

ROBIN Pauline  
Master 1 SAO  
2006-2007



Rapport de stage au LEGOS  
Mai-juin 2007

# Etude des ondes hautes fréquences dans les îles de Kerguelen

Responsable : Laurent TESTUT  
Avec la participation de LAW-CHUNE Stéphane

# Remerciements

Nous voudrions remercier tout d'abord Laurent TESTUT, notre maître de stage qui a pris de son temps afin de nous aiguiller tout au long du projet, nos responsables de master Dominique LAMBERT et Sylvain COQUILLAT d'avoir été à nos côtés durant cette année (toujours là pour nous arranger!).

Mes remerciement vont au directeur du LEGOS de donner la possibilité aux étudiants de master 1 de faire un stage dans son laboratoire, à Claire MARALDI qui travaille avec Laurent qui nous a fournit des renseignements sur le modèle utilisé, à Martine, la secrétaire du LEGOS qui nous a installé au laboratoire.

Et enfin je remercie toutes les personnes (que j'ai pu oublier) qui m'ont permis d'avancer dans l'étude de ce sujet, surtout Stéphane!

# Sommaire

<b>Introduction .....</b>	<b>3</b>
<b>I - Description de la zone d'étude .....</b>	<b>3</b>
1- Situation géographique et topographique de l'archipel de Kerguelen <sup>1,2</sup> .....	3
2- Climatologie <sup>1,3</sup> .....	3
3- Historique <sup>1,2,4</sup> .....	4
<b>II - Les données.....</b>	<b>4</b>
1-données in situ .....	4
1.1- description / historique des marégraphes <sup>1,5,6</sup> .....	4
1.2- Récupération des données marégraphiques.....	5
2-données modèle régional <sup>7</sup> .....	6
<b>III - Description de la méthode .....</b>	<b>7</b>
1- Signal marégraphique total .....	7
2- Signal marégraphique soustrait de la marée .....	7
3- Application d'un filtre.....	8
<b>IV- Resultats :</b>	
<b>Comparaison des données marégraphiques aux sorties du modèle .....</b>	<b>9</b>
1- Les résultats.....	9
2- Variabilité des ondes hautes fréquences (modèle).....	9
3- Calcul de l'amplitude et des phases des fréquences d'intérêt par ajustement .....	10
4- Etude de l'amplitude et de la phase de ces ondes.....	10
4.1-Etude de l'amplitude .....	11
4.2-Etude de la phase.....	11
<b>V- Interprétations.....</b>	<b>11</b>
1- Onde à 4,09h.....	12
2- Onde à 3,42h.....	12
3- Onde à 2,77h et 3,24h.....	12
<b>Conclusion.....</b>	<b>13</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>14</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>15</b>
Annexe 1 : Carte des marégraphes à Kerguelen.....	16
Annexe 2 : Le tableau de valeur.....	17
Annexe 3 : Carte de l'écart type.....	19
Annexe 4 : Zoom des amplitudes des ondes .....	2
Annexe 5 : Représentation de la phase de l'onde à 3,24h.....	2
Annexe 6 : Bathymétrie de la baie du Morbihan.....	4
Annexe 7 : spectre des marégraphes non filtré .....	5

# Etude des ondes hautes fréquences dans les îles de Kerguelen

## Introduction

Kerguelen, depuis sa découverte, attire de nombreux scientifiques comme des géologues, météorologues, océanographes... due à sa situation géographique. En effet situé au sud de l'océan Indien, dans l'océan Austral, océan encore très méconnu de nos jours car peu de terre lui donne accès. Kerguelen est justement une zone donnant accès à cet océan.

Encore jamais étudié jusqu'à maintenant aux Kerguelen, nous allons mettre en évidence, sous la tutelle du responsable du réseau ROSAME : Laurent TESTUT, les ondes hautes fréquences de cette zone.

Notre but est de caractériser les phénomènes ondulatoires de hautes fréquences et ensuite de remonter à leur origines physiques. Pour ce faire, nous avons à notre disposition d'un coté des données in situ issus des marégraphes des zones, et de l'autre un modèle global/régional d'ondes océaniques.

## I - Description de la zone d'étude

Les Kerguelen, depuis 1955, constituent l'un des cinq districts du territoire des Terres Australes et Antarctiques Françaises (TAAF : îles Saint-Paul, Amsterdam, Crozet, Kerguelen, Terre Adélie) et est administrée depuis la ville de Saint-Pierre.

L'activité principale de Kerguelen est la recherche scientifique : géologie, volcanologie, sismologie, pétrologie, météorologie, océanographie... Il n'y a pas d'habitants permanents, juste des scientifiques (60 en hiver à 120 en été) se relayant chaque saison. Le climat étant rude, les résidents se nourrissent grâce à l'élevage de moutons (~3500) et à la production de légumes frais sous serre à Port-aux-Français.

### 1- Situation géographique et topographique de l'archipel de Kerguelen <sup>1,2</sup>



[www.kerguelen.island.org](http://www.kerguelen.island.org)

L'archipel des Kerguelen se situe au sud de l'Océan Indien, entre 48°35' et 49°54' de latitude sud et entre 68°43' et 70°35' de longitude est, à une distance d'environ 2000 km de l'Antarctique, 3400 km de la Réunion et 4800 km de l'Australie.

Il est constitué d'une île principale, la Grande Terre, d'une superficie de 6 675 km<sup>2</sup> (92% de la surface totale), entourée de plus de 300 îles et îlots. Au total, l'archipel s'étale sur environ 150 km d'ouest en est et sur 120 km du nord au sud dont 2800 km de côtes pour une superficie d'environ 7 215 km<sup>2</sup>.

Le point culminant de la Grande Terre est le Mont Ross (1850 m), couvert à l'ouest par la calotte glaciaire Cook (500 km<sup>2</sup>).

Le plateau sous-marin de Kerguelen s'étend sur près de 2,2 millions de km<sup>2</sup>, la formation des îles a commencé il y a 35 millions d'années par activité volcanique.

### 2- Climatologie <sup>1,3</sup>

Le climat de Kerguelen est océanique, froid et venteux, on peut parler de climat sub-polaire : il n'y a aucun mois où les températures moyennes atteignent les 10°C et aucun mois elles descendent sous les 0°C.

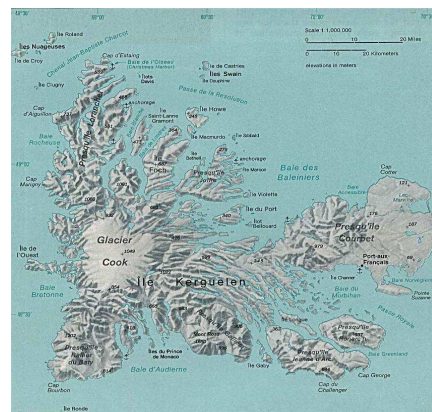
Depuis 1950, Météo France recueille des données météorologique à la station Port-aux-Français ( cf. annexe tableau ) : la température moyenne annuelle est de 4,7°C variant de 2°C en hiver (juillet) à 7,9°C en été (février). Aucune température inférieure à -10°C n'a été relevé au niveau de la mer et les maxima absolus dépassent rarement les 20°C.

Les précipitations (pluie ou neige) sont fréquentes (214 jours par an) mais peu importantes seulement 792 mm par an pour Port-aux-Français. La côte serait protégée des précipitations, il tomberait trois fois plus d'eau sur la côte ouest. La côte Est serait protégée des précipitations, il tomberait trois fois plus d'eau sur la côte ouest.

Kerguelen se situant dans les « cinquantième hurlants », un fort vent d'ouest souffle continuellement ; soit 301 jours par an de vent >16m/s (~58km/h ; force 7).

L'humidité relative de l'air sur une année est de 76±4%.

Il y a très peu de jour de brouillard (5 jours par an) et il y a eu en 46 ans 11 jours d'orage.



### 3- Historique <sup>1, 2, 4</sup>

Yves Joseph de Kerguelen



[www.chez.com/saintpol/thematiques/kerg](http://www.chez.com/saintpol/thematiques/kerg)

Le dimanche 12 février 1772, l'archipel de Kerguelen est découvert par Yves Joseph de Kerguelen de Trémarec, officier de marine et navigateur français originaire du Finistère.

A partir de cette date, les Iles Kerguelen ont vu se succéder les découvreurs, les chasseurs de phoques, les expéditions scientifiques, les industriels de la mer...

En décembre 1776, James Cook entreprend un voyage d'exploration et lui donne le nom « d'île de la Désolation ».

1792-1909, des campagnes de chasse à la baleine, à l'éléphant de mer et à l'otarie se succèdent (américains (46%), anglais (19%), français (3%)).

En 1840-1874, des expéditions scientifiques anglaise se suivirent (océanographie, géographie, astronomie : passage de Vénus avant le soleil).

En 1893, la France prend possession officielle des îles Kerguelen.

1901-1903, une expédition Allemande commence à travailler la cartographie et l'étude de l'atmosphère.

En 1908-1909, les frères Rallier du Baty dresseront la première carte complète de l'archipel.

En 1928-1929, première étude géologique par Edgar et Andrée Aubert de la Rüe (Suisse).

En 1940-1941, trois corsaires allemands utilisent les îles comme base arrière.

En 1950, une base scientifique permanente, Port-aux-Français, a été installée dans le but d'une étude plus détaillée (relais radio et station météo...).

Depuis 1992, le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES) a installé une station de poursuite de satellite, sur un plateau situé à 4km de Port-aux-Français.

## II - Les données

### 1-données in situ

#### 1.1- description / historique des marégraphes <sup>1, 5, 6</sup>

C'est la navigation qui va pousser l'homme à étudier les variations du niveau de la mer. Les premières traces connues de prévision des marées remontent à l'an 770 d'origine Chinoise. La pleine et basse mer, en fonction des différentes phases de la lune, est inscrite sur des tables. Le commerce maritime se développant de plus en plus, l'homme va élaborer des techniques de mesures afin de suivre les oscillations du niveau des mers. Il va commencer par installer des échelles graduées (échelle de marée) près des ports, puis des appareils de mesure à capteur de pression ou à émetteur d'ondes acoustiques, pour aboutir à l'utilisation des satellites (l'altimétrie). On peut séparer deux classes de marégraphes : les marégraphes de surface (échelles, marégraphe à flotteur, marégraphe numérique côtier émetteur d'ondes acoustiques) et les marégraphes plongeurs (marégraphe de pression de fond). C'est ce dernier qui est utilisé à Kerguelen.

Le marégraphe à capteur de pression, placé au fond de l'océan, il mesure la pression environnante grâce au quartz dont il est composé. En effet, la fréquence du quartz varie (par effet piézo-électrique) en fonction de la pression et de la température. Cette pression correspond à la hauteur de la colonne d'eau sus-jacent et à la pression atmosphérique en surface :

Marégraphe de Kerguelen



$$P = g \int_{-H}^{\eta} \rho dz + P_{atm}$$

Avec :  $P$  = la pression de fond,  $\rho$  = la masse volumique de l'eau,  $\eta$  = l'élévation de la surface,  $-H$  = profondeur par rapport à une référence.

Source : [www.legos.obs-mip.fr](http://www.legos.obs-mip.fr)

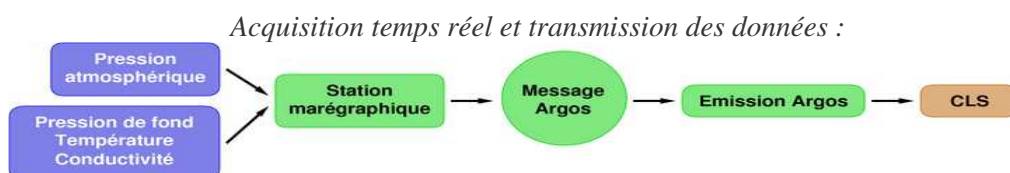
La connaissance de la pression atmosphérique, de la densité et de la température de l'eau est donc indispensable pour obtenir les variations du niveau de la mer.

### 1.2- Récupération des données marégraphiques



Le Réseau de marégraphes ROSAME (Observation Subantarctique du niveau de la Mer) a été créé au début des années 90 (par Christian Le Provost), il est chargé aujourd'hui de l'étude des marées océaniques, la validation des observations satellitaires, du suivi du Courant Circumpolaire Antarctique et du suivi à long terme Du niveau de la mer. Des marégraphes sont placés aux îles Crozet, Saint-Paul, Kerguelen et Dumont d'Urville. Le responsable scientifique du réseau est Laurent TESTUT.

Installé depuis 1993, à Port-aux-Français, la station marégraphique automatique Marargos, lance toutes les heures, des mesures de : pression atmosphérique réalisé à l'aide d'un baromètre, pression de fond, température, et conductivité de l'eau effectué. La station marégraphique construit un message Argos contenant les mesures des 7 dernières heures et émet le message toutes les 200 secondes. Ce message est récupéré par les satellites via le système Argos et transmis au centre de traitement CLS à Toulouse.



Source : [www.legos.obs-mip.fr](http://www.legos.obs-mip.fr)

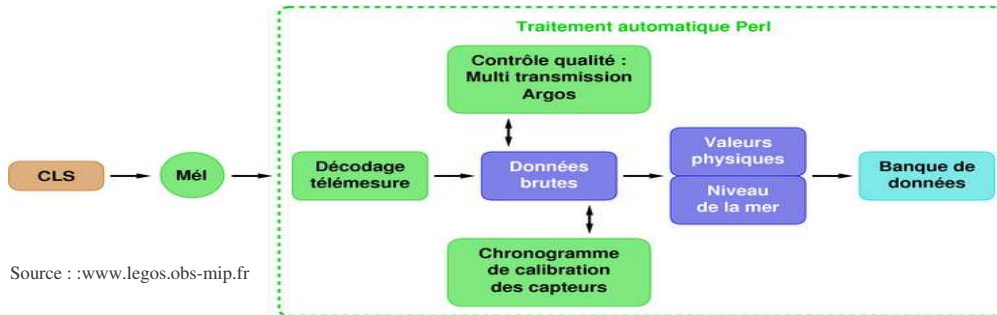
Le centre de traitement CLS envoie directement le message Argos vers une adresse électronique du LEGOS. Lorsque le message est reçu, il déclenche automatiquement un programme écrit avec le langage Perl. Le logiciel décode la télémessure contenu dans le message Argos et calcul les données brutes. La multi transmission Argos des données est utilisée pour contrôler la qualité : pour chaque capteur, la valeur répétée le plus grand nombre de fois est conservée. Les mesures physiques (salinité, densité de l'eau) sont calculées à partir des chronogrammes de calibration

des capteurs (=décrit l'état des paramètres à un moment donné et suit son évolution en fonction du temps : type de station marégraphique et de capteurs utilisés, paramètres mesurés, échantillonnage des acquisitions). Puis le niveau de la mer ( $h_{mer}$ ) est calculé à partir de la pression atmosphérique, de la pression de fond, de la densité de l'eau et de la gravité :

$$h_{mer} = \frac{P - P_{atm}}{\rho g}$$

Tous les résultats du traitement automatique sont enregistrés dans une banque de données.

Traitement automatique :



## 2-données modèle régional <sup>7</sup>

Nous utilisons le Modèle aux Ondes de Gravité 2D régional, ( MOG2D ), modèle hydrodynamique pour l'océan permettant de prédire les variations du niveau de la mer ainsi que les courants moyens liés au forçage météorologique et à la marée. C'est un modèle barotrope non linéaire à deux dimensions, résolvant les équations de type *shallow water*. Ces équations traduisant la dynamique barotrope de l'océan découlent des équations de Navier-Stokes d'après les hypothèses suivantes : - l'océan est un fluide incompressible newtonien, - l'océan se comporte de façon barotrope, - la pression est hydrostatique.

Nous utiliserons ici seul le forçage atmosphérique (la pression atmosphérique et le vent) nous prenons pas en compte le forçage de marée. La pression atmosphérique est modélisée comme ceci :  $\vec{F} = \vec{\nabla} P_a$ .

Tandis que le vent crée une tension à la surface de l'océan. La contrainte de cisaillement par le vent est déduite de la vitesse du vent  $\vec{u}$  à 10m de l'océan et de la différence de température  $\Delta T$  à l'interface océan-atmosphère :  $\vec{F}_{vent} = C_d \|\vec{u}\| \vec{u}$ , avec  $C_d$  le coefficient de traîné .

Les champs de pression et de vent à 10m utilisé dans le modèle sont issus du Centre Européen pour la Prévision Météorologiques à Moyen Terme. Les forçages sont fournis sur une grille  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  à une fréquence toutes les 6h.

Ce modèle applique sur le pourtour des terres des conditions aux limites fermées traduisant l'absence de flux à travers les frontières et des conditions ouvertes vers l'océan. Aux frontières ouvertes, le modèle suit l'élévation due à la marée et à la pression atmosphérique (dans notre cas juste de la pression atmosphérique) et laisse passer les ondes de gravité sortant du domaine. Ces conditions sortent d'un MOG2D global.

Les sorties du modèle sont des variables compilées au format *Netcdf* contenant les champs de pression, une première variable de sortie  $h$  étant le niveau de la mer, et une deuxième étant le  $ibd$ , qui représente la variabilité soustraite des effets de la pression. Les variables sont des matrices trois dimensions, avec comme première dimension le temps, et les deux suivantes les points de maillages donnant la longitude et la latitude. Les points se trouvant en zone émergée ne sont pas traités et leur valeur est passée en flag, c'est-à-dire avec une valeur de l'ordre de  $10^{35}$ .

### III - Description de la méthode

Nous utilisons principalement le logiciel matlab pour l'extraction et le traitement de nos données, en plus de logiciels annexes tels que Nview pour valider nos résultats et un logiciel d'analyse harmonique du LEGOS pour soustraire les ondes de marées à nos signaux.

#### 1- Signal marégraphique total

A partir de la banque de donnée marégraphique pour les mesures in situ, nous pouvons tracer le niveau de la mer ( $h_{mer}$ ) en fonction du temps. Nous obtenons alors l'oscillation du niveau de la mer « totale », c'est à dire prenant en compte tous les phénomènes physiques (marée, vent...). En faisant une étude spectrale signal, nous pouvons identifier les différentes ondes composants notre signal. Tout d'abord les ondes aux plus fortes amplitudes sont celles de la marée : des ondes semi diurne ayant une période de 12h et 12,42h avec des amplitudes de 20 et 50cm respectivement ainsi que des ondes quart et tiers diurne de période de 4h et 3h d'amplitude inférieur au centimètre. Nous observons néanmoins des composantes intéressantes de périodes 3,42h et à 4,09h d'amplitudes entre 1 et 2 cm.

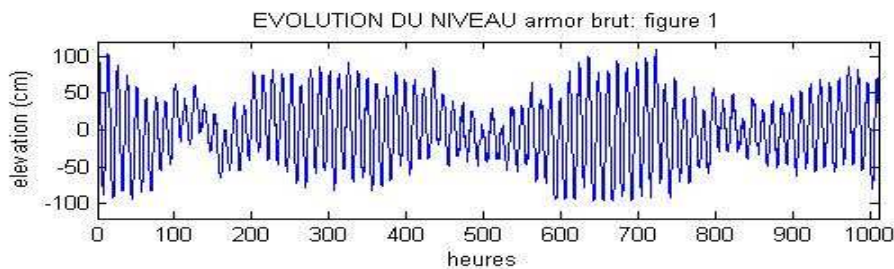


Figure 1 : signal avec la marée au niveau d'Armor.

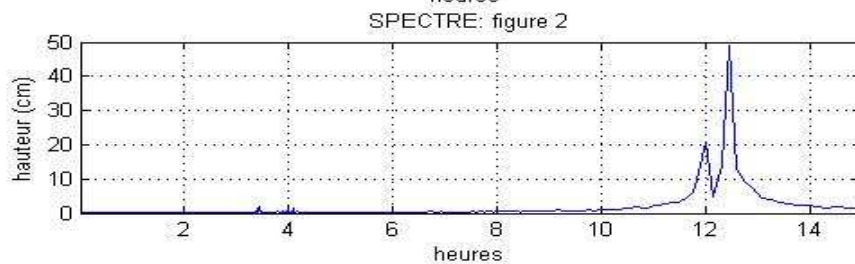


Figure 2 : spectre du signal total.

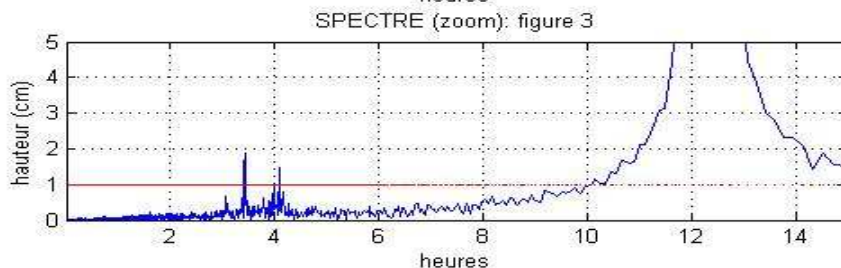


Figure 3 : zoom du spectre du signal total.

#### 2- Signal marégraphique soustrait de la marée

Les ondes de marée (diurne, semi-diurne, tiers-diurne, quart-diurne...) étant bien connues par des modèles totalement valides, un programme d'analyse harmonique nous permet de les soustraire de notre signal d'origine. En enlevant ensuite la moyenne à ce dernier, nous obtenons le signal tracé en figure 4, qui représente la variabilité induite par toutes les ondes autres que la marée. Remarquons que les ondes déjà présentes dans le signal total de période 4,09h et 3,42h et d'amplitude 1,5 à 2cm se retrouvent dans ce signal. Ajoutons qu'à ce niveau de traitement, le signal est fortement corrélé avec la pression atmosphérique par le phénomène de baromètre inverse.

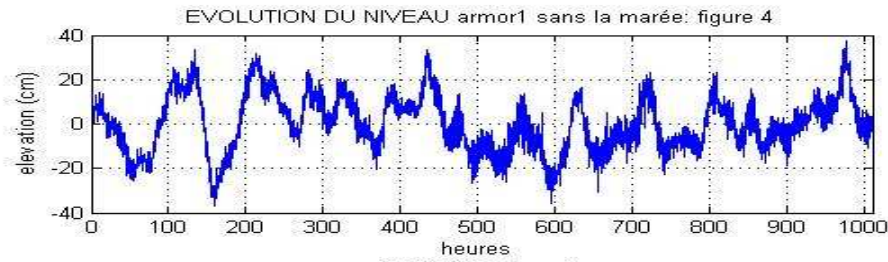


Figure 4 : signal sans la marée.

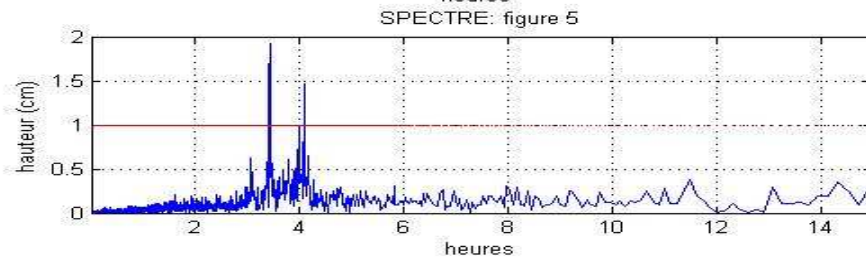


Figure 5 : spectre du signal sans la marée.

Nous allons nous intéresser de plus près aux ondes 4,09h et 3,42h qui sont des ondes hautes fréquences. Afin de nous concentrer sur ce domaine d'étude, nous appliquerons un filtre passe haut de Butterworth d'ordre 6 et de fréquence de coupure de 8hr, afin d'enlever toutes les basses fréquences du signal.

### 3- Application d'un filtre

Nous filtrons le signal sans la marée à l'aide d'un filtre passe-haut laissant passer majoritairement les ondes de périodes inférieures à 12h dont la réponse fréquentielle est représentée en figure 6. L'application du filtre sur le signal précédent est en figure 7.

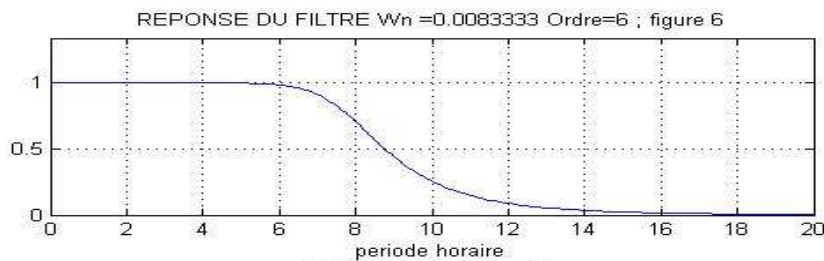


Figure 6 : filtre basse-bas laissant passer les fréquences inférieure à 12h.

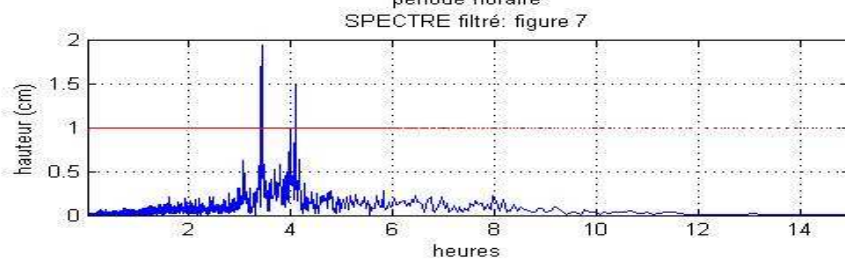


Figure 7 : spectre du signal sans la marée filtré

Nous sommes maintenant en mesure d'exploiter de la même manière tout autre signal marégraphique issu des mouillages de Kerguelen. Le point suivant du stage sera la comparaison des données marégraphiques aux sorties du modèle pour essayer de caractériser les ondes intéressantes de période 4,09 et 3,42 hr.

## IV- Resultats :

### Comparaison des données marégraphiques aux sorties du modèle

#### 1- Les résultats

Nous nous sommes intéressés premièrement aux données marégraphiques à Port-aux-Français ainsi qu'à Armor, nous avons observé une onde de période 4,09h et à 3,42h (*Annexe 1*) sur ces deux sites. Est-ce une onde de seiche caractéristique de cette baie?

Pour répondre à cela, nous avons tout d'abord mené une étude comparative de ces lieux avec les différents mouillages disponibles à Kerguelen (*Annexe 2*) : Nous retrouvons ces deux ondes par exemple à Baie Larose, Port Jeanne d'Arc ou Port Mary, ces ondes ne proviennent donc pas d'un phénomène local à la Baie du Morbihan.

Les sorties du modèle nous permettent de tracer des sorties temporelles en n'importe quel point de grille, et interpolant aux points de données in situ. En filtrant ces données de la même manière que précédemment nous pouvons alors mener le même type d'étude spectral.

L'*annexe 1* résume les fréquences et les amplitudes des trois ondes les plus fortes trouvées à différents endroits à Kerguelen, tout d'abord à partir des données in situ (données marégraphiques), puis à partir du modèle avec les deux forçages (h), et en enlevant la contribution du baromètre inverse (ibd).

Nous constatons que l'onde à 4,09h est retrouvée dans le modèle tandis que l'onde à 3,42h n'est pas perçue.

#### 2- Variabilité des ondes hautes fréquences (modèle)

A partir des sorties du modèle, nous avons tracé l'écart type du signal (ibd) (*figure 8*). Nous pouvons visualiser une variabilité plus importante au nord et à l'est de l'île par rapport au sud et l'ouest. Cette variabilité est d'autant plus importante que l'on se trouve à l'intérieur des baies (jusqu'à 10 cm) à proximité de la côte contre 1,5 cm en entrée de celles-ci (*Annexe3*) (ici l'échelle étant éclatée).

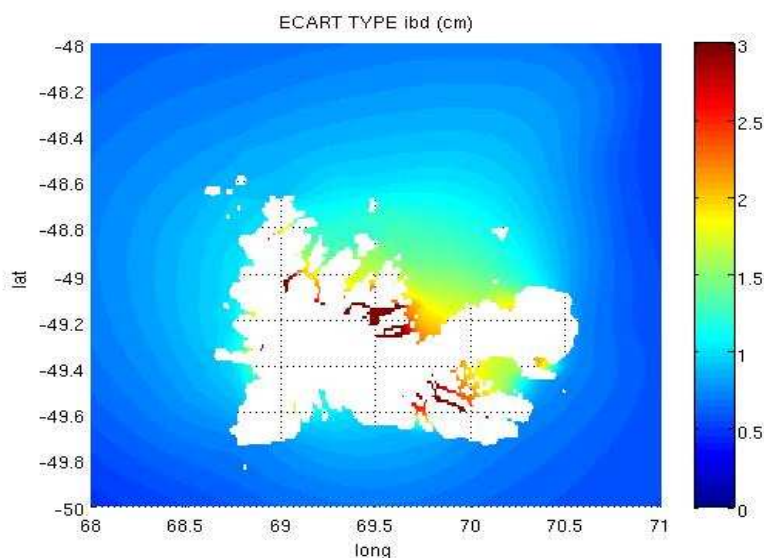


Figure 8 : variation du niveau de la mer par rapport à la moyenne (données modèle ibd)

Nous allons donc nous intéresser maintenant principalement à ce qui se passe dans les baies. Le modèle nous permet d'extraire une série dans la baie de la marne et de tracer son spectre (*figure 9*): nous relevons deux ondes prédominantes de période à 2,77h et à 3,24h de faible amplitude 0,15 cm et 0,07 cm respectivement.

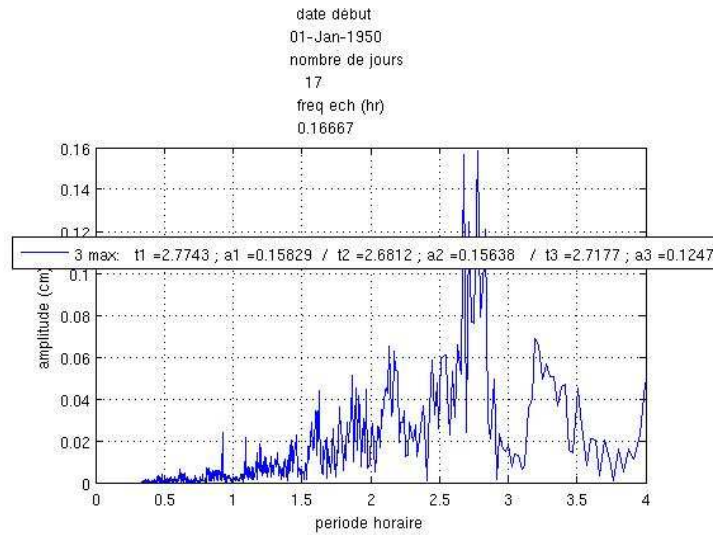
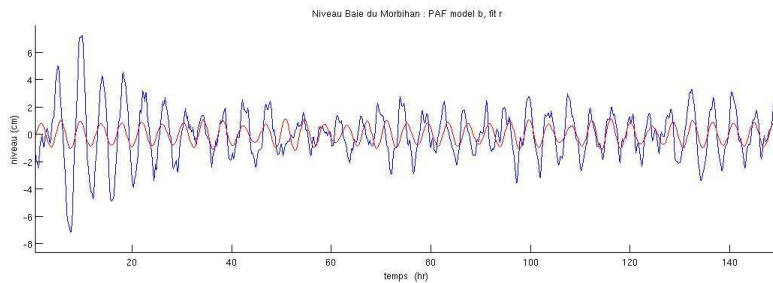


Figure 9 : spectre de la baie de la merne

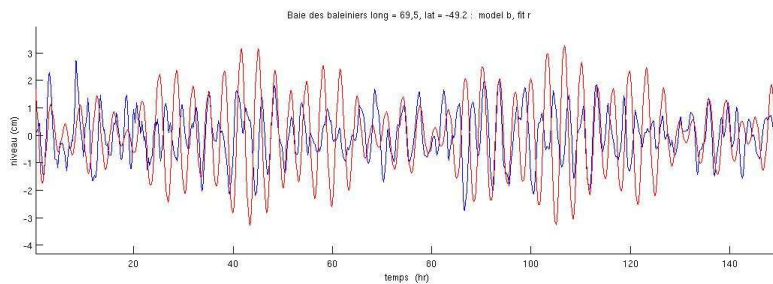
### 3- Calcul de l'amplitude et des phases des fréquences d'intérêt par ajustement

Nous avons mis en évidence des ondes à 4,09h, 3,42h, 3,24h et 2,77h qui sont représentatives des phénomènes ondulatoires se produisant dans les baies.

A l'aide d'un petit programme d'ajustement de fonctions, nous pouvons évaluer l'amplitude et la phase de ces périodes qui s'ajustent le mieux aux sorties du modèle. Nous pouvons alors faire des cartes d'amplitude et de phase pour chaque fréquence et reconstruire un signal sinusoïdal composé de celles-ci (figure10). Le signal reconstruit est en rouge alors que le signal de sortie du modèle est en bleu. Nous voyons qu'un simple signal sinusoïdal avec ces fréquences spécifiques reproduit fidèlement la partie haute fréquence. Néanmoins, la simple participation de l'amplitude de celles-ci n'est pas suffisante pour être fidèle à la sortie du modèle. Ceci s'explique par la composition du signal d'origine de multiples fréquences d'amplitude moindre individuellement, mais de sommation importante et variable.



Baie du Morbihan



Baie des baleiniers

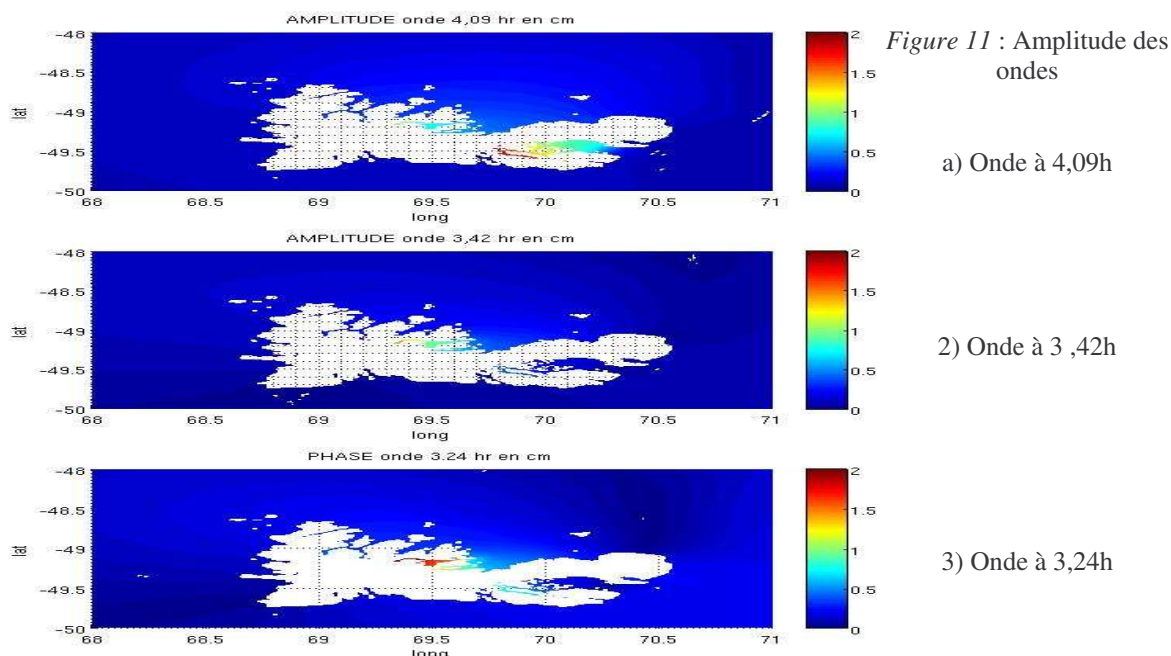
Figure 10 : comparaison du signal obtenu par rapport au signal de départ

### 4- Etude de l'amplitude et de la phase de ces ondes

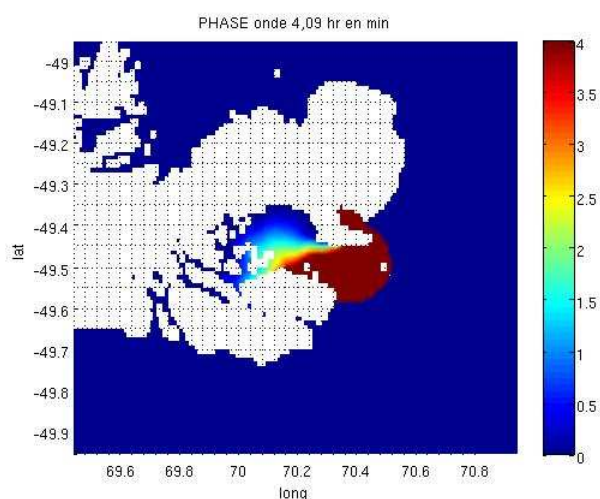
Voici la variabilité de l'amplitude et de la phase de certaines ondes obtenu par notre ajustement sur l'ensemble de la région.

### 4.1-Etude de l'amplitude

Les amplitudes maximales des ondes sont situées principalement au niveau des baies au nord et à l'est de l'île. Nous observons l'onde à 4,09h prédominante dans la baie du Morbihan avec une amplitude de 2 cm à l'intérieur de celle-ci tandis que l'onde à 3,42h si situe dans la baie de la Marne avec une amplitude de 1 cm, Quand à l'onde à 3,24h, elle est prédominante dans la baie des baleiniers se propageant jusqu'au fond de la baie de la marne avec une amplitude maximale de 2 cm.



### 4.2-Etude de la phase



## V- Interprétations

Nous avons pu mettre en évidence des ondes hautes fréquences dans l'archipel de Kerguelen grâce aux marégraphes ainsi qu'à l'aide du modèle MOG2D, maintenant essayons d'en déduire quels sont les phénomènes physiques qui sont à l'origine à ces ondes?

### 1- Onde à 4,09h

Nous pouvons voir que le modèle 'colle' bien avec les données marégraphiques : l'onde à 4,09h est présente à la fois dans les sorties modèles et dans les données in situ pour les mêmes points. L'amplitude est bien modélisée pour les marégraphes au niveau des côtes ouvertes (Baie Oiseau : 0,4 cm pour le modèle et le marégraphe, Baie Hopeful : 0,7 cm) mais est surestimée au fond des baies : par exemple à Armor l'amplitude est de 1,3 cm pour le marégraphe tandis que le modèle la modélise à 1,6 cm. Nous savons que la profondeur de l'eau influence l'amplitude des ondes : en effet lorsque le fond océanique remonte, l'onde aura tendance à s'amplifier tandis qu'elle perdra en puissance dans le cas contraire. Une hypothèse est que la bathymétrie n'est pas bien évaluée au niveau des baies dans le modèle. Le modèle MOG2D modélise mieux les comportements ondulatoires en eaux profondes qu'en couche mince. Un coup d'œil à la carte de bathymétrie (*Annexe 6*), nous permet de distinguer au nord l'existence de bord franc du talus continental, ce qui expliquera la bonne corrélation entre marégraphe et modèle dans cette région, quant à la baie du Morbihan, elle est peu profonde. Tout nous porterait à croire que la bathymétrie du modèle est surévaluée dans la baie du Morbihan pour expliquer les différences observées.

En résumé l'onde à 4,09h se localise dans les baies ouvertes vers l'est et peu profondes.

Cette onde est une onde connue du spectre de la marée comme étant une harmonique de l'onde de 12h (S2). A priori, le modèle n'est pas forcé avec la marée mais est en revanche forcé avec des sorties d'autres modèles de pression valides. Nous savons qu'il existe une marée barométrique à 12h due à l'alternance des jours et des nuits : en effet sous la chaleur l'air aura tendance à se dilater donc la pression diminuera le jour et la nuit se sera l'inverse. Il est concevable que par effet barométrique inverse, une harmonique de cette onde de marée de pression soit identifiable à notre onde à 4,09 h.

### 2- Onde à 3,42h

L'onde à 3,42h n'est pas dans le spectre de marée, elle est vu dans les données marégraphiques à Baie Greenland, Armor, PAF... mais n'est pas modélisée en ces lieux sauf dans la baie de la Marne ((2)- *figure 11*). La provenance de cette onde est pour l'instant peu discutable. Il serait intéressant de disposer des marégraphes pour valider la dominance de cette onde dans la baie de la Marne comme en conclue la modélisation.

### 3- Onde à 2,77h et 3,24h

Mêmes conclusions que l'onde à 3,42 hr. Néanmoins l'onde à 2,77hr n'existe que dans le modèle, est n'est pas significative dans le spectre des marégraphes. On pourrait penser que c'est une résonance propre du modèle, ceci dit ça reste une hypothèse très large.

## Conclusion

Nous avons au cours de ce stage mis en évidence des ondes hautes fréquences encore jamais étudiées dans l'archipel de Kerguelen en se basant sur une étude spectrale comparative entre des données in situ et des sorties du modèle MOG2D. Nos résultats nous permettent de caractériser trois ondes représentatives de la région et particulièrement des baies du Morbihan et de la Marne.

L'onde à 4,09h a pu être correctement interprétée comme une onde de marée barométrique néanmoins les origines physiques des deux autres ondes (3,42 et 3,24hr) restent toujours discutables. Les perspectives de la poursuite de l'étude serait tout d'abord d'aller placer un capteur marégraphique au fond de la Marne pour valider les résultats du modèle, puis dans toutes baies environnantes afin de caractériser éventuellement d'autres ondes ainsi que des similitudes.

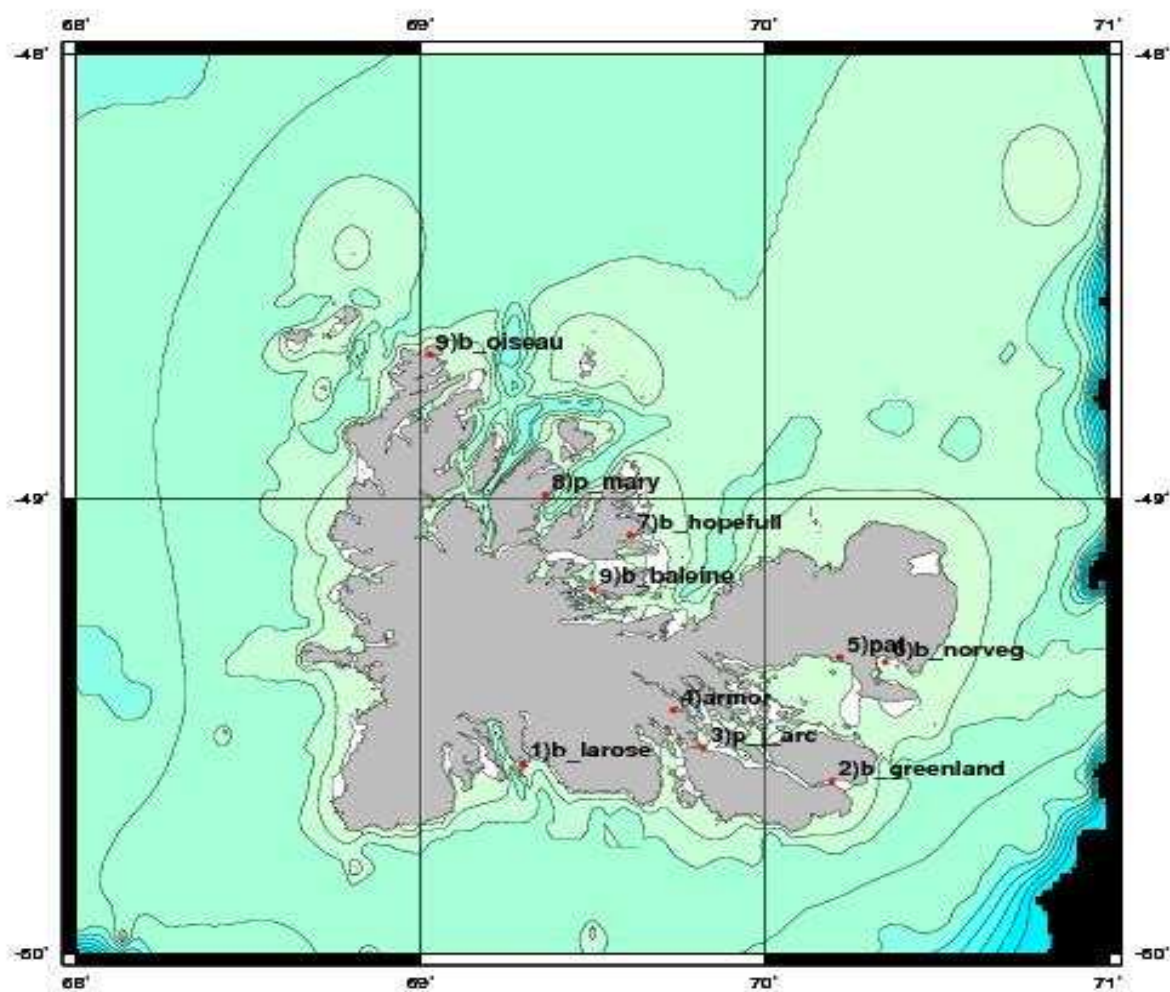
Concernant le modèle, un affinage de la bathymétrie serait judicieux afin d'améliorer les sorties. De plus, certaines ondes comme la 3.42 n'étant pas générées par le modèle, un ajustement des forçage serait nécessaire par exemple de passé d'un forçage de 6h à 3h.

## Bibliographie

- wikipédia (1)
- [www.kerguelen.island.org](http://www.kerguelen.island.org) (2)
- météo France (3)
- [www.kerguelen-voyage.com](http://www.kerguelen-voyage.com) (4)
- [www.grieme.org/marégraphie.html](http://www.grieme.org/marégraphie.html) (5)
- [www.legos.obs-mip.fr](http://www.legos.obs-mip.fr) (6)
- [www.chez.com/saintpol/thematiques/kerguelen.html](http://www.chez.com/saintpol/thematiques/kerguelen.html)
- Thèse de Claire MARALDI (7)

## Annexes

Annexe 1 : Carte des marégraphes à Kerguelen

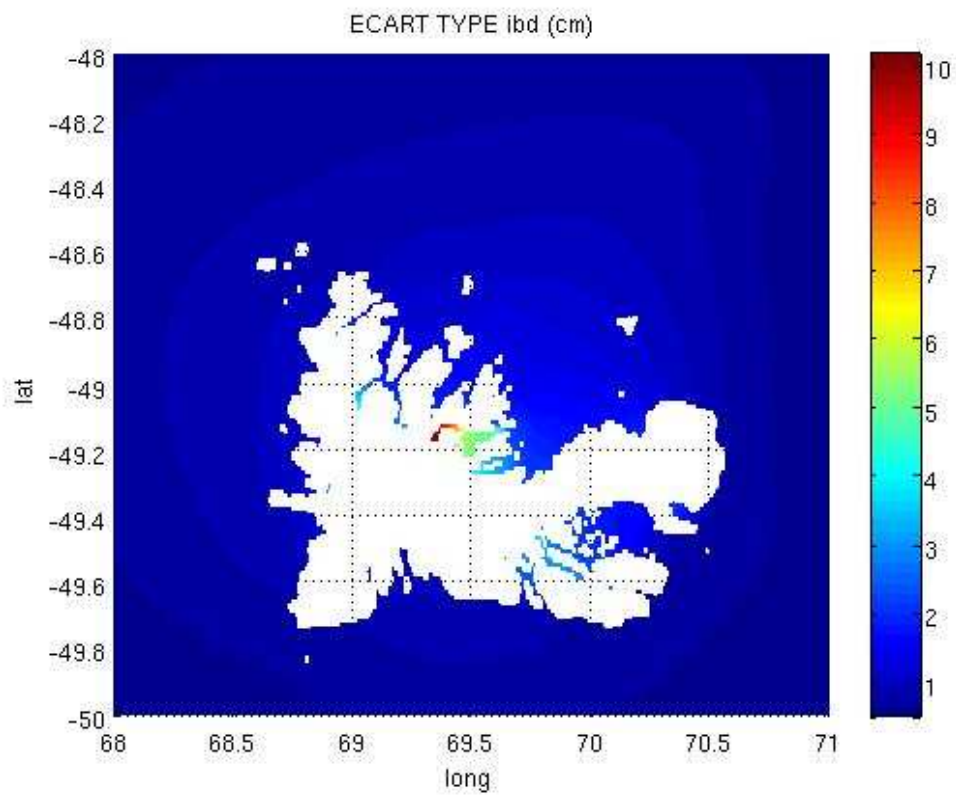


## Annexe 2 : Le tableau de valeur

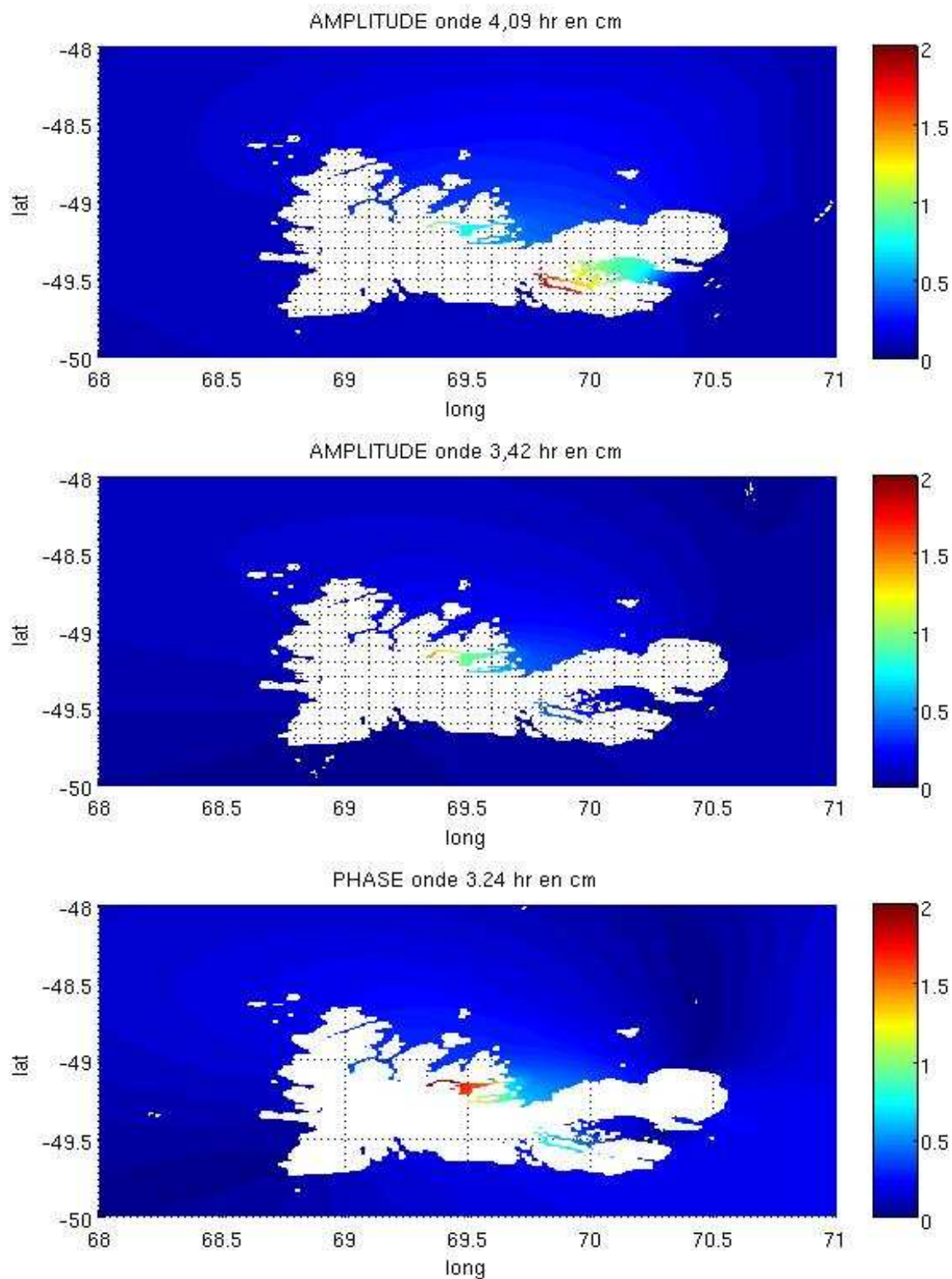
Comparaison des 3 valeurs max des fréquences observées						
	Données Marégraphiques			Données Model: h (17jrs)		Données Mod
	fréquence ( heures )	amplitude ( cm )	date/nbr jours	fréquence ( heures )	amplitude ( cm )	fréquence ( heures )
1) Baie Larose	2,18	0,32	8-avr-92	0,92	0,32	0,92
	4,09	0,31	92	1,60	0,24	2,68
	4,14	0,24		5,26	0,24	1,60
2) Baie Greenland	6,74	0,33	25-févr-03	5,26	0,22	3,25
	2,23	0,33	28	3,25	0,22	4,93
	3,42	0,33		4,93	0,00	7,99
3) Port Jeanne d'Arc	4,13	1,32	14-oct-93	4,10	1,58	4,10
	3,43	1,16	28	4,30	0,01	4,30
	4,08	0,97		4,49	0,99	4,49
4) Armor	3,42	2,12	21-mars-07	4,10	1,64	4,10
	4,09	1,27	44	4,30	1,32	4,30
	3,79	0,65		4,49	1,01	4,49
5) PAF	4,09	0,63	31-mars-06	4,10	0,77	4,10
	3,42	0,60	409	4,30	0,68	4,30
	4,80	0,17		4,49	0,55	4,49
6) Baie Norvégienne	4,09	0,28	8-fev-90	1,60	1,46	1,60
	6,21	0,28	691	1,59	0,99	1,59
	4,80	0,20		1,60	0,85	1,60
7) Baie Hopeful	3,44	1,15	19-janv-91	4,00	0,69	4,00
	4,05	0,66	51	3,96	0,57	3,96
	3,63/4,8	0,53/0,37		3,22	0,51	3,36
8) Port Mary	4,10	0,79	28-janv-03	4,00	0,56	4,00
	3,42	0,75	23	3,96	0,47	3,96
	6,19	0,49		2,77	0,38	2,77
9) Baie Oiseau	6,06	0,45	21-janv-03	4,00	0,39	4,00
	3,99	0,42	33	3,96	0,32	3,96
	4,57	0,41		7,01	0,24	4,12



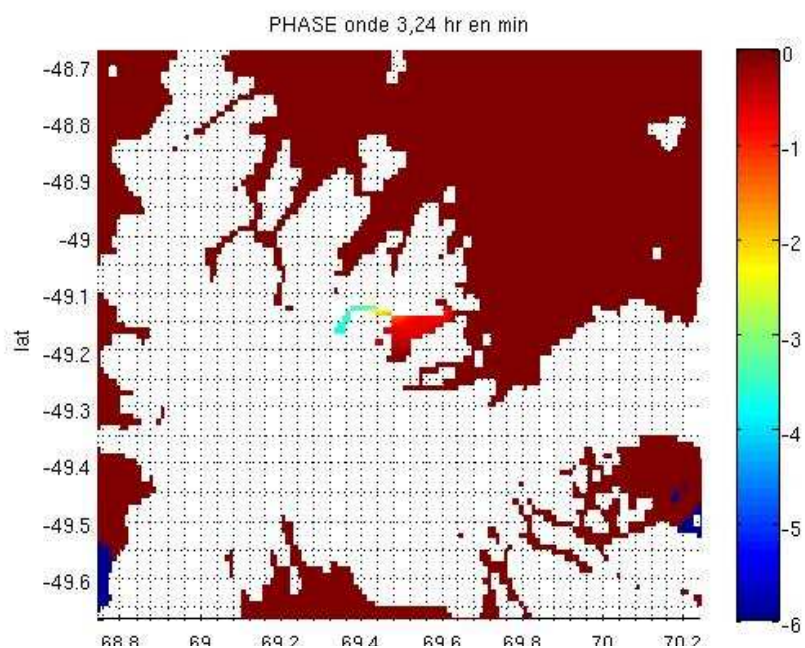
### Annexe 3 : Carte de l'écart type



## Annexe 4 : Zoom des amplitudes des ondes

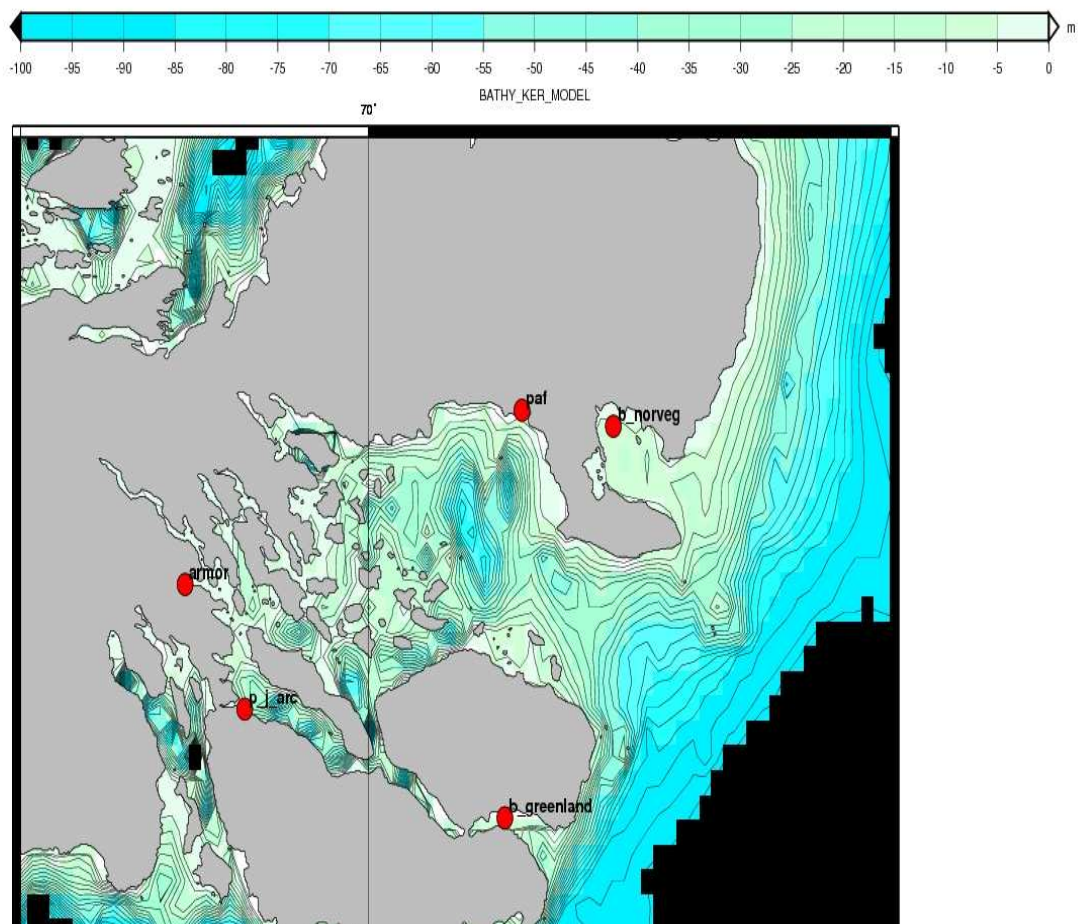


## Annexe 5 : Représentation de la phase de l'onde à 3,24h



Nous constatons un déphasage de 3 minutes pour l'onde à 3,24h dans la baie de la Marne entre l'entrée et le fond de la baie.

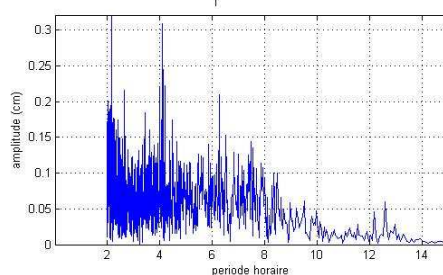
# Annexe 6 : Bathymétrie de la baie du Morbihan



## Annexe 7 : spectre des marégraphes non filtré

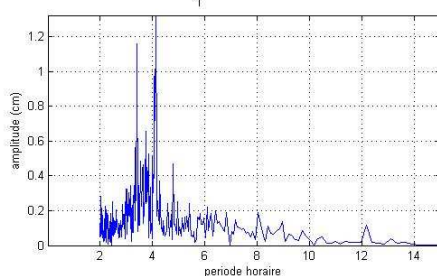
SPECTRE BAIE LAROSE

date d'@but  
08-Apr-1992 09:00:00  
nombre de jours  
92  
freq ech (hr)  
1



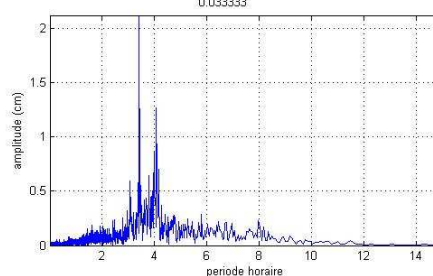
SPECTRE PORT JEANNE D ARC

date d'@but  
14-Oct-1993 09:00:00  
nombre de jours  
28  
freq ech (hr)  
1



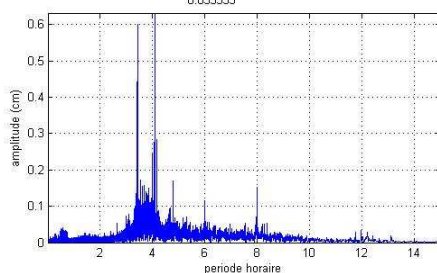
SPECTRE ARMOR

date d'@but  
21-Mar-2007 19:32:01  
nombre de jours  
44  
freq ech (hr)  
0.033333



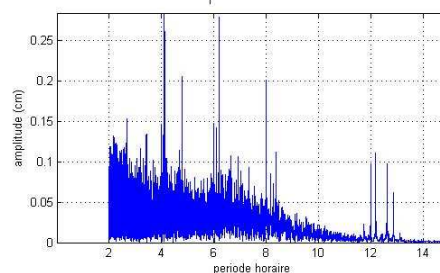
SPECTRE PORT AUX FRANCAIS

date d'@but  
31-Mar-2006 08:03:59  
nombre de jours  
409  
freq ech (hr)  
0.033333



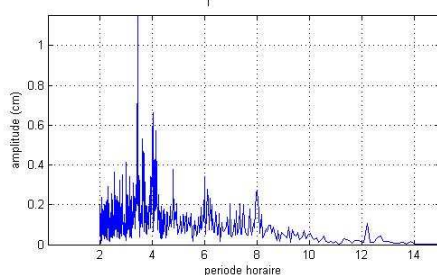
SPECTRE BAIE NORVEGIENNE

date d'@but  
08-Feb-1990 09:00:00  
nombre de jours  
691  
freq ech (hr)  
1



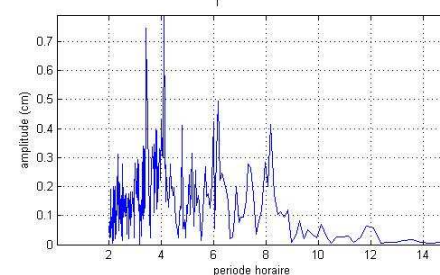
SPECTRE BAIE HOPEFUL

date d'@but  
19-Jan-1991 09:00:00  
nombre de jours  
51  
freq ech (hr)  
1



SPECTRE PORT MARY

date d'@but  
28-Jan-2003 20:00:58  
nombre de jours  
23  
freq ech (hr)  
1



SPECTRE BAIE OISEAU

date d'@but  
21-Jan-2003 03:59:02  
nombre de jours  
33  
freq ech (hr)  
1

