



# PROJET MAST II-WAVEMOD : «PROBABILISTIC METHODOLOGY FOR COASTAL SITE INVESTIGATION BASED ON STOCHASTIC MODELLING OF WAVES AND CURRENTS»

M. PREVOSTO et M. PAILLARD  
IFREMER, BP 70, 29280 PLOUZANÉ

## **Abstract**

*The objective of the WAVEMOD project is to elaborate a probabilistic methodology for coastal site investigation. This type of methodology allows one to integrate in a mathematical model more complex or irregular phenomena through a combination of the knowledge of physical phenomena and of their actual observations.*

*The development of such models for coastal engineering problems is much more complicated than in offshore cases. The vicinity of coast and the shallow water situation complicate the wave models with problems like non-linearities or multiplicity of wave and current components.*

*The probabilistic approach to handle the design parameters for coastal engineering problems, the development of the stochastic models of waves and current parameters, the integration of existing data with new measurements and with mathematical models are the main innovations of the project.*

*The two instrumentations which have been deployed for the scope of the project are described.*

## **1. INTRODUCTION**

La démarche classiquement suivie pour une étude de site côtier est une démarche déterministe (aucun aléa n'intervient entre la cause et l'effet). En complément de simulations par modèle physique, des calculs numériques sont effectués qui s'appuient sur une modélisation mathématique des phénomènes physiques.

Cette méthodologie permet l'analyse de quelques situations caractéristiques et fournit à l'ingénieur un jeu de grandeurs auxquelles il s'intéresse. Cependant celui-ci se trouve sans information probabiliste (variabilité, probabilité d'un événement) sur ces grandeurs dimensionnantes qui lui permettrait d'évaluer le «risque» associé au choix d'un design ou à une stratégie de protection de l'environnement.

Les méthodes probabilistes permettent d'intégrer dans un modèle mathématique des phénomènes plus complexes à travers la connaissance des phénomènes physiques et de leur observation en vraie grandeur. Ces méthodes sont déjà utilisées avec succès pour le dimensionnement de structures offshore.

Le développement de tels modèles en zone côtière ne va pas sans difficultés. En effet, dans ce cas, la proximité de la côte et la faible profondeur d'eau complexifient les modèles de propagation des vagues et le courant peut être un phénomène important par son action directe et son interaction avec les vagues. Ainsi, plus qu'en offshore la non linéarité, la variabilité spatiale, les houles multiples et les effets du courant doivent être pris en compte.

L'objectif du projet MAST II -WAVEMOD- est d'améliorer les modèles statistiques de représentation et de prévision à court terme (à l'échelle de l'heure), à moyen terme (à l'échelle de la semaine) et à long terme (à l'échelle de l'année) en intégrant dans leur construction des données de mesure (satellites, bouées offshore, houles, vents et courants côtiers) et des résultats de simulations numériques par ordinateur.

## **2. CONDITIONS EXTRÊMES OFFSHORE - CONDITIONS EXTRÊMES CÔTIÈRES**

Afin de construire des statistiques d'état de mer offshore, on dispose de plusieurs alternatives pour alimenter la base de données propre au site étudié : bases de données existantes (atlas observations navires, mesures satellitaires, instrumentation antérieure), modèles de hindcast, campagnes de mesures spécifiques. La prédiction de valeurs extrêmes se fait par extrapolation sur le paramètre  $H_s$ , le passage à d'autres caractéristiques de l'état de mer se faisant, soit pour le  $H_{max}$  par modèle de loi conditionnelle, soit pour le spectre directionnel par équivalence avec le spectre directionnel connu pour un  $H_s$  fort de la base de donnée.

Lorsque se pose un tel problème de prévision de conditions extrêmes à la côte, les bases de données locales sont très pauvres, voire inexistantes (pas de statistiques navires, décrochage des altimètres satellitaires, données de modèle de hindcast sur des grilles trop larges). Le coût de campagnes de mesure spécifiques est démesuré au regard des budgets des projets d'ingénierie demandeurs et les mois de mesures nécessaires pour une bonne extrapolation sur les durées de vie des ouvrages ne sont pas compatibles avec les délais de développement.

La démarche peut être alors d'utiliser les informations sur les zones climatologiques offshore génératrices de conditions extrêmes à la côte pour propager les états de mer extrêmes vers le site côtier.

Trois remarques peuvent être faites sur une telle démarche :

- d'une part l'hypothèse très forte de considérer qu'à une condition extrême à la côte correspond une condition extrême au large, est prise sans considération de l'influence de la directionnalité de l'état de mer, de phénomènes locaux au site comme le vent ou le courant.

- d'autre part les méthodes de propagation de mer réelle sont des méthodes spectrales et l'accès à d'autres caractéristiques de l'état de mer à la côte à travers la connaissance du spectre passe par des hypothèses de gaussianité (utilisées en offshore) qui ne sont pas vérifiées en faible profondeur.

- en dernier lieu, les méthodes de propagation s'appuient sur des coefficients empiriques (friction sur le fond, déferlement) qui doivent être ajustés au site étudié.

La mise en oeuvre d'une instrumentation spécifique sur des durées plus réduites que celles imposées par les méthodes d'extrapolation permettra dans le cadre de la méthodologie proposée de répondre à ces différents points.

### 3. DESCRIPTION DU PROJET

Le projet WAVEMOD a pour objectif de développer les modèles statistiques descriptifs d'un état de mer à la côte, d'étudier une méthodologie de prédiction des valeurs extrêmes des paramètres de ces modèles et de proposer une démarche à suivre (types de données, modèles numériques et statistiques à utiliser, durée et organisation de campagnes spécifiques) pour une étude de site côtier.

Le projet est divisé en quatre sous-projets :

- Sélection de sites atelier, instrumentation et constitution d'une base de données.
- Modèles statistiques court terme.
- Modèles statistiques long terme.
- Méthodologie d'étude de site.

#### 3.1. Sélection de sites atelier, instrumentation et constitution d'une base de données

##### 3.1.1. Sélection de sites atelier, instrumentation

Deux sites atelier ont été retenus, l'un en Atlantique sur le littoral portugais, le second, en Méditerranée sur le littoral crétois. Ces deux sites sont différents suivant plusieurs aspects (voir fig. 1 et 2).

Le site portugais, avec une bathymétrie à pente relativement faible (~3.0 %) est principalement exposé aux houles du large (ouest) avec des Hs max de l'ordre de 8 m à 10 m. On rencontre sur ce site un courant de marée modéré. Les conditions de mer dimensionnantes sont principalement hivernales.

Le site crétois, à pente beaucoup plus importante (~2.5%) est essentiellement exposé aux houles générées par les différents régimes de vents locaux (ouest et nord) ou provenant de zones dépressionnaires. Les climatologies estivales et hivernales sont très différentes mais engendrent des conditions de mer tout aussi dimensionnantes (Hs max d'environ 4 m). Les courants locaux sont essentiellement générés par le vent, le mouvement général de la masse d'eau dans cette région étant très faible.

Ces deux sites ont été choisis de bathymétrie assez simple, ce qui permet d'éviter des phénomènes importants de diffraction ou de réflexion qui ne seraient pas pris en compte dans les méthodes de propagation utilisées.

Les deux instrumentations déployées sont assez similaires avec, dans les deux cas, trois bouées DATAWELL dont deux directionnelles, l'une offshore et l'autre sur les plus faibles fonds. L'instrumentation du site grec est complétée par deux courantomètres AANDERAA auprès des bouées les plus au large et un

courantomètre S4 DW sur les fonds de 10 m. De plus une station météo à terre recueille les données de vent et de pression atmosphérique.

La campagne de mesure sur la côte portugaise a débuté mi-octobre 1993 pour une durée de six mois; sur la côte crétoise l'instrumentation a été installée les tous premiers jours du mois de février 1994 pour une durée de neuf mois couvrant ainsi la deuxième partie de l'hiver et la période estivale.

Les données mémorisées sont les informations spectrales directionnelles ou non directionnelles avec en plus, dans le cas de l'instrumentation grecque, toutes les séries temporelles correspondantes.

##### 3.1.2. Constitution d'une base de données

Les données disponibles utiles pour l'étude des deux sites seront répertoriées et collectées. L'utilisation des données satellitaires sera étudiée comme moyen d'information sur les zones offshore mais aussi comme information sur l'évolution du champ de houle en côtier (mode image du SAR d'ERS1). Les modèles de hindcast, de propagation et de circulation seront calibrés et utilisés pour produire des données complémentaires aux données mesurées.

#### 3.2. Modèles court terme

A partir des données recueillies, des modèles statistiques adaptés à la représentation d'un état de mer en côtier seront étudiés :

- formulation analytique de densités spectrales de l'élévation, ponctuelle ou directionnelle.
- prise en compte du caractère fortement non-linéaire de la houle dans le modèle statistique du processus élévation.
- étude des modèles de lois jointes entre les différents paramètres (Hs, Hmax, cambrure, non-linéarité, vent, courant).

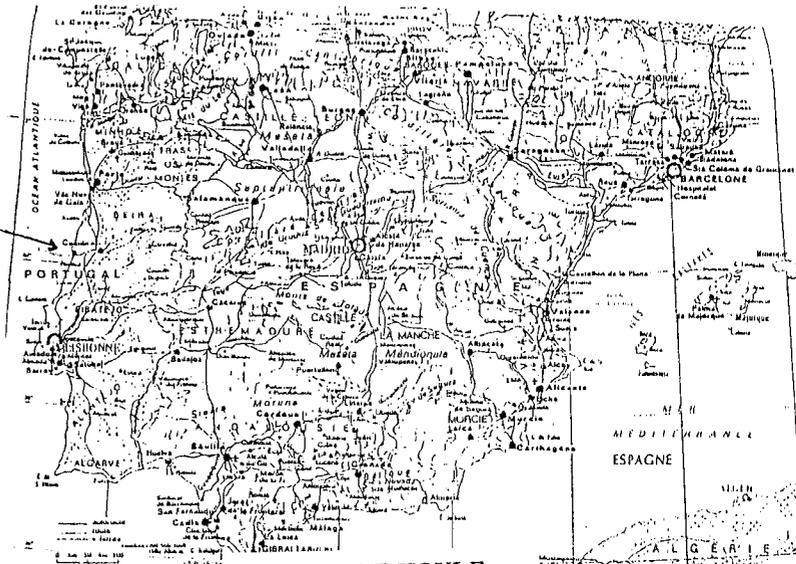
#### 3.3. Modèles long terme

- moyen terme : étude de modèles décrivant l'évolution des états de mer (tempête, accalmie).
- méthodes d'extrapolation : amélioration des méthodes d'extrapolation prenant en compte les variabilités saisonnières et des tendances à plus long terme. Introduction de distributions jointes (Tz, paramètre de directionnalité) dans la procédure d'extrapolation.

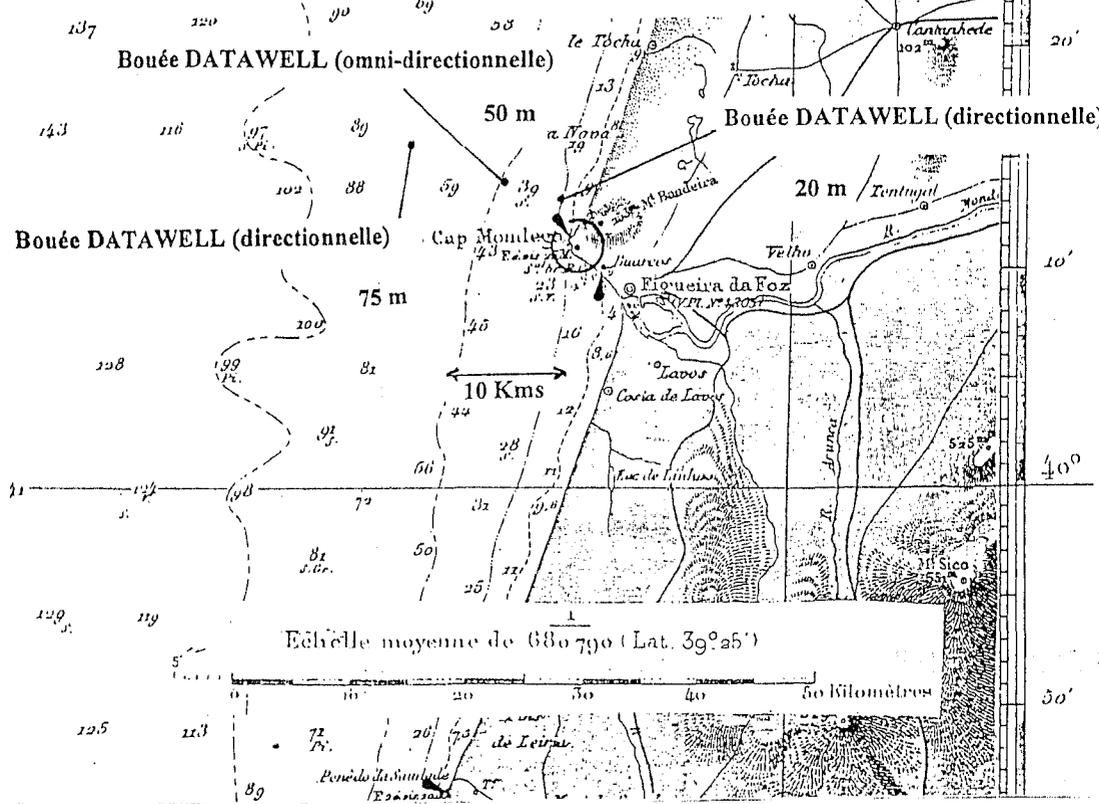
#### 3.4. Méthodologie d'étude de site

L'expérience développée en construisant les bases de données, en utilisant les informations issues de différentes sources et en étudiant l'influence de leur imprécision sur les caractéristiques étudiées permettra d'améliorer la démarche qui consiste à propager les conditions offshore extrêmes à la côte. Une méthodologie sera proposée intégrant l'assimilation des données dans les modèles, la définition de la durée de campagne d'instrumentation et l'estimation des paramètres des modèles statistiques.

FIGUEIRA DA FOZ

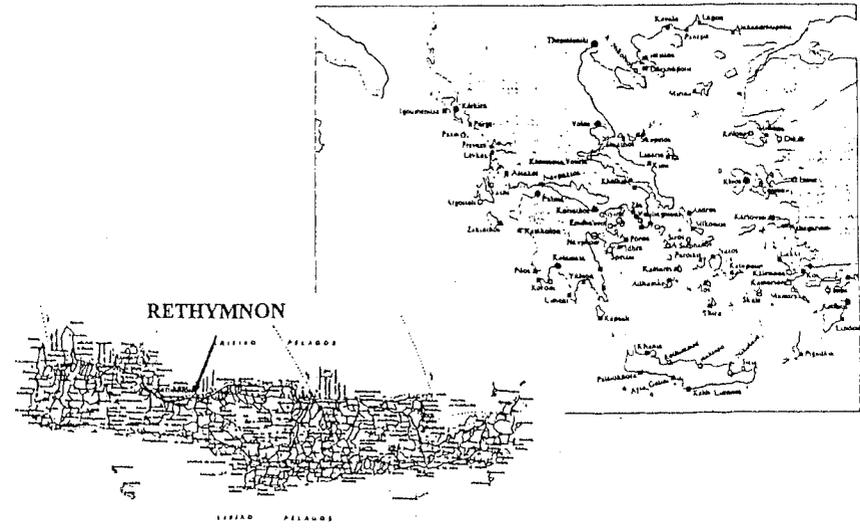


MESURES DE HOULE  
TRANSMISSION "ARGOS"



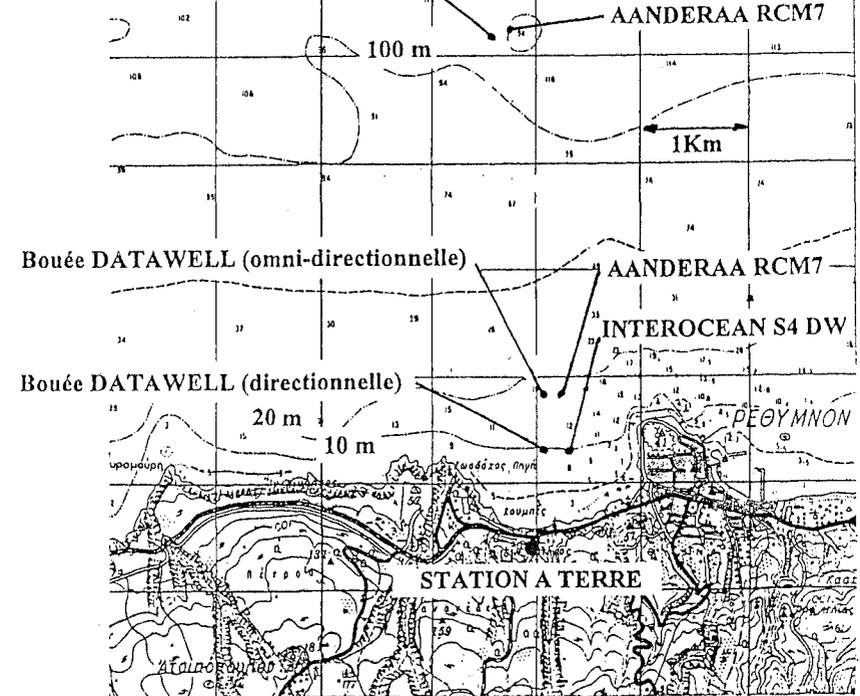
INSTRUMENTATION "WAVEMOD" à FIGUEIRA DA FOZ (PORTUGAL)

RETHYMNON



MESURES DE HOULE  
TRANSMISSION "VHF"

Bouée DATAWELL (directionnelle)



INSTRUMENTATION "WAVEMOD" à RETHYMNON (CRETE)

Figure 2

#### **4. ORGANISATION DU PROJET**

Le programme de travail qui se déroulera sur 3 ans a démarré le 1er janvier 1993, il met en collaboration 9 partenaires : Instituto Superior Técnico (Portugal), Ifremer (France), LHF (France), MARTEDEC (Grèce), NTUA (Grèce), SINTEF (Norvège), OCEANOR (Norvège), DELFT University of Technology (Pays-Bas), Programa de Clima Maritimo (Espagne), sous la coordination de l'IST.

Le budget total du projet s'élève à 2 MEcu et l'effort en temps personnel à 170 hommes-mois.

#### ***Remerciements***

Les travaux de recherche entrepris dans le projet WAVEMOD sont en partie financés par la Commission des Communautés Européennes, Direction Générale pour la Science, la Recherche et le Développement sous le contrat n°MAS2-CT92-0025.