de rayon r égal à 1.72 m, centré sur la plaque.

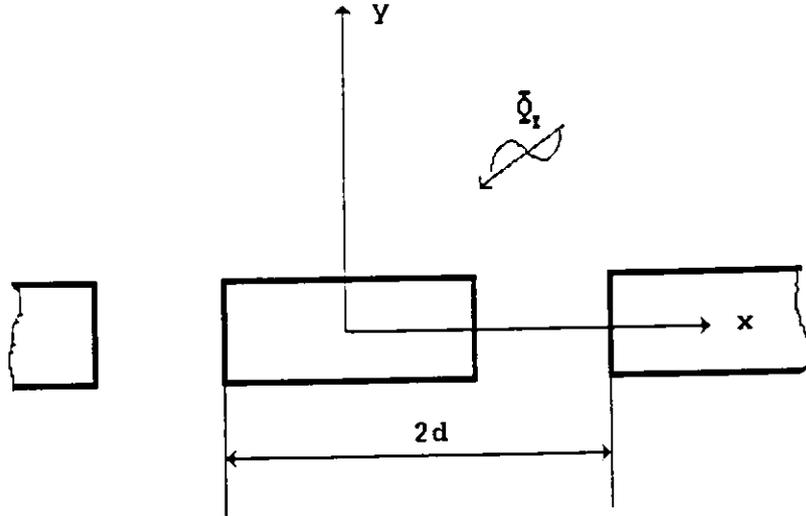
### III.4 - Résultats

Les résultats des traitements de mesures sont présentés sur les figures 1 et 2. Les facultés d'atténuation des plaques apparaissent légèrement sur ces tracés. Les facteurs d'amplifications sont inférieurs à l'unité en aval des plaques, traduisant ainsi une atténuation. Ils sont par contre supérieurs à l'unité en amont, ce qui indique une réflexion de la houle incidente.

Cependant, ces essais et surtout ce traitement numérique n'ont pas pour but de qualifier des plaques d'envergure aussi réduites dont on sait pertinemment que l'efficacité d'atténuation est insuffisante. Par contre, les valeurs des multipôles ainsi obtenues peuvent être utilisées pour identifier des matrices de transfert d'atténuateur et permettre ainsi une modélisation numérique d'un réseau de plusieurs plaques. En particulier par une méthode aux éléments finis, il est possible de considérer des sous-domaines centrés sur les atténuateurs de houle. L'interaction entre les deux milieux est obtenue en construisant un élément d'interface qui comporte tous les noeuds de la frontière. Compte tenu de la formulation variationnelle utilisée dans notre modèle PORLIN, cet élément est modélisé à partir de la relation entre les dénivelées de la surface libre et ses dérivées normales sur la frontière. La relation matricielle qui en découle peut alors être simplement identifiée à partir des résultats d'essais et du traitement qui a été exposé. En effet, grâce à celui-ci, on connaît simultanément les deux grandeurs sur la frontière fictive du sous-domaine des atténuateurs. En utilisant un ensemble de situations variées d'incidence de la houle, on est alors capable d'identifier la relation matricielle. Deux exemples d'utilisation de cet élément expérimental sont présentés sur des configurations à un (Figure 3) ou à trois atténuateurs placés sur une ligne parallèle au front de houle (Figure 4). Une comparaison avec des mesures effectuées en aval des plaques (Figure 5 et 6) montre une précision satisfaisante.

#### IV - HOLOGRAPHIE HYDRODYNAMIQUE

Le problème consiste à caractériser les champs de vagues transmis et réfléchis par un brise houle constitué d'une file périodique d'atténuateurs espacés d'une distance constante et de longueur infinie.



Configuration géométrique

##### IV.1 - Etude théorique

On suppose que les conditions sont remplies pour pouvoir admettre que les écoulements sont valablement représentés par une théorie linéarisée du potentiel. Celui-ci vérifie en particulier la condition de glissement sur chaque plaque, ce qui s'écrit :

$$(4.1) \quad \frac{\partial}{\partial n} [\Phi_I + \Phi_D] = 0$$

Le potentiel de la houle incidente pouvant s'écrire :

$$(4.2) \quad \Phi_I(x, y, z) = -a_I \frac{g}{\omega} \frac{ch[m_0(z+h)]}{ch[m_0h]} \exp[i m_0(x \cos \theta + y \sin \theta)]$$

On désire exploiter les propriétés de périodicité du réseau, en recherchant une solution générale sous la forme d'un produit de fonctions à variables séparées :

$$(4.3) \quad \Phi_D = f(x)g(y, z)$$

La condition de glissement s'exprime alors de la manière suivante :

$$(4.4) \quad \begin{aligned} & n_x f' g + f \left[ n_y \frac{\partial g}{\partial y} + n_z \frac{\partial g}{\partial z} \right] \\ &= -a_I \frac{g m_0}{\omega ch[m_0h]} \exp[i m_0(x \cos \theta + y \sin \theta)] \\ & \left[ i(n_x \cos \theta + n_y \sin \theta) ch[m_0(z+h)] + n_z sh[m_0(z+h)] \right] \end{aligned}$$

où  $n_x, n_y$  et  $n_z$  sont les cosinus directeurs de la normale au point M de la plaque. En écrivant cette même relation en un point semblable d'une plaque distante de  $n$  fois la longueur  $2d$ , on obtient une nouvelle relation qui peut être combinée avec la précédente

pour fournir finalement, après séparation des fonctions ne dépendant que de  $x$  d'une part et de  $y$  et  $z$  d'autre part :

$$(4.5) \quad \frac{n_x g(y, z)}{n_y \frac{\partial g}{\partial y} + n_z \frac{\partial g}{\partial z}} = \frac{f(x)\tau^n - f(x + 2nd)}{f'(x)\tau^n - f'(x + 2nd)} = cte$$

avec  $\tau = \exp(2im_0 d \cos\theta)$ .

En utilisant la dernière égalité et en prenant la transformée de Fourier de l'expression, on trouve, immédiatement, si  $k_x$  est le nombre d'onde :

$$(4.6) \quad \exp(ik_x 2nd) = \exp(im_0 2d \cos\theta)$$

Ce qui implique par conséquent que le nombre d'onde  $k_x$  ne peut prendre que les valeurs suivantes :

$$(4.7) \quad k_x = k_m = \frac{m\pi}{d} + m_0 \cos\theta$$

où  $m$  est un nombre entier quelconque.

Pour les mêmes raisons que celles invoquées en partie II, seule la partie propagative du champ de vague nous intéresse. La solution élémentaire du problème de propagation des ondes de gravité doit donc être recherchée sous la forme suivante :

$$(4.8) \quad \begin{aligned} \Phi_D(x, y, z) &= ch[m_0(z + h)]h(x, y) \\ h(x, y) &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} g_m(y) \exp(ik_m x) \end{aligned}$$

le nombre  $k_m$  étant défini par la relation (3.7). En reportant l'expression précédente et en utilisant l'orthogonalité de la fonction  $\exp(ik_m x)$  sur l'intervalle  $[0, 2d]$ , on obtient la relation :

$$(4.9) \quad \bar{g} + (m_0^2 - k_m^2)g = 0$$

La solution est évidente et se présente sous forme d'une exponentielle faisant intervenir le nombre d'onde  $\nu_m = (m_0^2 - k_m^2)^{\frac{1}{2}}$  dans la direction  $y$ . Suivant les valeurs prises par ce nombre, les ondes seront propagatives ( $\nu_m$  est réel) ou évanescentes ( $\nu_m$  est imaginaire). La solution se présente de la façon suivante :

$$(4.10) \quad h(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} A_m \exp(i\nu_m |y|) \exp(ik_m x)$$

$$(4.11) \quad k_m = \frac{m\pi}{d} + m_0 \cos\theta$$

$$(4.12) \quad \nu_m = (m_0^2 - k_m^2)^{\frac{1}{2}}$$

Lorsque la barrière d'atténuateur est continue, c'est-à-dire lorsqu'elle est constituée d'un seul élément, la période  $d$  tend vers l'infini. La solution dégénère pour ne plus comporter qu'un seul terme :

$$(4.13) \quad h(x, y) = A \exp(\pm im_0 y |\sin\theta|) \exp(im_0 x \cos\theta)$$

le signe de l'exposant de la première exponentielle étant déterminé par les conditions de radiation à l'infini.

## IV.2 - Rendement

D'une façon générale, la solution décrite par les équations (4.10), (4.11) et (4.12) met en évidence les différents modes de propagation des ondes. En particulier, il existe des angles d'incidence limites définissant des secteurs à l'intérieur desquels les ondes d'ordre  $m$  seront évanescentes et à l'extérieur desquels elles seront propagatives. Compte tenu des dimensions  $d$  et des nombres d'ondes  $m_0$  concernés, cette particularité n'est pas fondamentale pour la compréhension des phénomènes de transmission de la houle au-dessus des atténuateurs.

En revanche, le rendement énergétique peut être obtenu à partir des termes  $A_m$ . En effet, en calculant la puissance de la houle transmise  $\Pi_t$  à travers une surface de longueur  $2d$  et de hauteur  $h$  et en la comparant à l'énergie de la houle incidente  $\Pi_I$  traversant une même surface, on obtient :

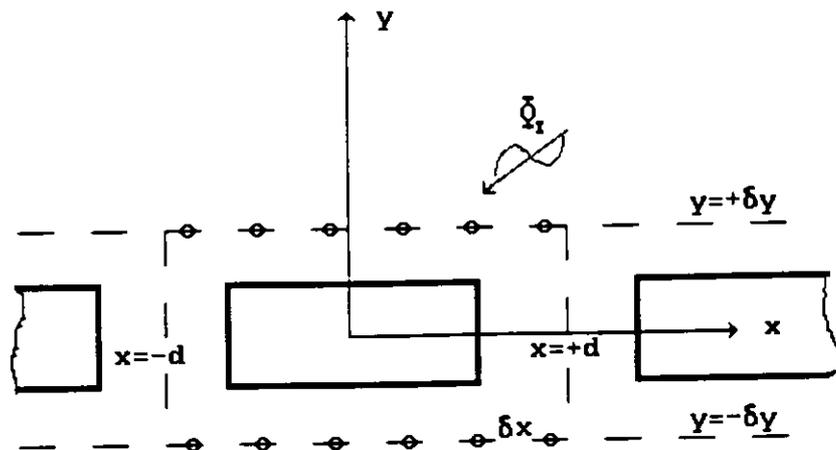
$$(4.14) \quad r = 1 - \frac{\Pi_t}{\Pi_I}$$

$$r = 1 - \sum_m \left\| \frac{A_m t}{a_I} \right\|^2 \frac{\sqrt{1 - \left(\frac{m\pi}{m_0 d} + \cos\theta\right)^2}}{\sin\theta}$$

La sommation est effectuée pour tous les nombres  $m$  tels que la quantité sous la racine carrée soit positive.

## IV.3 - Application à un système de mesures

On souhaite déterminer les caractéristiques d'une barrière d'atténuateurs à partir de mesures, en utilisant les résultats exposés précédemment. Pour cela, on dispose des sondes sur deux lignes situées de part et d'autre de la rangée d'atténuateurs :



Dispositif de mesures

Compte tenu de la formulation exposée précédemment, il est clair que le problème consiste à obtenir les valeurs des coefficients  $A_m$  à partir des mesures de l'élévation de la surface libre.

En utilisant les propriétés d'orthogonalité des fonctions en  $x$ , on obtient immédiatement la relation, pour le champ de houle transmis :

$$(4.15) \quad A_m = \frac{\exp(-i\nu_m \delta y)}{2d} \int_{-d}^{+d} \eta_p(x) \exp(-ik_m x) dx$$

où  $\eta_p$  est l'élévation de la houle sur la ligne placée en aval de la barrière. Pour le champ de houle réfléchi, on obtient une relation similaire, mais pour laquelle il est nécessaire de retrancher la contribution de la houle incidente sur les dénivelées de la surface libre mesurée. En supposant que  $\eta_p$  est connu par morceaux grâce aux P sondes, la valeur du coefficient s'explique alors par :

$$(4.16) \quad A_m = \frac{\exp(-i\nu_m \delta y)}{P} \exp[-ik_m(-d + \frac{\delta x}{2})] \sum_{p=0}^{P-1} \eta_p(x) \exp[-ik_m p \delta x]$$

Ce calcul numérique peut être effectué sans difficulté à partir des valeurs mesurées sur les sondes.

#### IV.4 - Conditions d'essais

Les essais ont été réalisés dans la cuve de génie côtier de la société OCEANIDE et correspondent à des atténuateurs dont les caractéristiques sont typiquement celles du site de Bac de Roda à Barcelone décrits au paragraphe II.4. Deux configurations sont traitées :

- l'écartement entre les plaques est égal à la largeur des plaques, soit 16 m au réel.
  - les plaques sont jointives et forment une barrière ininterrompue.
- Les mesures sont effectuées de part et d'autre des plaques par deux lignes de huit sondes limnimétriques. Par ailleurs, les caractéristiques des champs incidents-réfléchis amont et aval sont mesurées par l'intermédiaire de deux ensembles de trois sondes. Les houles incidentes sont générées pour six périodes et trois amplitudes :
- très faiblement cambrées,
  - cambrées à la limite du déferlement,
  - de cambrure moyenne.

#### IV.5 - Résultats des essais

Les résultats sont présentés sous forme de rendement des atténuateurs en fonction de la période de la houle et pour différentes cambrures et incidences de la houle.

En ce qui concerne la barrière continue d'atténuateurs, on retrouve globalement les résultats déjà obtenus par d'autres moyens numériques ou expérimentaux (Figure 7 et figure 8):

- 1 - lorsque la cambrure augmente, le rendement diminue et la période nominale tend à glisser vers des périodes plus petites.
- 2 - lorsque l'angle d'incidence de la houle augmente, le rendement diminue légèrement.

En revanche, les résultats obtenus sur la barrière discontinue sont beaucoup plus surprenants. Ils sont en effet très élevés sur une bande très large du spectre (Figure 9). De même l'évolution en fonction de l'angle de l'incidence ne laisse pas percevoir de tendance très cohérente (Figure 10). Les résultats de ces essais, traités par cette méthode, sont donc relativement suspects et sont en contradiction avec les résultats obtenus par ailleurs.

En fait, la méthode de traitement n'est pas à remettre en cause, mais plutôt sa mise en oeuvre au niveau expérimental. En effet, la précision de la méthode est fortement conditionnée par la détermination de l'onde incidente. Or la difficulté liée à l'estimation correcte de ses caractéristiques n'avait pas été perçue initialement, ce qui a conduit à utiliser un dispositif de sondes amont inadapté, particulièrement dans le cas d'une barrière discontinue. En effet, la diffraction due aux plaques, les réflexions multiples dans la cuve ainsi que les difficultés à générer une houle parfaitement monochromatique et régulière, rendent le champ de vagues entre le batteur et les plaques particulièrement complexe. La solution retenue, qui consistait à positionner trois sondes à mi-distance entre le batteur et les plaques, était donc inefficace pour obtenir avec une bonne précision l'amplitude complexe de la houle incidente.

Pour parvenir à identifier correctement les caractéristiques de l'onde incidente, il est nécessaire d'utiliser une antenne (ou réseau de sondes) à proximité de la barrière, du côté amont. Elle devrait permettre de séparer les contributions de l'onde incidente et de l'onde réfléchie. Il suffit alors de doubler la rangée des sondes limnimétriques en les écartant d'une distance égale à une fraction de longueur d'onde (comprise entre un dixième et un quart). Il est alors possible de séparer les ondes incidentes et réfléchies.

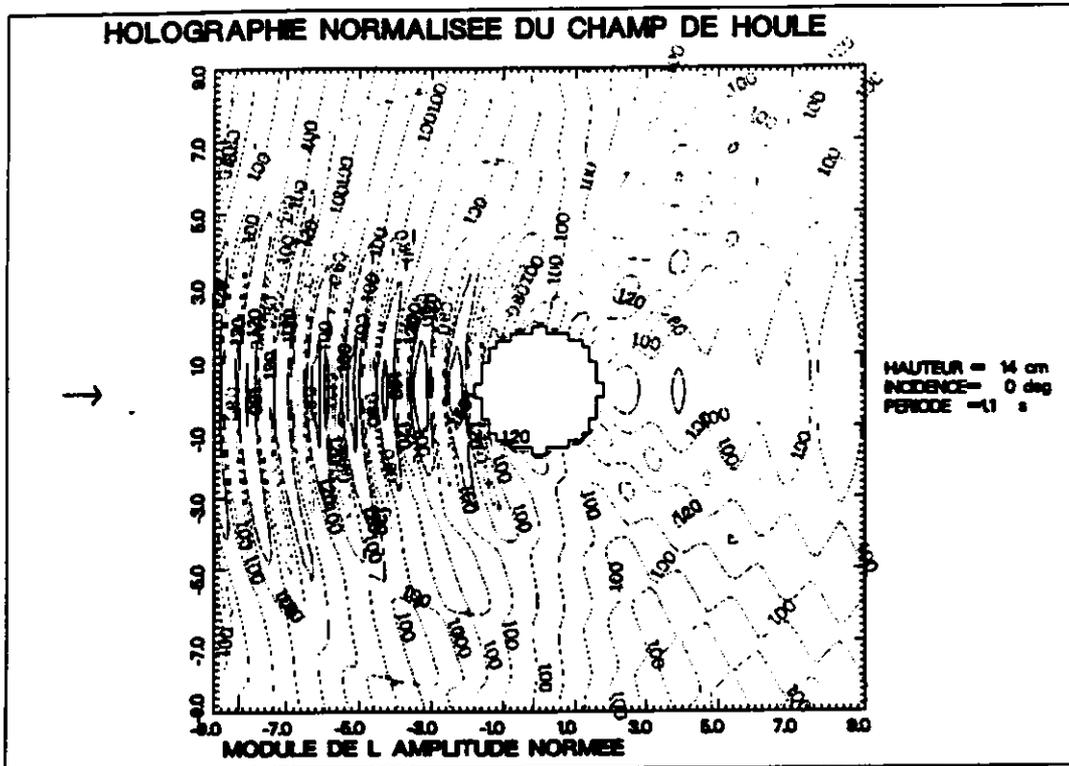
## V - CONCLUSIONS

Les deux méthodes de traitements des mesures exposées précédemment permettent, avec des moyens expérimentaux et numériques simples, de caractériser précisément les performances hydrodynamiques des atténuateurs. Ce traitement des mesures de champs de vagues permet :

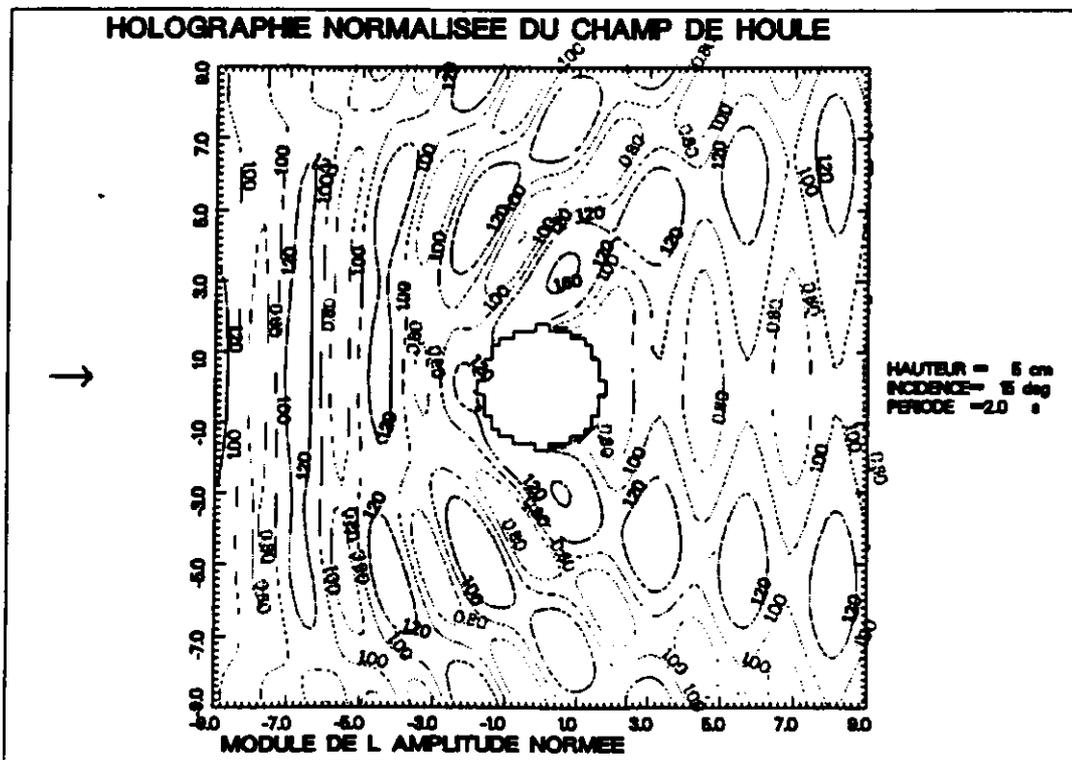
- 1 - de comprendre et interpréter les écoulements, grâce à des cartographies.
- 2 - d'obtenir des représentations simplifiées des atténuateurs ou tout autre ouvrage en mer, qui sont utilisables dans des modèles numériques de prévision de la propagation de la houle.

## VI - REFERENCES

- [1] **LANDEL, PERRIN, JOURNEAU et ROHAN**  
" Identification of series of multipoles : application to the prediction of the far field measurement "  
INTERNOISE 1988
- [2] **MAYNARD, WILLIAMS et LEE**  
" Near field holography : Theory of generalized holography and the development of NAH "  
J. Acoustic Society of America 1985
- [3] **GUEVEL, LANDEL, BOUCHET et MANZONE**  
"Le phénomène du mur d'eau oscillant et son application pour protéger un site côtier soumis à l'action de la houle"  
ATMA, 1985
- [4] **LANDEL et PRUDHOMME**  
" Présentation des atténuateurs de houles et des résultats obtenus dans le cadre des deux premières années du projet EUREKA EU394 qui leur est consacré"  
Journées Nationales Génie Côtier-Génie Civil, 1992
- [5] **BROSSARD**  
" Propagation d'une onde sur une plaque immergée  
1ère Journée Inter-Université Génie Côtier-Génie Civil  
1990
- [6] **COUDERT**  
" Les atténuateurs de houles PRINCIPIA - MONACO, Licence CFEM,  
Application au site de la Ville Olympique de Barcelone"  
2 Congresso AIOM 1989



**Figure 1 : Elévation de la surface libre autour d'un atténuateur obtenue par la méthode des multipôles**



**Figure 2 : Elévation de la surface libre autour d'un atténuateur obtenue par la méthode des multipôles**

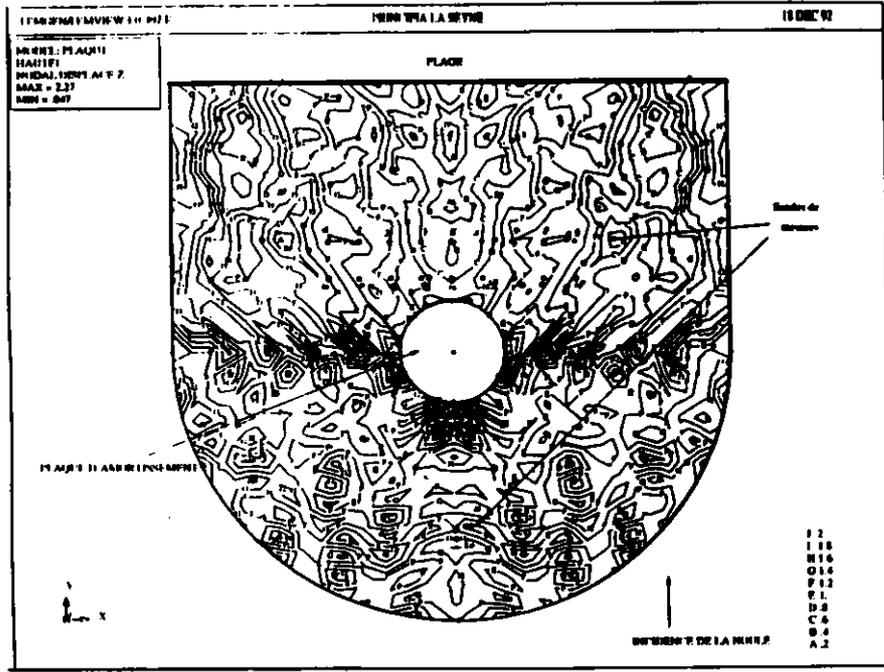


Figure 3 : Elévation de la surface libre autour d'un atténuateur obtenue par la méthode des éléments finis

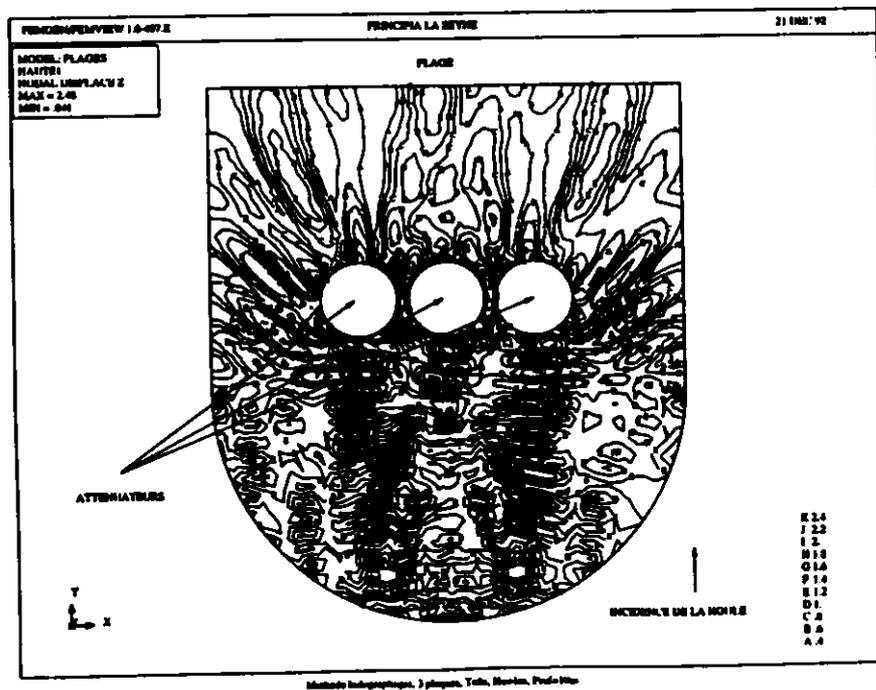


Figure 4 : Elévation de la surface libre autour de trois atténuateurs obtenue par la méthode des éléments finis

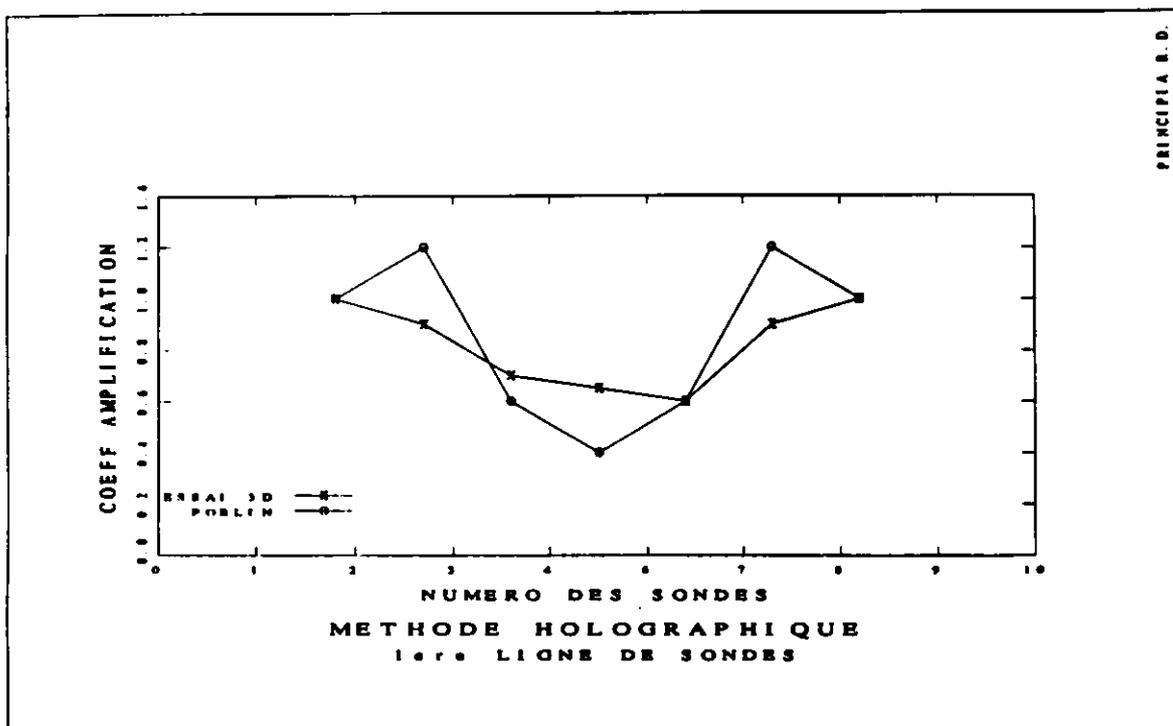


Figure 5 : Comparaison des facteurs d'amplification aux sondes de mesures

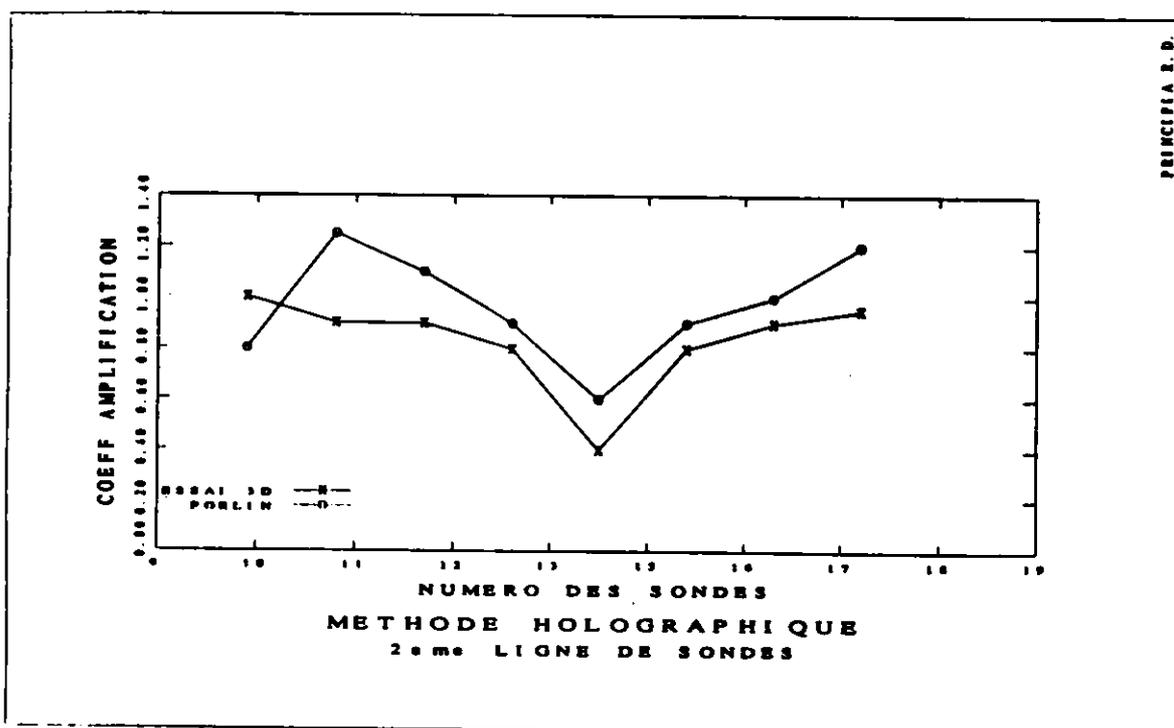


Figure 6 : Comparaison des facteurs d'amplification aux sondes de mesures

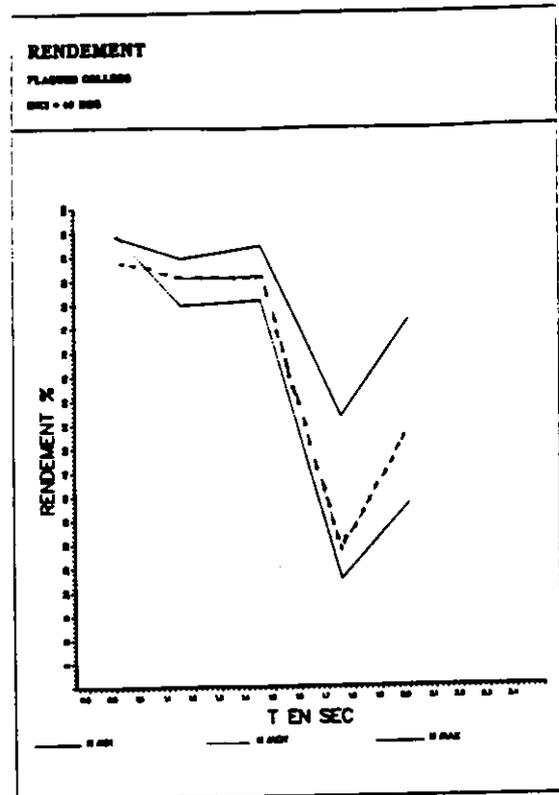
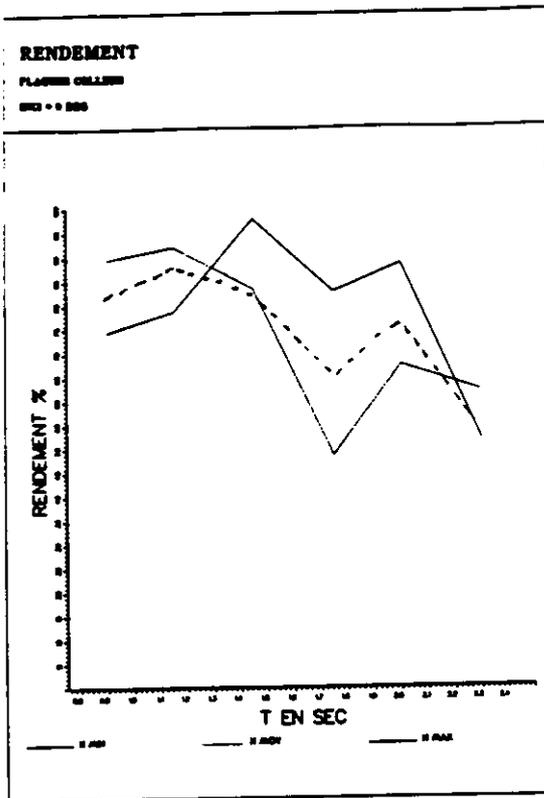


Figure 7 et 8 : Rendement d'une barrière de plaques jointives

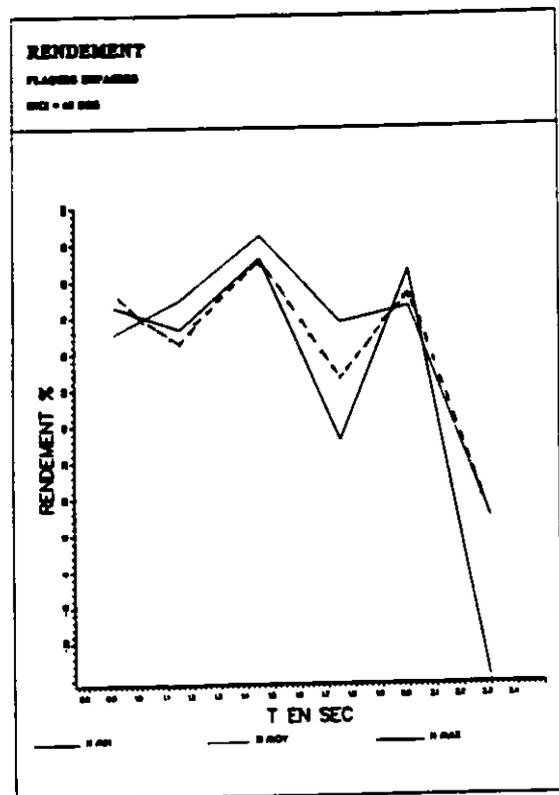
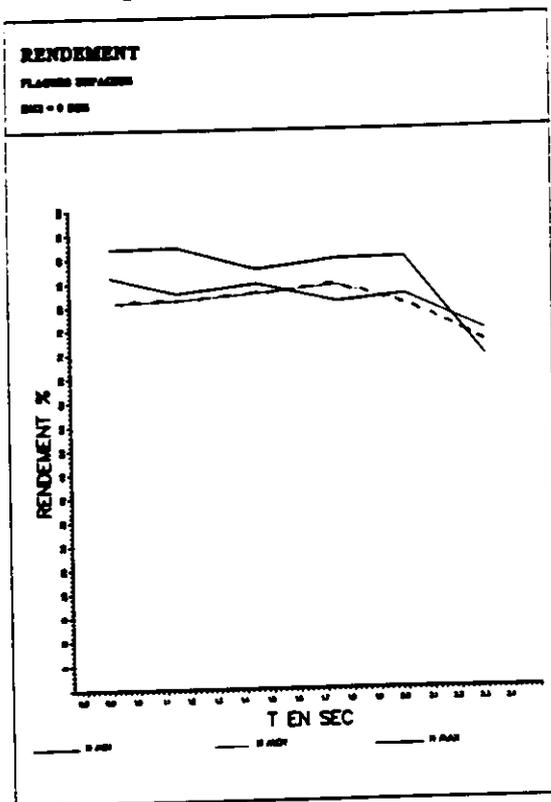


Figure 9 et 10 : Rendement d'une barrière de plaques espacées de 16 m