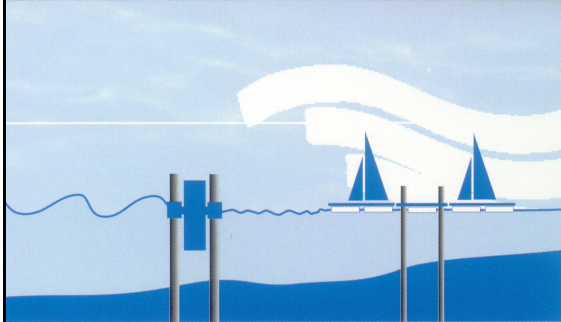


Protection des ports au moyen de structures flottantes

ATTENUATEURS DE PORTUAIRES HOULE

Equipements industriels et



COUPE

Spécialiste des équipements portuaires depuis 15 ans, la société Degaie développe depuis fin 1993 des procédés d'atténuation de houle destinés à la protection de ports et d'abris contre la houle et les clapots.

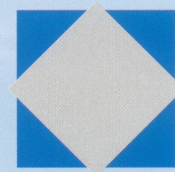
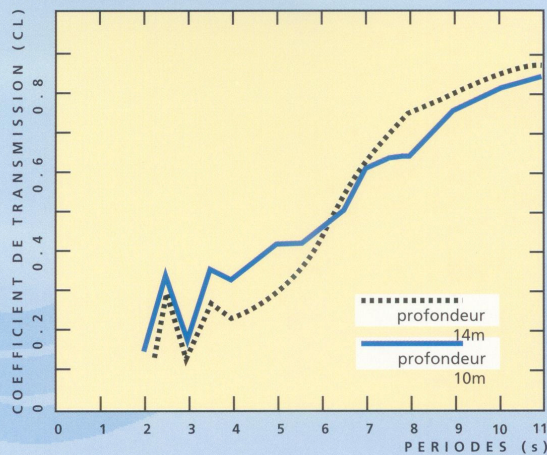
L'atténuateur de houle semi-submersible de type ASB, de faible encombrement est spécialement conçu pour générer de bonnes performances dans une gamme de périodes allant jusqu'à 7 ou 8 secondes et aussi pour suivre les marées.

Pour obtenir ces caractéristiques, l'ASB exploite comme le font certains types de générateurs de houle, les propriétés ondulatoires en s'affranchissant le mieux possible de la contrainte qu'impose le rapport entre la longueur d'onde et ses dimensions transversales.

Il doit permettre de réaliser, de manière réversible (à usage permanent, saisonnier ou provisoire), dans des mers avec ou sans marées ainsi qu'à moindre coût, des améliorations d'abris naturels ou d'abris artificiels (existant ou non) et de contribuer ainsi à la possibilité de création de ports artificiels et marinas.

La première gamme de modules ASB a été mise au point lors de la campagne d'essais réalisée en Janvier 1995 au Laboratoire Nationale d'Hydrodynamique de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF à Chatou.

Première installation début 1996.



DEGAIE

97, Route de Bavay B.P. 5
59138 Pont sur Sambre - France
Tél. : (33) 03.27.53.61.10
Fax : (33) 03.27.53.61.19

Sommaire

1. Introduction

2. Aspects techniques à étudier

2.1. L'expression du besoin

2.1.1. Connaissance du site

2.1.2. Expression du besoin du client

2.1.3. Définition des performances hydromécaniques attendues

2.1.4. Expression des contraintes de réalisation

2.1.5. Choix motivé du système de protection

2.1.6. Échantillonnage des brise-lames

2.1.7. Implantation des brise-lames sur le site

2.1.8. Etude de l'ancrage

2.1.9. Evaluation de l'impact écologique des brise-lames

2.1.10. Etude de la sécurité

2.2- Documents nécessaires

3. Une solution originale : l'atténuateur de houle ASB

3.1. Fonctionnement

3.2. Adaptation au site

3.3. Caractéristiques géométriques de l'ASB 5000

4. Conclusion

1. Introduction

Depuis 1995, la société Degaie S.A. développe, en collaboration avec le Cabinet Conseil Jean Bougis, un procédé d'atténuation de houle destiné à la protection de ports et d'abris contre la houle et les clapots.

Les études théoriques, numériques et expérimentales que nous avons mené, ont permis de valider le concept d'atténuateur semi-submersible fondé sur le principe du batteur à houle et d'en déterminer un mode de réalisation sous la forme de l'ASB.

Ainsi, la société Degaie S.A. est désormais en mesure de proposer à ses clients des gammes de produits destinés à la protection de sites côtiers contre la houle (brise-lames, atténuateurs, pontons lourds...).

Ce document présente la synthèse de l'approche méthodologique pour la réalisation des études de ce type de protection.

2. Aspects techniques à étudier

L'objectif de ce chapitre est de faire le point sur les différents aspects des problèmes techniques qu'il est nécessaire d'étudier pour pouvoir réaliser la protection anti-houle d'un site côtier.

1.1. Expression du besoin

La première étape concerne bien évidemment l'expression du besoin. Elle se décompose en quatre parties :

- la connaissance du site
- l'expression du besoin du client final,
- la définition des performances hydromécaniques attendues,
- l'expression des contraintes de réalisation.

1.1.1. Connaissance du site

Il est tout d'abord nécessaire de connaître des conditions d'environnement du site à protéger. ce qui inclut :

- La connaissance géographique des lieux (examen des cartes terrestres et des photographies aériennes ou terrestres, visites, recueils d'informations auprès des responsables et /ou des utilisateurs locaux, relevés et mesures in situ.
- La connaissance bathymétrie de la zone à protéger et de la zone d'approche (examen des cartes bathymétriques du service Hydrographique de la Marine et /ou de l'institut Géographique National, sondages locaux, plans de dragage...).

- La connaissance des conditions météorologiques concernant les vents, la houle et les courants et les spectres associés (examen des documents disponibles et recueils d'informations auprès des services de l'équipement et/ou des responsables et des utilisateurs locaux, recours éventuels aux services de sociétés spécialisées...).
- La connaissance des caractéristiques sédimentologiques du site et de ses environs (types et caractéristiques des sédiments, conditions et ampleur du transport (types et caractéristiques des sédiments, conditions et ampleur du transport littoral...) (examen des documents disponibles et recueils d'informations auprès des services de l'Equipement et/ou des responsables et des utilisateurs locaux, prélèvements et recours éventuels aux services de laboratoires spécialisés...).
- La connaissance des projets d'aménagement en cours et à venir de la zone concernée et de son voisinage (examen des documents disponibles et recueils d'informations auprès des responsables locaux).

Cette phase doit permettre d'établir les données objectives nécessaires pour le bon déroulement de l'étude, compte tenu du niveau de la précision demandée et des contraintes financières imposées.

Pour les projets relatifs à des sites de faibles étendues, les dimensions du site par rapport à l'ouverture des cartes marines disponibles et l'évolution des fonds marins due à l'ensablement, peuvent rendre nécessaire la réalisation de relevés bathymétriques locaux.

1.1.2. Expression du besoin du Client final

Il convient, afin de bien dimensionner le projet, d'avoir une idée la plus précise possible du Client final et des utilisateurs du site.

En effet, comme il n'existe pas de protection parfaite, il est indispensable, pour satisfaire le client et les utilisateurs du site, de bien analyser leur besoin fonctionnel, les points d'insatisfaction actuels et leurs attentes. En contre partie, il convient également d'identifier les degrés de liberté qui seront utilisables sans dommage ou inconvénient pour le Client final et les utilisateurs, afin de ne pas créer de contraintes inutiles qui engendreraient des surcoûts.

1.1.3. Définition des performances hydromécaniques attendues

Une fois achevées les deux premières parties de la première étape, il est possible de définir les performances hydrodynamiques et mécaniques du système d'atténuation de houle.

1.1.4. Expression des contraintes de réalisation

La réalisation du système de protection induit des contraintes de conception, de fabrication, de transport et d qui ont un impact sur les dimensions des modules, sur leur poids et sur le coût global. Il convient de bien analyser ces contraintes avant la phase «étude et de mise au point de la solution.

1.1.5. Choix motivé du système de protection

En fonction :

- du site et des conditions d'environnement (géographiques, bathymétriques, climatiques) globales,
- des objectifs techniques en termes de houles résiduelles et/ou d'ensablement,
- des objectifs économiques en termes de budgets disponibles pour les études et la réalisation du projet,

il convient de choisir le système de protection le mieux adapté. Il peut s'agir d'atténuateurs de houles (ASB 5000 par de pontons lourds, ou de tout type de brise-clapots.

Il est également possible de réaliser le développement d'un brise-lames nouveau en fonction des contraintes particulières du site. Cependant, les coûts de développement conduisent à réserver cette démarche aux projets ayant un minimum d'envergure.

Il convient toutefois, en fonction des données objectives, d'argumenter et de justifier ce choix par rapport aux avantages et aux inconvénients qu'il apporte comparativement à d'autres procédés possibles.

1.1.6. Echantillonnage des brise-lames

Il s'agit à cette étape, de dimensionner et d'échantillonner le brise-lames.

Le dimensionnement consiste à définir le profil et la section de l'ouvrage. Il a un impact immédiat sur le mètre et sur la complexité de mise en oeuvre et donc sur le coût du brise-lames.

Pour les atténuateurs et les brise-lames flottants, l'étude du système de protection se décompose en trois parties.

L'étude hydrodynamique paramétrique bidimensionnelle.

Cette phase consiste à réaliser des calculs de rendement hydrodynamique en faisant varier les différentes dimensions des modules atténuateurs (largeur, hauteurs, épaisseur des plaques...), la masse des modules et sa répartition, afin de déterminer les caractéristiques les mieux adaptées au problème à résoudre. Cette étude doit également tenir compte des amortissements et des raideurs des ancrages qu'il conviendra ensuite de réaliser dans le cadre de l'étude d'ancrage. Les déplacements

des modules doivent être analysés avec soin pour détecter d'éventuelles résonances hydrodynamiques ou mécaniques. Les aspects multi-fréquentiels liés aux houles irrégulières (spectres) doivent éventuellement être regardés, ainsi que leurs conséquences sur la tenue des systèmes d'amarrage (excitation basse fréquence). Cette partie de l'étude est réalisée en mettant en oeuvre un programme de tenue à la mer des structures bidimensionnelles Linéaires (écoulement dans le plan vertical), mais en tenant compte éventuellement de certaines non linéarités dans l'équation de la mécanique (hydrostatique amortissements....).

L'étude des effets hydrodynamiques tridimensionnels.

Bien que les atténuateurs et brise-lames aient des caractéristiques essentiellement bidimensionnelles, certains effets tridimensionnels doivent être regardés. Ces effets concernent principalement les points suivants :

- Le comportement hydromécanique et le rendement du procédé lorsqu'il est soumis à l'action de houles obliques, voir parallèles, et leurs conséquences sur les liaisons entre modules associés en parallèle (efforts et déplacements).
- Les effets de bord aux extrémités des rangées d'atténuateurs et leurs conséquences sur les ancrages.
- Les effets de bord entre les extrémités des atténuateurs associés en parallèle en fonction de la distance qui les sépare et leurs conséquences sur les liaisons entre les modules. Cette partie de l'étude est réalisée en mettant en oeuvre un programme de tenue à la mer des structures tridimensionnelles linéaires, mais en tenant compte éventuellement de certaines non linéarités dans l'équation de la mécanique (hydrostatique, amortissements,...).

L'étude structurelle et l'échantillonnage.

Le dimensionnement fonctionnel des modules d'atténuateurs étant effectué, il convient ensuite de réaliser leur étude structurelle. Cette étude s'appuie sur les résultats de l'étude hydrodynamique qui fournit les efforts dans les modules en fonction de la houle incidente (période, hauteur crête à creux, incidence), ainsi que les déplacements des modules. L'échantillonnage de l'ensemble du module relève des règles de résistance des matériaux habituellement mises en oeuvre par les bureaux d'études des constructeurs. Toutefois, en ce qui concerne les organes de liaison entre les modules, la conception et l'échantillonnage peuvent être guidés par des calculs de structure.

1.1.7. Implantation des brise-lames sur le site

Lorsque le système de protection est intrinsèquement défini, il faut étudier sa mise en place. Où et comment le brise-lames doit-il être disposé pour obtenir les effets de protection désirés, sans pour autant gêner l'utilisation du plan d'eau, ni son accès ? Quelle longueur faut-il lui donner ?

Il faut également vérifier que l'effet obtenu, compte tenu de la bathymétrie et des limites existantes ou à venir (digues, plages,..) est bien celui qui était escompté.

Pour cela, un modèle d'agitation portuaire linéaire est mis en oeuvre, dans lequel il est possible de tenir compte de Faction des atténuateurs et brise-lames. Cette étude est généralement effectuée pour deux profondeurs :

- La plus petite possible à marée basse sans surcote.
- La plus grande possible à marée haute avec surcote.

Pour les zones à fort marnage, une profondeur intermédiaire doit être étudiée, éventuellement à la place de la plus petite profondeur d'eau.

Si nécessaire, les brise-lames sont disposés selon différentes positions, et pour chaque position deux longueurs différentes sont étudiées.

Pour chaque configuration, 3 à 5 incidences et une douzaine de périodes au moins (en fonction du spectre de houle à prendre en compte) sont calculées.

Une fois effectuée les études théoriques et numériques, il peut lorsque l'envergure du projet le permet ou que sa complexité l'exige, être utile de confirmer les résultats ainsi obtenus en les soumettant à la vérification expérimentale.

Ainsi, bien que, pour des raisons de coûts, des essais spécifiques d'implantation des atténuateurs ou brise-lames ne soient pas initialement envisagés, ils peuvent s'avérer utiles ou nécessaires.

Toutefois, les échelles des modèles de génie côtier étant généralement de l'ordre du 1/100^{ème}, les performances intrinsèques des atténuateurs ou des brises lames flottants ne sont pas représentées dans de très bonnes conditions de similitude.

Lors des essais d'implantation, les effets non linéaires d'agitation, qui ont par exemple échappé aux calculs hydrodynamiques, peuvent être recherchés.

1.1.8. Etude des ancrages

Les caractéristiques du système de protection contre la houle et de son implantation étant définie, il reste, dans le cas d'atténuateurs ou de brise-lames flottants, à étudier l'ancrage pour que puissent être réalisées les conditions de raideur souhaitées, et ce, dans des conditions générales de tenue satisfaisantes.

En particulier, la solution retenue doit pouvoir empêcher des débattements des atténuateurs trop importants, afin de laisser libres les éventuels chenaux d'accès. A priori, la solution à retenir peut consister soit en un ancrage sur pieux, soit en un ancrage sur chaînes et corps morts.

Le nombre et la disposition des lignes d'ancrage doivent être étudiés pour que le système reste en place pour les différentes conditions de houle, de vent et de courant, et ce. dans toutes les directions.

1.1.9 **Évaluation de l'impact écologique des brise-lames**

Une fois réalisée l'étude de l'ensemble du système, il faut s'assurer que sa mise en place ne présente pas d'inconvénient rédhibitoire pour l'environnement.

En particulier, une fois les résultats en terme « agitation résiduelle obtenus, il peut être possible d'évaluer l'impact du brise-lames sur l'ensablement du site, tout au moins lorsque les sédiments sont non cohésifs et le système des courants est suffisamment bien connu et n'est pas trop complexe.

Il convient, en outre, de remarquer que la houle est le principal moteur du transport littoral, et que l'abaissement du niveau d'agitation est de nature à limiter la mise en suspension des sédiments et à favoriser leur redéposition. Naturellement la complexité des phénomènes physiques est telle que le contrôle de l'agitation résiduelle n'est pas suffisant pour prédire de manière précise et fiable le comportement sédimentaire du site.

Lorsque cela est possible, l'impact du brise-lames sur l'ensablement est tout de même évalué à partir de grandeurs caractéristiques globales dépendant des vitesses de chute des sédiments et de la capacité des houles résiduelles et des courants à les mettre en suspension et à les transporter.

La criticité de ce point dépend évidemment de la nature du site (plage, baie, port...)

1.1.10 **Étude de la sécurité**

Le système de protection doit être capable de remplir sa mission d'atténuateur de houle dans les conditions fixées dans le cahier des charges fonctionnelles.

Pour des conditions de houle et de vent et de courant sortant de la plage de fonctionnement, il n'est plus demandé au système de fonctionner avec un bon rendement, mais simplement de résister sans dommage pour lui même et pour les autres installations Il convient donc de s'assurer que le système pourra résister aux tempêtes sans dériver ni se ruiner.

1.2. **Documents nécessaires**

Les documents nécessaires pour entreprendre cette étude concernent l'ensemble des données et caractéristiques du site. Ils sont les suivants :

- Les plans du site incluant :
 - les formes en plan des aménagements du site (plan, topographie, ...),
 - les lignes bathymétriques ou sondes par rapport à une référence connue (coordonnées Lambert par exemple),
 - la nature des plages, des berges, digues, et parois.
- Une carte marine des abords du site (SHOM).

- Les conditions de mer à prendre en compte (hauteurs, périodes, directions, spectres ...).
- les conditions de courant à prendre en compte (vitesses, directions,...)
- Les conditions de vent à prendre en compte (vitesses, directions, spectres ...)
- Les plans de réfraction et de diffraction existants, et de manière générales les différents documents disponibles concernant le site à étudier et les conditions de mer locales.
- Les caractéristiques sédimentologiques du site et de ses environs (types et caractéristiques des sédiments, conditions et ampleur du transport du littoral...).
- Les performances attendues sur l'ensemble de la zone à protéger, en terme d'atténuation ou de transmission.
- Les conditions particulières du site, s'il y a lieu.

3. Une solution originale l'atténuateur de houle ASB

La barrière de protection est constituée d'atténuateurs de houle de type ASB Ce paragraphe se décompose en 3 parties:

- le fonctionnement,
- l'adaptation au site
- les caractéristiques géométriques de l'ASB-5000

3.1. Le fonctionnement

L'ASB exploite les propriétés ondulatoires de la houle en s'affranchissant le mieux possible de la contrainte qu'impose le rapport entre la longueur d'onde et ses dimensions transversales.

En effet, l'efficacité de la quasi-totalité des dispositifs connue est fonction de ce rapport: Leurs performances chutent très rapidement lorsque ce dernier croît, les limitant généralement à l'usage de brise clapots (atténuation de 0.5 jusqu'à 3 et négligeable au-delà).

L'ASB a donc été conçu pour exploiter les principes qui sont mis en oeuvre lors de la génération de houle dans un bassin.

En effet, pour peu que les formes et la cinématique du générateur soient favorables, il devient possible de faire naître une houle de longueur d'onde liée essentiellement à la période d'oscillation du batteur.

Ainsi le générateur ne dépend plus que de manière indirecte, par le biais de la fonction de transfert, de ces dimensions géométriques. Il est ainsi théoriquement possible de créer un atténuateur de houle passif qui engendre un clapot pur en amont et le calme plat en aval à condition qu'il soit possible :

- De prélever sur l'énergie véhiculée par la houle incidente, l'énergie nécessaire au fonctionnement d'un générateur de houle,

- D'engendrer vers l'aval une houle de même amplitude en opposition de phase avec la houle incidente.

Naturellement, même si la satisfaction totale et simultanée de ces deux conditions paraît relever de l'utopie, il reste possible de s'en approcher suffisamment pour permettre d'obtenir, sur une gamme de période assez large, un coefficient de transmission assez faible pour présenter un intérêt digne d'une application industrielle.

L'énergie essentiellement ondulatoire de la houle incidente amont est alors partiellement transmise en aval, partiellement réfléchi vers l'amont et partiellement dissipée.

Pour un bon fonctionnement de l'ASB, il est impératif de fixer les rotations et de laisser libre seulement le mouvement vertical.

De plus, on peut noter que les performances de l'ASB sont particulièrement attractives pour les petites périodes (inférieures à 6 ou 7 secondes) et sont non négligeables pour des périodes plus grandes (au-delà de 7 ou 8 secondes). (Voir courbe sur fiche de présentation)

3.2. Adaptation au site

Pour de nombreuses raisons scientifiques et techniques, des essais bidimensionnels en canal à houle (à une échelle assez grande: au moins le 1) sont indispensables pour la mise au point définitive d'un module atténuateur de houles (géométrie, masse, inerties) et la détermination de ses performances nominales (rendement, mouvements et efforts de liaisons).

Les dimensions géométriques caractéristiques de chaque gamme d'atténuateurs sont définies en fonction d'un certain nombre de grandeurs hydrodynamiques caractéristiques du site, à savoir :

- la profondeur d'eau h ,
- la hauteur (crête à creux) H , de la houle,
- la longueur d'onde λ (ou la période T) de la houle.

Les essais en bassin d'une maquette donnée sont réalisés pour différentes valeurs des paramètres h , H , et λ . Dans ces conditions, chaque essai définit non pas un atténuateur pour un site donné, mais une famille d'atténuateurs correspondant à une famille de sites pour lesquels les essais respectent une échelle donnée ou en sont suffisamment proches.

La première gamme de modules ASB a été mise au point lors de la campagne d'essais réalisée en Janvier 1995 au Laboratoire National d'Hydrodynamique de la Direction des Etudes et Recherches d'EDF à Chatou.

La première installation a été réalisée dans le port de plaisance de Dieppe en septembre 1996. La deuxième sera installée pendant l'hiver 2003-2004 à Nuisement sur le Lac du Der en Champagne.

3.3. Caractéristiques géométrique de l'ASB 5000

Les caractéristiques géométriques de l'ASB-5000 sont les suivantes:

- longueur : 12.00 m
- largeur : 5.00 m
- tirant d'eau : 3.35 m
- tirant d'air : 1.50 m

Il est ancré sur des pieux avec deux colliers guides par pieux pour empêcher les rotations.

4. Conclusion

La première étape consiste à définir le cahier des charges. Ce n'est qu'ensuite, que le type de protection la plus adéquate au besoin du client sera défini : ponton lourd, ASB. Enfin, le dimensionnement géométrique et l'échantillonnage structurel pourront être étudiés.