

Entreprise d'accueil : Conseil Général du Morbihan
Option : Hydrographie et cartographie
Elève : Fleitour Jean-baptiste
Ingénieur pilote : Denis Trotin



ÉTUDE RELATIVE AU PHÉNOMÈNE DE SEICHE À PORT TUDY (GROIX)

Avril-Août 2004.



143 - ILE DE GROIX - Port-Tudy



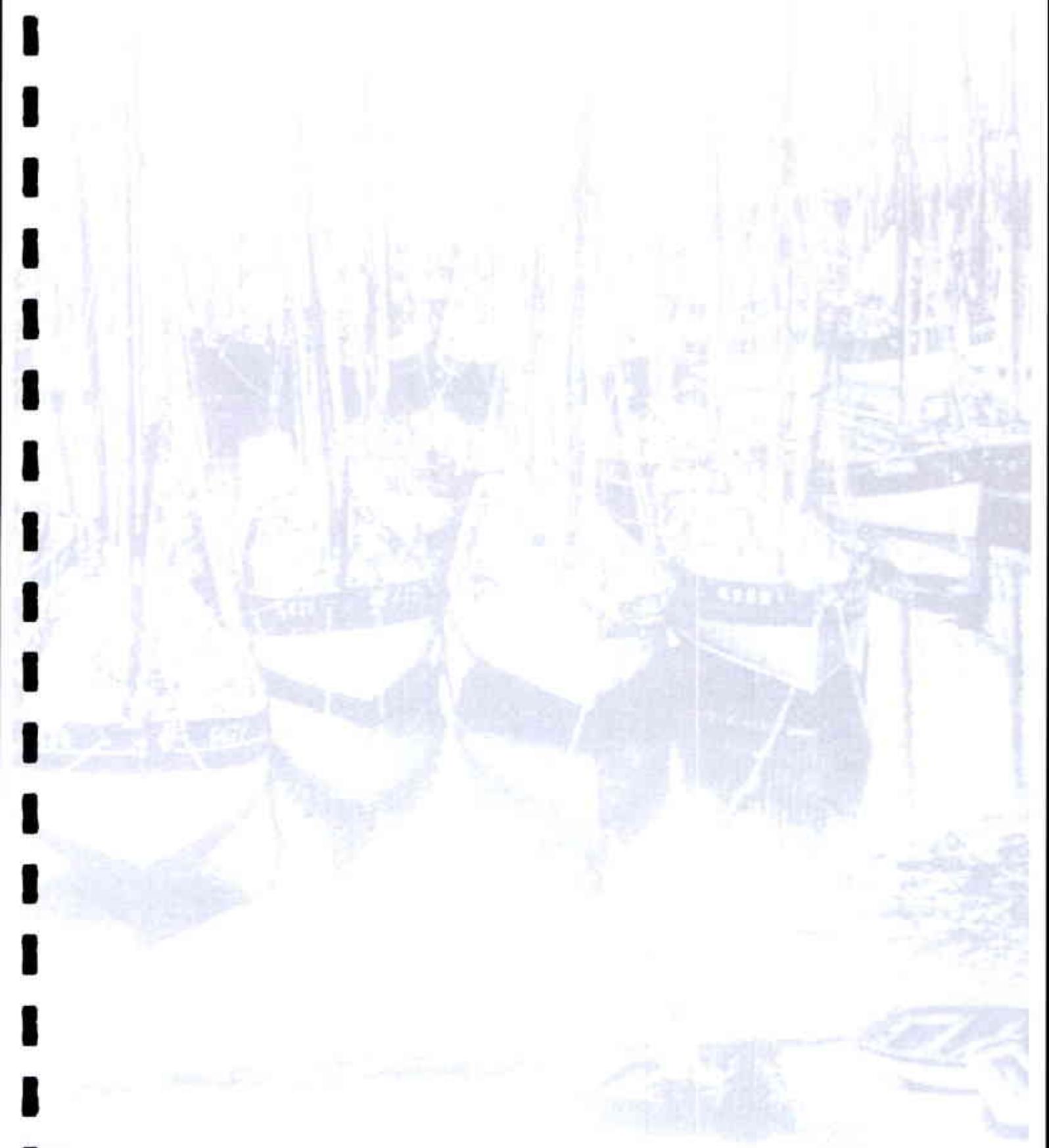
32567



MOTS CLEFS :

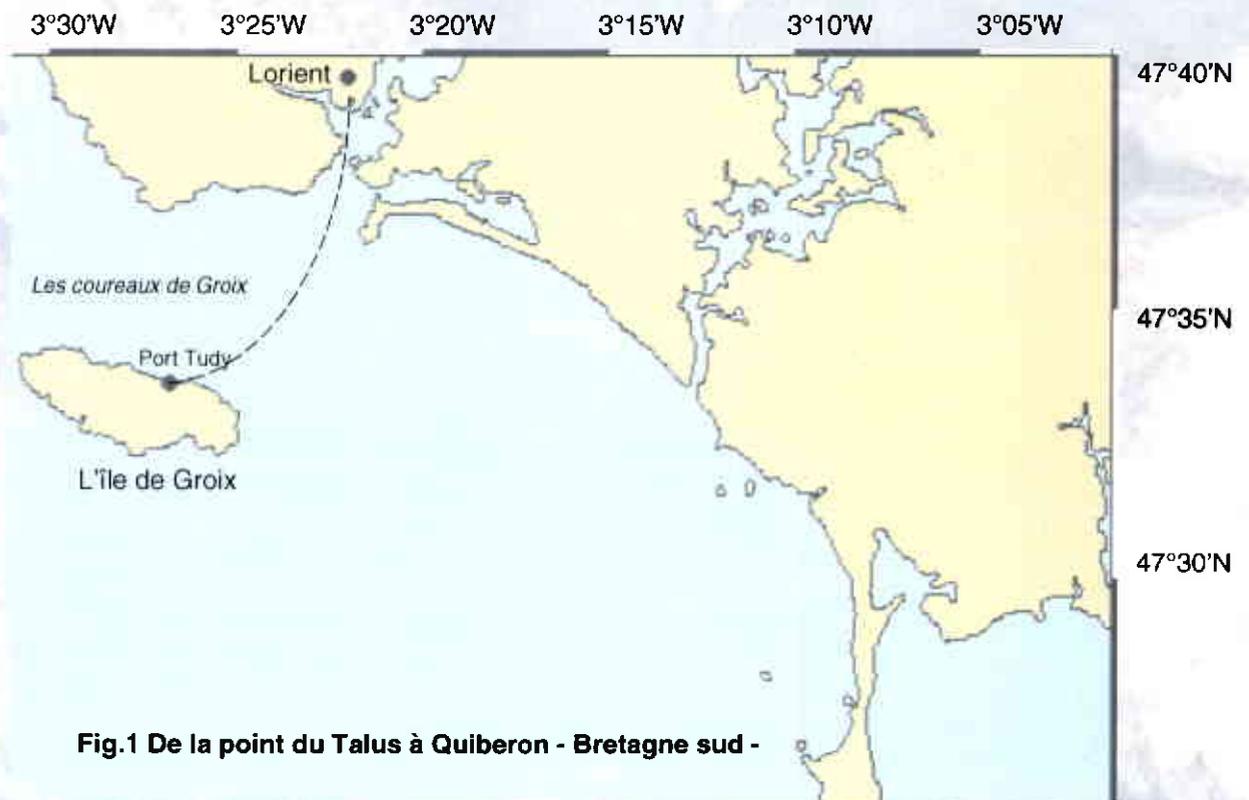
Hydrodynamique côtière, Aménagement portuaire, seiche.

TRAVEL04 FLE



REMERCIEMENTS :

Je remercie,
toute l'équipe du conseil général, en particulier Denis Trotin, Gilles Scaër ;
l'IFREMER , Pascal Lazure et Richard Schopp ; le SHOM, M. Guillou et M. Lucas.



32567



TRAVELO4 FLE



MOTS CLEFS	p2
REMERCIEMENTS	p3
SOMMAIRE	p4
OBJET DE L'ETUDE	p7
SYNTHESE ET CONCLUSIONS	p8
1. CONTEXTE GENERAL	p9
1.1. Présentation du Conseil Général, du SHOM et de l'IFREMER.	p9
1.2. Identification du phénomène	p10
1.2.1. Présentation générale du problème de Groix.	p10
1.2.2. Les variations périodiques du niveau de la mer.	p11
1.3. Présentation du phénomène de seiche.	p12
1.3.1. Définition	p12
1.3.2. Causes des seiches.	p13
1.3.3. Les seiches marines.	p13
1.4. Quantification du phénomène.	p13
1.4.1. Statistique de fréquences du phénomène seiche	p14
1.4.2. Fréquences des seiches dangereuses.	p14
2. ANALYSE DES CONDITIONS METEO-OCEANIQUE ET DES CONDITIONS DE NAVIGATION EN PERIODE DE SEICHE	p15
2.1. Analyse de la houle.	p15
2.2. La marée à Groix et les marégrammes de Port Tudy	p16
2.2.1. Observation du type de marée par période de seiche	p16
2.2.2. Les courants de marée.	p17
2.2.3. Le marégraphe.	p17
2.2.4. Les données des marégrammes.	p18
2.2.5. Résultats et conclusions.	p20
2.3. Analyse des courants induits par la seiche.	p20
2.3.1. Travaux de la société ERAMM	p20
2.3.2. Résultats et critique de l'étude.	p21
2.4. Analyse des données météorologiques	p22
2.4.1. Conditions locales par période de seiche	p22
2.4.1.1. Le vent.	p22
2.4.1.2. La pression.	p24
2.4.1.3. Les images satellites et radars	p25
2.4.2. Vision synoptique des cartes météorologiques	p26
2.5. Expertise de navigation	p29
2.5.1. Généralités	p29
2.5.2. Conditions de navigation.	p31
2.5.3. Les attentes des capitaines effectuant la liaison	p32
3. MODELISATION DU PHENOMENE	p33
3.1. Modélisation Mathématique théorique.	p33
3.1.1. Les grandes équations mathématiques issues de la géophysique marine.	p33
3.1.2. Approximations et résolution du système d'équation.	p34
3.1.3. Conditions aux limites.	p35
3.1.4. Les valeurs théoriques du courant.	p36
3.2. Modélisation numérique.	p37
3.2.1. Notion D'analyse numérique : les différences finies.	p37
3.2.2. Le programme Mars 2D.	p38

3.2.3. Les simulations numériques.	p39
3.2.3.1. Simulations du modèle global rang_0.	p39
3.2.3.2. Simulations du modèle local rang_3.	p42
3.2.4. Conclusions après les simulations numériques.	p44
4. SOLUTIONS ENVISAGEES.	p45
4.1. Courantomètre.	p45
4.1.1. Description générale.	p45
4.1.2. Le courantomètre acoustique.	p46
4.1.3. Conclusions et estimation des coûts d'installation	p47
4.2. Consignes de navigations.	P50
4.3. Aménagements portuaires.	p51
4.3.1. Configuration du port.	p51
4.3.2. Aménagements susceptibles d'améliorer. la sécurité de la zone.	p52
4.3.2.1. Diminution des courants liés à la seiche dans le port.	p52
4.3.2.2. Amélioration de la sécurité et du confort de la navigation.	p52
4.3.3. Estimation des travaux.	p53
BIBLIOGRAPHIE	p54
ANNEXE A : Photos du Port de Groix	p56
ANNEXE B : Historique du Port	p62
ANNEXE C : Statistiques de la houle	p65
ANNEXE D : Courants de marée et marnage à Port Tudy	p68
ANNEXE E : Courants dans le port de Groix en période de seiche	p71
ANNEXE F : Statistiques de vent	p74
ANNEXE G : Nature des fonds du domaine d'étude	p76
ANNEXE H : Caractéristiques des bateaux de liaison	p80
ANNEXE I : Simulations des ondes de gravité	p83
ANNEXE J : Simulations de la variation de la surface de l'eau au niveau des coureaux après l'excitation d'un train d'onde	p85
ANNEXE K : Schémas de la diffraction des ondes de gravité autour de Groix	p87
ANNEXE L : Courantomètres	p90
ANNEXE M : Occupation des sols	p91
ANNEXE N : Aménagements portuaires.	p95

OBJET DE L'ETUDE

Port Tudy est situé sur l'île de Groix. Il s'agit du port principal de l'île. C'est un port de pêche mais également un lieu d'embarquement pour la desserte de l'île. Le trafic est relativement important (environ 500000 passagers et 50 000 véhicules par an). L'île de Groix quant à elle, est à 5,5km au large de la pointe du Talus et s'étend parallèlement à la côte Lorientaise sur 1500 hectares environ. Groix est une île bordée de falaises dont l'altitude dépasse les 40m. Les pentes des falaises vont de la verticale à 70°, et de ce fait, les accès naturels sur l'île sont limités.

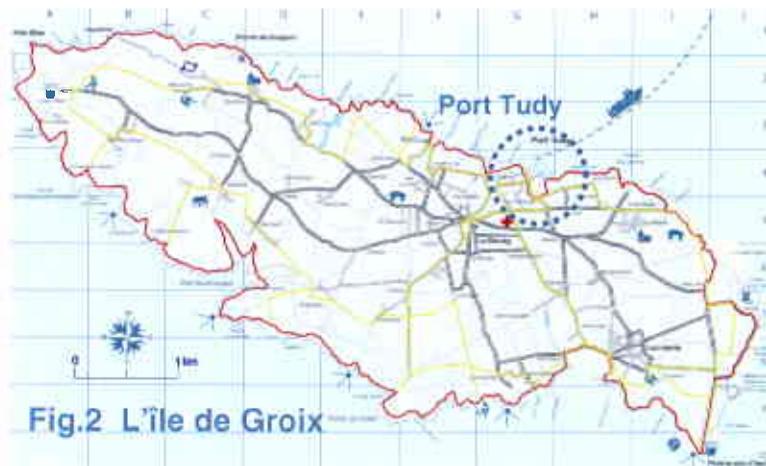


Fig.2 L'île de Groix

Les conditions nautiques du port de Groix posent des problèmes de navigation du fait de l'apparition d'un phénomène étrange que les groisillons appellent le « ressac ». Ce ressac apparaît de temps en temps par mauvais temps : le port est alors soumis à une variation de son niveau d'eau assez impressionnante pendant un laps de temps très court. Cette variation entraîne des courants violents et les capitaines assurant la liaisons Groix-Lorient sont obligés d'effectuer un accostage périlleux. Le conseil Général du Morbihan, gestionnaire des liaisons maritimes, veut identifier ce phénomène et chercher des solutions qui permettront d'améliorer les conditions d'accès à Port Tudy.

Cette étude s'articule autour de plusieurs points :

- Identification et quantification du phénomène ,
- Analyse des conditions météo-océaniques qui déclenchent le« ressac »,
- Entretien et discussion avec les pilotes (expertise de navigation),
- Modélisation mathématique du phénomène à l'aide des équations issues de la géophysique marine,
- Simulation numérique du phénomène,
- Une recherche de solutions visant à augmenter la sécurité de la navigation .

SYNTHESE ET CONCLUSIONS :

Port Tudy à Groix est soumis de temps en temps à un phénomène assez particulier appelé le « ressac » par les capitaines de liaison. Concrètement, en période de « ressac », le port se vide et se remplit alternativement indépendamment de la marée toutes les 5 minutes. Le marnage en 5 minutes peut atteindre jusqu'à 1,7m ce qui provoque des courants d'une extrême violence (dépassant les 8 nœuds lorsque le marnage est de 1,7m) au niveau des jetées d'entrées (le port se vide et se remplit d'environ 50 000m³ en 2min30). Le phénomène a toujours une période de 5 minutes et peut s'étaler sur plusieurs jours. Heureusement les jours où ce « ressac » interdit la navigation sont rares. Par an il y a tout au plus 4 jours où le « ressac » pose des problèmes de navigation, et c'est seulement tous les dix ans que ce ressac peut atteindre 1,7m. Par contre les jours où il atteint 1,7m, les dégâts dans le port peuvent être importants, et l'accostage du navire de liaison est tout simplement impossible.

Ce curieux phénomène est en fait un phénomène assez mal connu en océanographie physique et qui est appelé la « seiche marine ». Cette seiche marine apparaît au passage des dépressions du large venant du SW : les dépressions lorsqu'elles passent sur l'océan aspire l'eau au dessous d'elles et provoque en ce déplaçant un sillage. Ce sillage est composé d'ondes de gravité de différentes périodes. Certaines d'entre elles ont une période qui correspond à la période propre du bassin formé par la géométrie particulière du détroit Groix-Lorient. Lorsque ces ondes se diffractent autour de Groix et sont piégées dans ce canal, elles entrent en résonance et l'amplitude de l'onde résultante peut-être importante allant jusqu'à 1,7m. L'onde stationnaire clapote tant qu'elle n'est pas dissipée par les conditions météo-océaniques. Les seiches marines de Groix ont plus de mal à se développer par vive eau et lorsque le vent souffle de manière parallèle au canal à cause des courants de surface induits par le vent et la marée.

Le phénomène contrairement à la houle ne peut pas être cassé par un aménagement portuaire quelconque. De plus un réaménagement du port de Groix serait trop coûteux au vu de la fréquence du nombre de jours où la seiche est dangereuse. Néanmoins pour la sécurité des passagers et le confort de la liaison maritime, il est indispensable de faire en sorte que les liaisons entre Groix et le continent soient les plus sûres possible. La principale solution retenue est d'installer un courantmètre capable de mesurer le courant de la passe d'entrée. L'information retransmise aux capitaines doit être simple et précise. Cette information utile serait affichée à l'intérieur et à l'extérieur du port permettant l'accostage et l'appareillage en toute sécurité. Le deuxième élément du dispositif serait d'installer un PC de contrôle enregistrant en continues les données du courantmètres pour que l'équipe à terre basée à Groix puisse facilement prévenir par VHF les capitaines lorsque ceux-ci sont en mer où avant qu'ils ne partent de Lorient des éventuelles évolutions des courants. L'installation d'un tel dispositif coûterait 60 000€ au Conseil Général et augmenterait considérablement la sécurité des liaisons Lorient-Groix.

1. CONTEXTE GENERAL

1.1. Présentation du Conseil Général du Morbihan, du SHOM, et de l'IFREMER

Ce stage s'est fait au sein du Conseil Général du Morbihan. Le conseil général du Morbihan est la collectivité départementale qui assure les missions de l'Etat. Ces compétences obligatoires fixées par les lois de décentralisation sont :

- l'aide sociale,
- les routes départementales,
- l'organisation des transports routiers de voyageurs,
- la construction, l'entretien et le fonctionnement de collèges publiques,
- l'aménagement rural,
- la médiathèque départementale,
- les archives départementales.

Le département peut également prendre des initiatives dans des domaines variés qui sont déterminées par l'assemblée départementale et couvrent les services suivants :

- L'aménagement du territoire,
- Le développement économique,
- Le tourisme,
- Le cadre de vie et les loisirs.

Le service pour lequel je travaille, se situe dans la branche « *direction générale des infrastructures, du développement et de l'environnement* » et dans le service des « *ports, liaisons maritimes et voies navigables* ». Ce service gère tous les ports départementaux, et s'implique fortement dans les ports qui assurent une liaison maritime avec les îles du « Ponnant » qui sont : Houat, Hoëdic, Belle île et Groix. Ces îles qui dépendent économiquement de ces liaisons doivent être desservie le plus possibles, et le service doit être le plus sûr possible. C'est dans cette esprit, que le conseil Général m'a engagé, pour améliorer la sécurité et le confort de la liaison Lorient-Groix.

Le service dans lequel je travaille est composé d'une dizaine de personne, et sinon pour toute la partie recherche et récupération de données, le service Del/Ao de l'IFREMER a pu m'accueillir pendant 3 semaines pour que je puisse faire des simulations numérique avec leurs modèle MARS 2D. Le SHOM m'a également permis de consulter à plusieurs reprises tous les marégrammes que je voulais du Port de Groix.

1.2. Identification du phénomène

1.2.1. Présentation générale du problème de Groix.

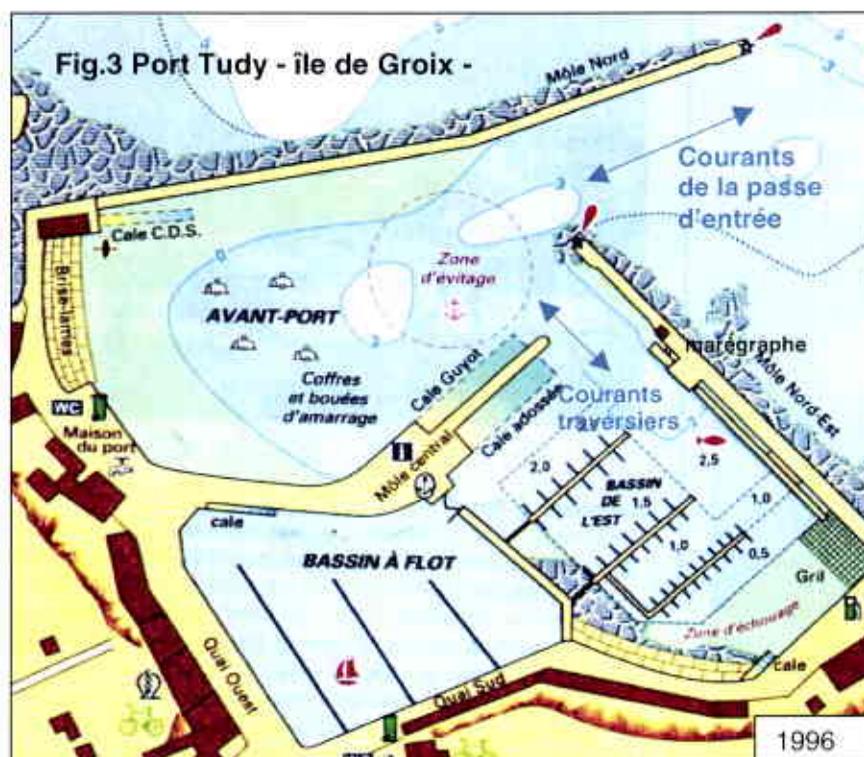
Nature du phénomène.

Par mauvais temps, Port Tudy voit son niveau d'eau s'abaisser brutalement pendant quelques minutes et ensuite remonter pendant la même période. Ce processus peut durer un ou plusieurs jours pendant lequel le niveau d'eau du port va effectuer un mouvement de yo-yo indépendamment de la marée. Cette variation peut dépasser le mètre. Lorsque le port se vide et se remplit, cela provoque des courants importants au niveau des jetées d'entrée et dans la zone d'évitage. Ce phénomène assez particulier est appelé le « ressac » par les Groisillons qui le connaissent depuis longtemps.

Les conditions de navigation.

Les navires qui assurent la liaison maritime sont les plus concernés par ce phénomène car ce sont les bateaux les plus gros naviguant dans le port. Ces navires rouliers ont le devoir de desservir Groix le plus possible et ce phénomène de ressac est de loin le facteur prépondérant qui amène à supprimer des rotations.

Les capitaines n'ont une information sur le phénomène que lorsqu'ils arrivent sur la zone, c'est-à-dire dans le port de Groix entre le feu du môle nord et le feu du môle est. Ils sont donc en pleine phase de décélération, leur vitesse est de l'ordre de 3 nœuds. Quand le phénomène se produit, la vitesse du courant est de l'ordre aussi de 3 nœuds et en plus, ce courant devient traversier lorsque le bateau passe à côté de l'ouverture du bassin de l'est. (cf. Annexe A : photos de Port Tudy).



Historique du Port

L'histoire du port de Groix est lié à l'extension de la flottille de pêche de l'île au XIX^{ème}S et à son déclin après la guerre. On constate aussi que le « ressac » est souvent dans les débats quand il s'agissait de faire un quelconque aménagement portuaire. Le phénomène est très mal connu même par les ingénieurs des travaux publique : le « ressac » était en effet souvent confondu avec le clapot et la houle de vent (cf. annexe B pour plus de détail sur l'histoire du Port).

1.2.2. Les variations périodiques du niveau de la mer .

Il existe plusieurs phénomènes qui peuvent être responsables d'une variation périodique du niveau de l'eau. En Voici un aperçu.

Période	Composante du mouvement	Forces créatrices	Vitesses
100 à 1000 ans	Cycle vertical de renouvellement des eaux des grands bassins	Machines thermiques	< 1 mm/s
1 à 100 ans	Circulation générale horizontale	Gradient de température Machine thermodynamique Vents Gradients de salinité	~1 cm/s
1 mois à 1 ans	Courants saisonniers Tourbillons Turbulence géostrophique Mouvements résiduels de marée	Vent Machine thermodynamique Cisaillements (fronts)	~10 à 50 cm/s
½ jour à 1 mois	Marée Oscillations d'inertie ($T = 12 \text{ h} / \sin\phi$) Etablissement des upwellings Seiches	Forces astronomiques Vents Gradients de densité Résonance sur la période T	~1 m/s
1 minute à ½ journée	Ondes internes $F = \sqrt{(g/\rho) \partial\rho/\partial z}$ Seiches	Toute excitation Résonance sur la fréquence de stabilité F	1 à 50 cm/s
1 seconde à 1 minute	Houle et vagues	Vent	~1 m/s
Inf. à 1 seconde	Turbulence tridimensionnelle	Viscosité	~1 cm/s

Dans le cas de Groix, le phénomène de ressac est visible par mauvais temps. Il apparaît clairement que le mauvais temps soit à l'origine de l'excitation. L'hypothèse la plus probable est que la géométrie particulière du bassin soit à l'origine de la création d'une onde stationnaire sous une impulsion extérieure. Ce type de phénomène est appelé « la seiche ».

1.3.Présentation du phénomène de seiche.

1.3.1.Définition

Les seiches sont des ondes stationnaires, pouvant être considérées comme la somme de deux ondes progressives de directions de propagation opposées (comme la vibration d'une corde de guitare). La seiche au même titre que la houle, est une onde qui sera bien connue si on arrive à caractériser sa longueur d'onde, sa période et enfin son amplitude. Elles apparaissent dans les lacs, les détroits, les estuaires, les ports ou les rades.

Le phénomène correspond approximativement à l'état de l'eau dans une baignoire dans laquelle on applique continuellement en son centre un mouvement de va-et-vient horizontal : le niveau de l'eau est stationnaire au milieu de la baignoire, mais alternativement haut et bas aux extrémités.

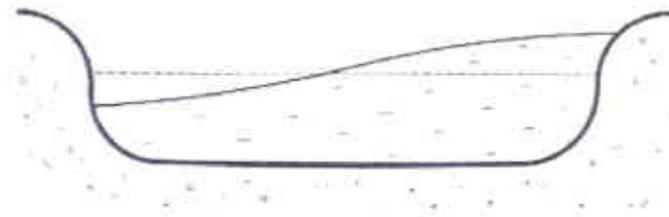


Fig.2.Illustration d'une seiche.

Dans le cas présent, le passage entre Groix et Lorient, *les Coureaux de Groix*, correspond à un bassin de dimensions finies limité par deux bords. Une onde stationnaire peut y apparaître mais sa longueur ne sera pas quelconque : l'existence nécessaire d'un ventre sur chaque paroi extrême (déplacements verticaux seuls possibles) entraîne $n\lambda/2=L$ (n entier, L longueur du détroit). Pour $n = 1$ on aura une oscillation uninodale, pour $n=2$ une oscillation binodale, etc. T étant lié à λ , on définit ainsi les *périodes propres* d'oscillations du bassin.

1.3.2.Causes des seiches.

Les seiches ont tous les caractères des oscillations libres et sont donc dues à une impulsion unique créant une perturbation initiale : la période de seiche doit être proche de la période de la perturbation initiale, c'est cette perturbation excitatrice qui va engendrer la seiche qui peut être amplifiée par résonance . Les causes de cette impulsion peuvent être diverses. Signalons d'abord les cas assez rares des tremblements de terre (seiches des lacs d'Ecosse de 1755 dues au tremblement de Lisbonne). Leur origine habituelle semble être une variation assez brusque de la pression atmosphérique sur une portion du bassin ou à l'extérieur du bassin. Une action analogue, se confondant d'ailleurs souvent avec la précédente, peut être celle d'un vent vertical d'un orage sujet où les période de rafales peuvent être voisine de la période de seiche.

1.3.3.Les seiches marines.

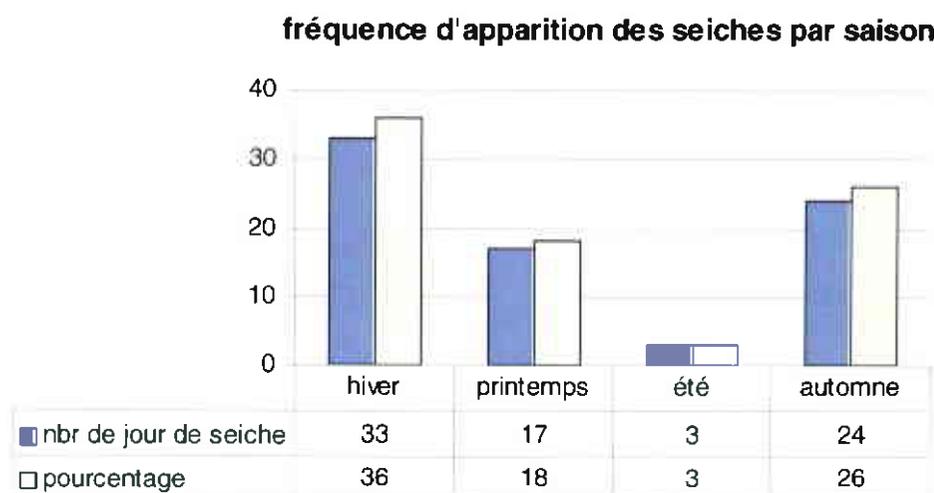
Les seiches marines sont beaucoup moins connues que les seiches des lacs qui ont été observée depuis longtemps. Elles sont le plus souvent masquées par les mouvements de plus grande amplitude dus aux marées. Mais dans les aires marines partiellement closes comme les baies ou les détroits on peut observer la présence d'oscillations dont les périodes (de 1 minutes à une heure) se classent nettement entre celles des houles et des marées. C'est le cas à Groix où l'amplitude peut dépasser un mètre pour une période de quatre minutes trente. Citons aussi les seiches observées à Malte, dans l'Adriatique ou à Marseille. Les seiches marines sont causées par les mêmes actions météorologiques extérieures que pour les lacs auxquelles il faut ajouter les fortes houles venues du large. Dans le cas de mon étude, les phénomènes excitateurs seront étudiés dans un des chapitres.

1.4.Quantification du phénomène.

Il s'agit de savoir combien de jours par an ce phénomène est observable à Groix ; pendant quelle période ce phénomène est le plus fréquent ; le nombre de jours par an où la seiche engendre des courants problématiques et dangereux pour la navigation.

Pour répondre à ces questions il a fallu analyser les marégrammes de Groix de 1997 à 2003. Les observations sur cinq ans permettent de réaliser des moyennes cohérentes. On comptabilise les seiches lorsque leur hauteur crête à crête dépasse 20 cm.

1.4.1. Statistique de fréquences du phénomène seiche



* Données du marégraphe de port Tudy du SHOM de 1993-2003

En moyenne 70 jours par an, on observe de la seiche dans le port de Groix soit environ 20% du temps. Le phénomène est fréquent et même très fréquent pour les mois d'automne et d'hiver .

Remarque :

en été il peut y avoir un ressac significatif ; la surprise est d'ailleurs plus importante qu'en hiver, et les usagers du port qui en règle générale ne connaissent pas vraiment les lieux, ne savent pas comment réagir. Les plaisanciers ont d'ailleurs tendance à appeler le phénomène « lame de fond » dès qu'ils se retrouvent expulsés du port.

1.4.2. Fréquences des seiches dangereuses.

Les seiches commencent à être problématique pour la navigation quand leurs hauteurs (crête à crête) dépassent 70cm. Une hauteur de seiche qui dépasse 1m est un facteur prépondérant quand à la décision de supprimer ou de retarder une liaison. En effet pour une amplitude de 1m les courants que rencontrent les navires sont de 1 à 4 nœuds (cf. 2.2.4) et peuvent même atteindre pour les seiches les plus spectaculaires (1,7m de marnage) plus de 10 nœuds à marée basse dans la passe principale. Comme la seiche crée énormément de tourbillons et de turbulence, la zone d'évitage est dangereuse et le capitaine est incapable d'accoster correctement.

Ces seiches spectaculaires sont peu fréquentes. Par an il y en a en moyenne, 3-4 seiches de plus de 70 cm et 1 seiches de plus de 1m tous les cinq ans. La seiche la plus spectaculaire a eu lieu le 1985. Le marnage a été de 1.7m et le courant entre le bassin de l'est et l'avant port a grimpé à plus de 10 nœuds. Un chalutier à quai ce jour là sur le môle nord-est a arraché toute ses amarres.

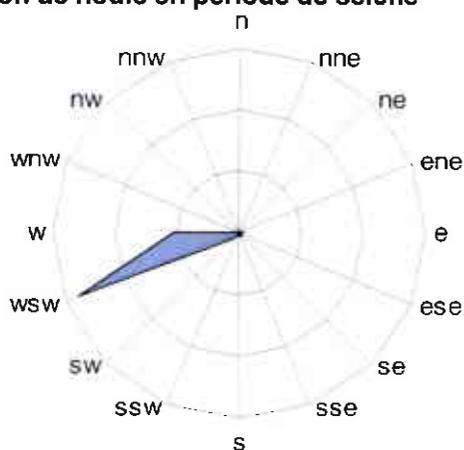
2. ANALYSE DES CONDITIONS METEO-OCEANIQUE ET DES CONDITIONS DE NAVIGATION.

2.1. Analyse de la houle

L'analyse des conditions météorologique et océaniques s'est réduite aux jours où les seiches étaient vraiment significatives : c'est à dire lorsque leur amplitude dépassait 35cm (70cm crête à crête). Chaque seiche de 1997 à 2003 a été étudiée pour pouvoir conclure de manière précise sur les causes du déclenchement de cette seiche.

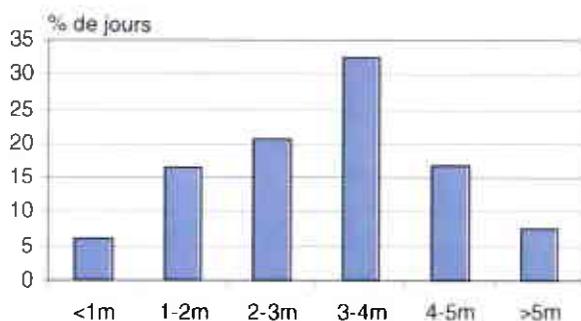
La période de la houle est de l'ordre de 5 à 30 secondes maximum. Pour qu'une seiche dont la période est de l'ordre de 5min se déclenche, l'excitation du départ doit aussi faire 5min. La houle ne permet donc pas de déclencher le phénomène de seiche, mais en regardant quelle est sa direction, sa taille, et sa période les jours où il y a une seiche à Groix, cela peut nous donner une information supplémentaire sur les conditions météo-océaniques et sur les phénomènes plus globaux qui sont susceptibles de déclencher la seiche. (pour les statistiques de houle, cf. annexe C)

Direction de houle en période de seiche

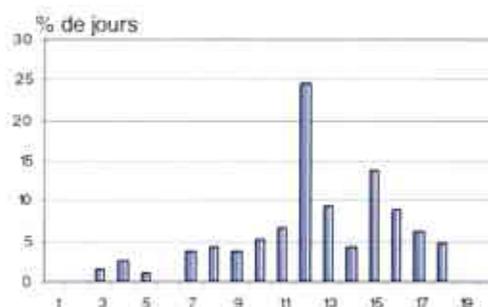


n	0%
nne	0%
ne	0%
ene	0%
e	2%
ese	0%
se	1%
sse	1%
s	2%
ssw	0%
sw	3%
wsw	65%
w	25%
wnw	0%
nw	0%
nnw	0%

Histogramme de la taille de la houle



Histogramme de la période de la houle



Conclusions :

Par période de seiche, la direction de houle privilégiée est le secteur SW. La houle de ce secteur est le plus souvent le résultat du passage d'une dépression classique venant du SW qui part ensuite vers le NE. Ces dépressions qui ne passent pas obligatoirement sur la Bretagne, sont accompagnées de forte houle longue. Les histogrammes ci-dessus confirment ceci puisque la houle observée par périodes de seiche est la plupart du temps supérieure à 3m, et la période de la houle est supérieure à 12 secondes. Il y a un lien indéniable entre les dépressions du SW et le déclenchement de la seiche entre Groix et Lorient.

2.2.La marée à Groix et les marégrammes de Port Tudy.

D'après les données du SHOM, cf. Annexe D

Coefficient de marée	Niveau d'eau en m		
	Pleine mer	Basse mer	marnage
115 marées exceptionnelles de vive eau	5,70	0,30	5,40
95 marées de vive eau moyennes	5,00	0,90	4,20
70 marées moyennes	4,50	1,30	3,20
45 marées de morte eau moyenne	4,00	2,00	2,00
30 marées exceptionnelles de morte eau	3,70	2,30	1,40

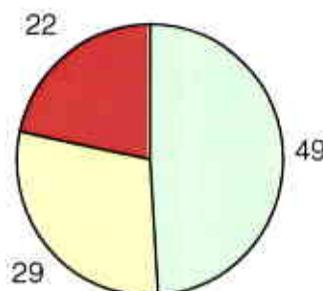
Remarque :

Dans la zone d'évitage la tête de roche la plus haute est à -2,70m du zéro hydrographique. Le tirant d'eau des navires est de environ 2,70m, ce qui veut dire que en période de seiche et lorsqu'il y a de la décote due à de la haute pression, les navires peuvent toucher.

2.2.1.Observation du type de marée par période de seiche

pourcentage de seiches en fonction du type de marée

- seiches par ME (coef. <60)
- Seiches en moyenne eaux (coef . 60-85)
- seiches par VE (coef.>85)



Une seiche sur deux apparaît par morte eaux (coefficient de marée inférieur à 60), c'est à dire pour des courants de marées de l'ordre de 0.1 à 0.2 nœuds.

2.2.2. Les courants de marée.

Courants de marée dans les Coureaux de Groix

	le courants est exprimé en nœuds	
	vive eaux (coef. 95)	morte eaux (coef.45)
-6h	0,2	0,1
-5h	0,2	0,1
-4h	0,3	0,2
-3h	0,3	0,1
-2h	0,4	0,1
-1h	0,3	0,1
pleine mer	0,3	0,2
+1h	0,2	0,1
+2h	0,2	0,1
+3h	0,3	0,2
+4h	0,3	0,2
+5h	0,4	0,1
+6h	0,3	0,1

Notes :

- Pour des coefficients de grandes marées équinoxes (coef. 120), les courants de marée entre Lorient et Groix peuvent atteindre 0.6 nœuds au maximum.
- Au large, les courants théoriques (cf. 3.2.3) induits par une seiche de 1m sont de 1 nœud et par une seiche de 50cm, de 0.5 nœuds.
- les courants de flot portent à l'ouest, et les courants du jusant portent à l'est
- Pour la visualisation des courants de marée dans les Coureaux de Groix, cf. Annexe D

Discussion :

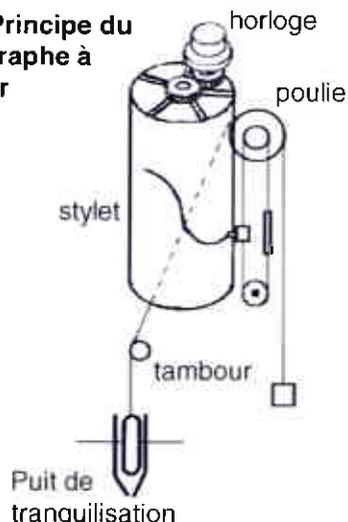
Pour une seiche de 1m et une morte eaux, les courants de seiche sont prépondérants par rapport aux courants de marée (un facteur dix) . Pour une vive eaux les courants de seiches sont plus importantes que les courants de marée, mais ils ne sont plus prépondérants (un facteur 2). Pour les seiches de 50 cm c'est bien évidemment plus marqué : un facteur de 4-5 pour les mortes et eaux, et le même ordre de grandeur pour les vives eaux.

La seiche a plus de facilité à se développer par morte eau que par vive eaux. Par vive eau la marée a tendance à cisailer le phénomène. Comme les courants de marées sont plus fort à mi-marée, la seiche se développe plus facilement à marée basse ou à marée haute.. Ceci rejoint les observations des capitaines effectuant la liaison qui ont remarqué que les seiches importantes apparaissaient par morte eaux et que les « coup de ressac » était plus violents à marée basse.

2.2.3. Le marégraphe.

Pour pouvoir observer un phénomène de seiche, il est nécessaire d'avoir des données sur l'évolution du niveau de l'eau au cours du temps. Par chance , il existe à Groix, un marégraphe analogique qui enregistre ces variations . Port Tudy est un port de référence dont le SHOM utilise les enregistrements marégraphe pour calibrer son modèle numérique de prévision. (cf. photo du marégraphe en Annexe A).

Fig.5 Principe du marégraphe à flotteur



Le marégraphe est situé sur le mole est à l'intérieur du port. Il s'agit du classique marégraphe à flotteur. C'est Chazallon, ingénieur hydrographe, auteur de l'annuaire des marées des côtes de France qui en 1839 a mis au point l'un des premiers marégraphe à flotteur vers le milieu du XIXe siècle. Il est la source presque exclusive des enregistrements de marée dans le monde encore aujourd'hui. Le marégraphe est équipé d'un puit de tranquillisation dans lequel est situé le flotteur relié à l'extérieur par un petit orifice dont le rôle est de filtrer la houle et le clapot mais qui enregistre les autres variations lentes du niveau de l'eau que sont la marée et la seiche

2.2.4. Les données des marégrammes.

La hauteur d'eau est tracée au cours du temps par un stylet sur une feuille de papier graphique. Le mouvement du tambour est de un tour par 24 heures, il est donc possible d'enregistrer plusieurs jours d'observations sur le même graphique. En effet, la marée étant principalement contrôlée par le mouvement de la lune, et le jour lunaire étant plus long que le jour solaire d'environ 50 min les courbes sont décalées les unes des autres. Pour la marée semi-diurne on laisse en place la feuille pendant 15 jours.

A Groix sur la courbe de marée, se superposent les oscillations de la seiche de manière très visible. Il suffit pour connaître la période de la seiche, de mesurer la distance entre deux pics (on s'affranchie des erreurs de mesure en comptant le nombre de pics sur une période de 2 à 3 h) . Pour l'amplitude il suffit de mesurer la distance crête à crête et de diviser par deux.

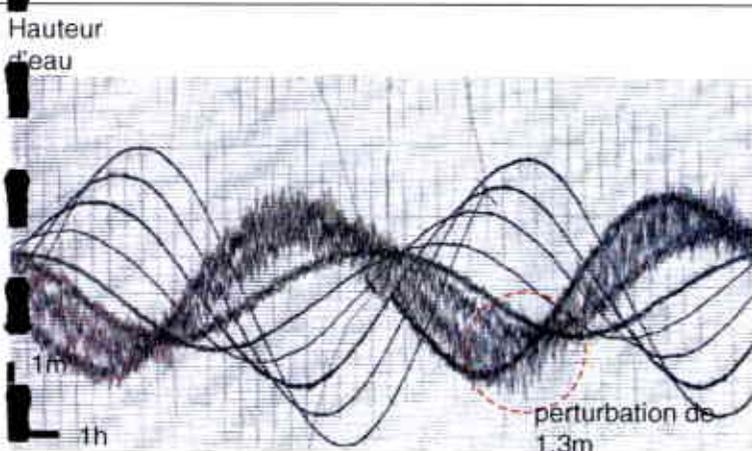


Fig.6 Signal de marée perturbé par le signal de la seiche du 10 et 11 mars 2003

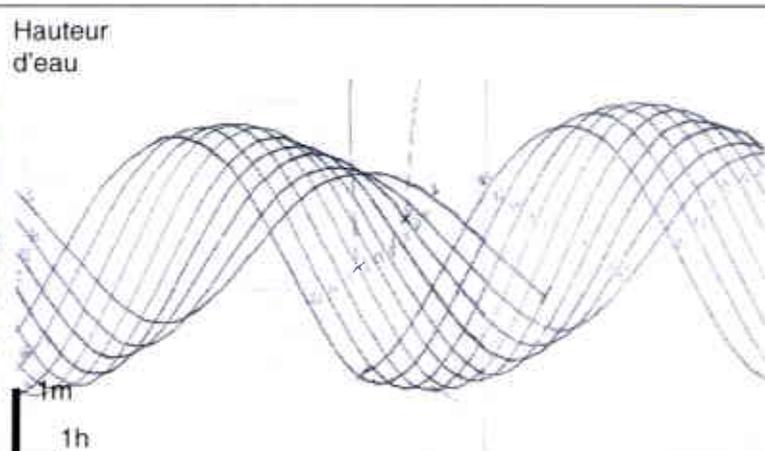


Fig.7 Signal de marée non perturbé par le signal de seiche

L'Analyse spectrale.

Il est intéressant de faire une analyse spectrale sur le signal de seiche, pour détecter les éventuels autres modes du bassin. Comme nous le verrons plus loin, c'est le mode 2 qui est prépondérant lorsque le phénomène se manifeste, ce qui est assez étonnant. Grâce à une analyse spectrale les autres modes peuvent être révélés, notamment le 1^{er} et le troisième. Théoriquement, le troisième mode a une période de 2min15. Pour le détecter, en respectant le théorème de Shannon, il suffit que la période d'échantillonnage soit de $T_e=2,25/2$. Après la numérisation du signal et le passage à son spectre, voici les résultats :

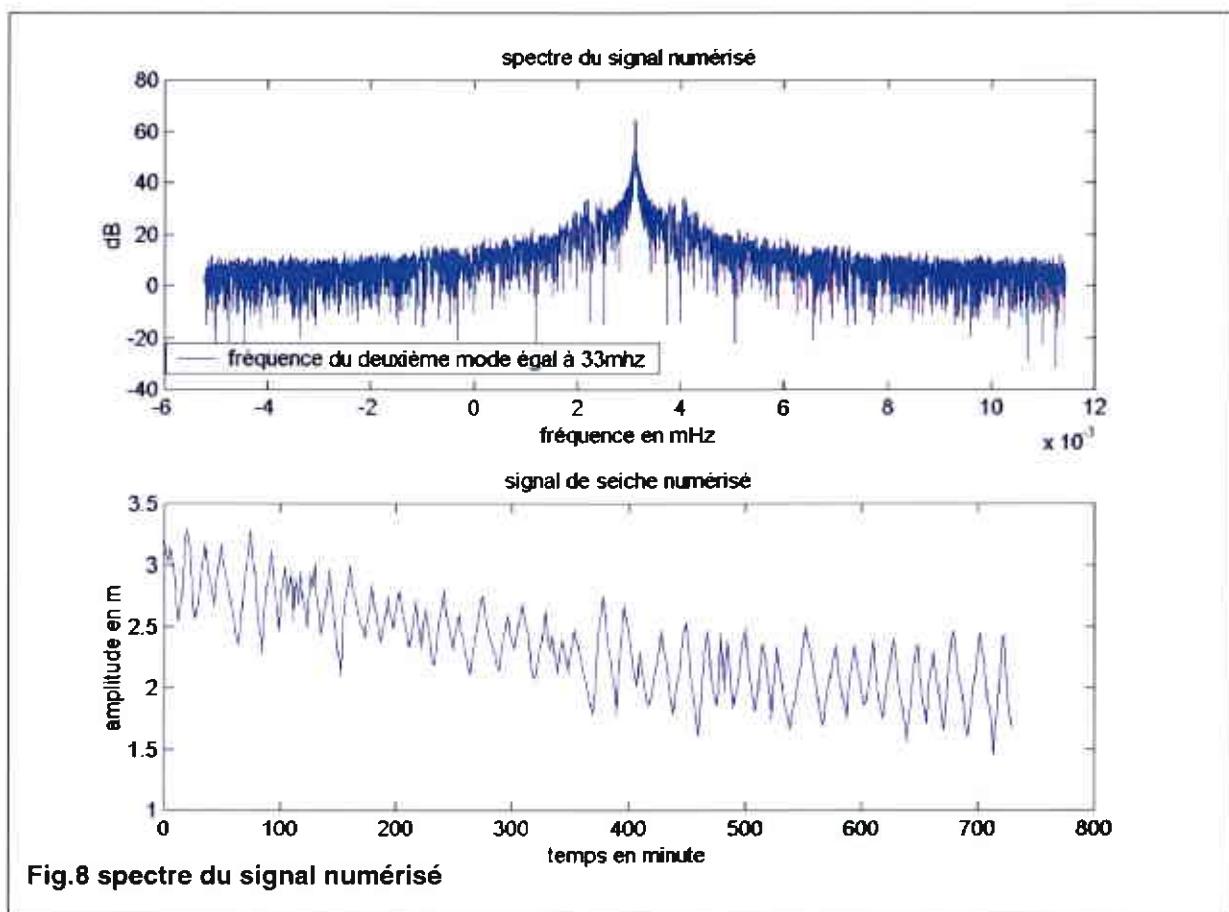


Fig.8 spectre du signal numérisé

L'analyse spectrale effectuée n'est pas rigoureuse, car la fréquence d'échantillonnage, n'a pas été rigoureusement la même. Le signal a été numérisé à la main à partir d'un marégramme scanné. Pour avoir rigoureusement le spectre du signal de seiche, il faudrait avoir des enregistrements toutes les minutes du niveau de l'eau dans le port de Groix. Ces enregistrements pourront montrer la présence de tous les modes du phénomène. De plus le signal de marée à Groix est entièrement connu puisqu'il s'agit d'un port de référence (on connaît les constantes harmoniques du signal de marée à Groix). Pour connaître le véritable spectre de la seiche, il suffit d'enlever au signal de seiche, le signal de marée. Ces enregistrements numériques toutes les minutes seront disponibles quand le marégraphe analogique de Groix sera changé par un marégraphe numérique.

2.2.5. Résultats et conclusions.

L'analyse s'est portée sur les marégrammes de 1997 à 2003. La hauteur de la seiche peut atteindre 1,3m (10 mars 2003) mais cela est plutôt rare ; en général la hauteur de l'onde est de l'ordre de 20 cm à 50 cm. Par contre pour toutes les seiches observables, la période est de 4min30s ; c'est à dire que pendant 2min15 le port se remplit et que pendant les 2min15 suivantes il se vide. Il est intéressant de noter que le port peut osciller entre $\frac{1}{2}$ journée et 2 jours après qu'il y ait eu l'impulsion de départ. Une analyse spectrale complète n'est pas vraiment nécessaire pour la suite de mon étude , mais elle peut néanmoins être intéressante. Il est en effet rare de pouvoir observer des 2^{ème} mode ou des 3^{ème} mode dans un phénomène de seiche. Il est même curieux que ce soit le 2^{ème} mode qui soit prépondérant devant le premier. La seiche entre Groix et Lorient est pour cela assez unique .

2.2. Analyse des courants induits par la seiche.

2.2.1. Travaux de la société ERAMM

En décembre 95 la société ERAMM a effectué une étude de courantologie dans les bassins du port de Groix. L'objectif de cette étude est par l'intermédiaire d'un modèle numérique de simuler les courants induits par une excitation externe de type seiche pour connaître la faisabilité d'une installation de pontons flottants dans le bassin de l'est : les résultats de ses simulations permettent de mieux appréhender les sollicitations hydrodynamiques auxquelles ces structures d'amarrage sont soumises.

ERAMM a utilisé le simulateur TIDAL[®] pour réaliser leur étude. TIDAL est un logiciel qui permet de simuler la courantologie, les équations instationnaires de l'hydrodynamique sont résolues sur un maillage bidimensionnel de la surface libre. Le profil des vitesses est considéré en moyenne sur la profondeur. La méthode est fondée sur une résolution en volume fini ce qui impose le respect intrinsèque des lois de conservation de la masse.

Le maillage est une grille régulière et rectangulaire fin dans le port et de plus en plus grossier lorsque l'on s'éloigne de la digue principale. Une bathymétrie très fine du port est nécessaire, c'est pourquoi ERAMM a lui même réalisé la bathymétrie dans le port.

2.2.2. Résultats et critique de l'étude.

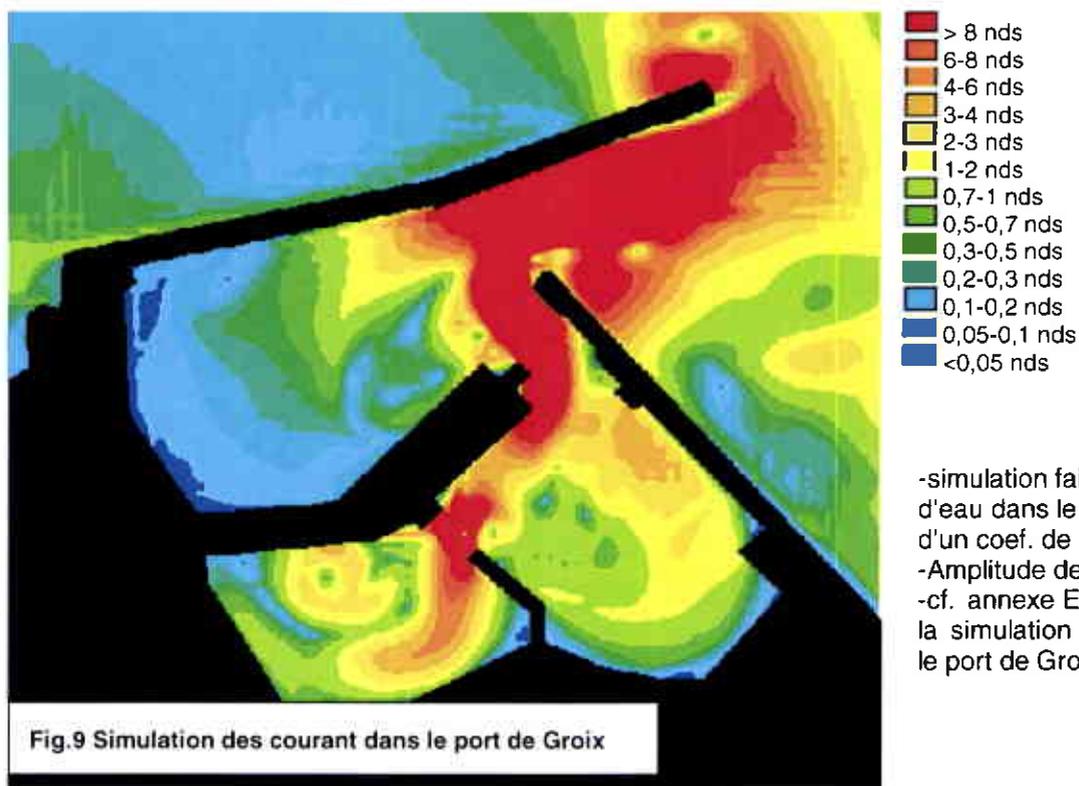
Les résultats ont été obtenus pour 4 simulations du phénomène : pour une onde de 1m et de 1,5m ; pour une marée haute et une marée basse en période de grande marée d'équinoxe (coefficient de 120).

Courants induit par les seiches dans les deux bassins du port

		seiche de 1m	seiche de 1,5m
pleine mer	passé principal	3 nds	6 nds
	passé du 2ème bassin	1,6 nds	3,5 nds
basse mer	passé principal	6 nds	plus de 10 nds
	passé du 2ème bassin	3 nds	7 nds

Les valeurs que trouve ERAMM montre bien la violence des courants que peuvent rencontrer les capitaines lors de très forte seiche. Evidement, les seiches qui dépassent 1m sont rares (tous les cinq ans), et celles supérieures ou égales à 1,5m sont quasi inexistantes (un cas d'école en décembre 1985 avec 1,7m de marnage), mais il faut bien voir que le jour où le navire rencontre de tels courants, il met en danger le bateau et les passagers. Le gros défaut de leurs simulations est de les avoir faites pour des grandes marées, alors que l'onde stationnaire a du mal à ce développer dans ces conditions.

Les travaux de ERAMM sont par contre intéressants pour avoir une simulation des courants induits par la seiche quelque soit l' amplitude et quelque soit le type de marée. D'une manière générale on peut déjà affirmer que pour une seiche de 1m, les courants varient de 1 à 4 nœuds suivant que l'on se trouve à marée basse marée haute.



2.4. Analyse des données météorologiques.

2.4.1. Analyse des conditions météorologiques locales.

Les seiches se déclenchent par période de mauvais temps d'après tous les observateurs du phénomène. Ce terme « mauvais temps » est très vague et ne permet pas de justifier de manière précise l'apparition des seiches. Comme on l'a vu précédemment, pour que le phénomène se déclenche, il faut une excitation extérieure périodique dont la fréquence permettra de déclencher l'oscillation. La houle n'aura jamais une période suffisamment longue pour déclencher le phénomène comme nous l'avons vu au-dessus (10-20s maximum) . Venons-en au vent .Le vent qui souffle par mauvais temps, ne souffle pas avec un mouvement de va et vient, mais si l'air est instable, les rafales de la masse d'air soufflent de manière bien plus forte que le vent moyen. Les rafales qui apparaissent périodiquement peuvent peut-être déclencher le phénomène. Ceci sera en plus favorisé par le fait que : si le vent souffle de manière transversale sur le canal, il a tendance à fortement empiler l'eau sur un des bords et cette accumulation d'eau lorsque les rafales se relâchent oscille à la manière d'un balancier. Ensuite ce mouvement est entretenu pendant toute la durée du coup de vent et sera d'autant plus important que le coup de vent et les rafales sont fortes. L'analyse des conditions météorologiques les jours de seiches vont permettre de comprendre le phénomène et de voir si ces hypothèses sont justes.

Rappel :

Ici, on s'intéresse à toutes les seiches qu'il y a eu entre 1997 et 2003 ; c'est à dire lorsque l' amplitude de la seiche dépassait 10cm (20cm crête à crête). Chaque seiches de 1997 à 2003 a été étudiée pour pouvoir conclure de manière précise sur les causes du déclenchement de cette seiche.

2.4.1.1. Le vent.

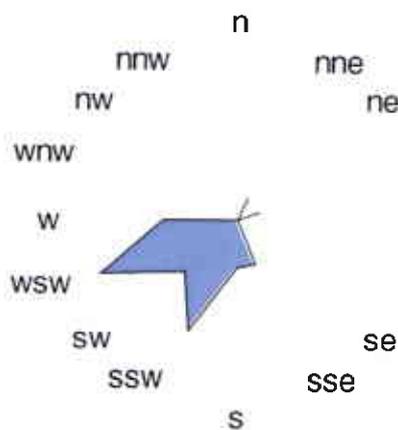
Les données météorologiques proviennent du sémaphore de Beg Melen à la pointe ouest de Groix et de la station météorologique de Quéven. Ces données qui traduisent l'état du vent soufflant entre Groix et Lorient par période de seiche sont constituée de :

- la direction du vent moyen à 10m
- la vitesse du vent moyen en nœuds à 10m,
- la direction du vent maximal instantané (uniquement pour Quéven),
- la vitesse du vent maximal instantané en nœuds (uniquement pour Quéven).

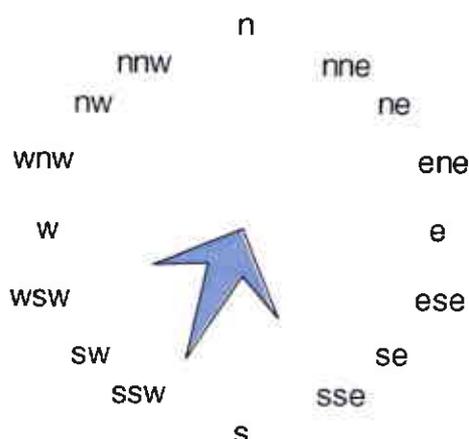
Directions des vents.

La côte nord de Groix est orientée au NNE. Pour que le vent souffle de manière transverse sur le canal Groix-Lorient , il doit soit souffler du NNE ou soit du SSW. (pour les statistiques de vent à Groix, cf. Annexe F).

Directions des vents pour les seiches de plus de 20cm



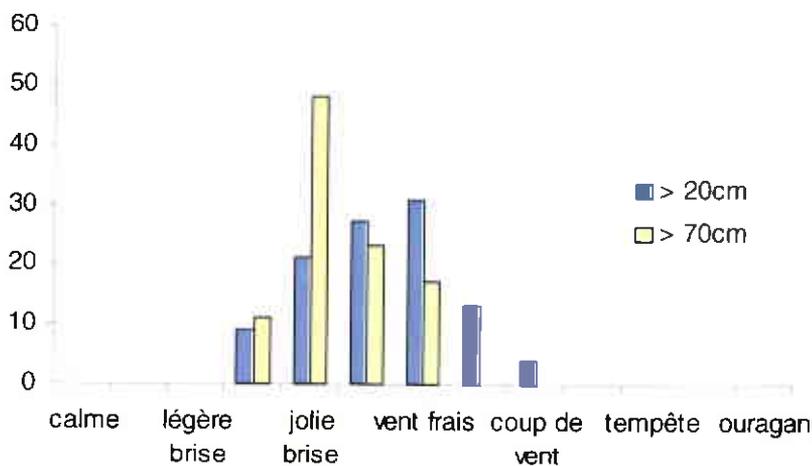
Directions des vents pour les seiches de plus de 70cm



Pour les seiches de plus de 20cm, le secteur de vent est assez large (voir anarchique) . Il varie du secteur WSW au SSE pour un flux du secteur sud et pour un flux de nord, la seiche se développe par vent de NNE. Déjà il est intéressant que la seiche se développe lorsque le vent souffle de manière transversale par rapport au canal et que la seiche se développe avec soit un vent provenant de Lorient vers Groix , soit avec un vent de Groix vers Lorient. La condition du vent transversal est sûrement une condition nécessaire pour que le phénomène se déclenche. Pour les seiche de plus de 70cm, on constate que le secteur de vent se réduit et la direction privilégiée est le SSW.

Force des vents.

chiffre beaufort	terme descriptif	vitesse en nœuds	% d'apparition d'une seiche :	
			Sup. à 20cm	Sup. à 70cm
0	calme	< 1	0	0
1	très légère brise	1 – 3	0	0
2	légère brise	4 – 6	0	0
3	petite brise	7 – 10	9	11
4	jolie brise	11 – 16	21	48
5	bonne brise	17 – 21	27	23
6	vent frais	22 - 27	31	17
7	Grand frais	28 - 33	13	0
8	coup de vent	34 – 40	4	0
9	fort coup de vent	41 – 47	0	0
10	tempête	48 – 55	0	0
11	violente tempête	56 – 63	0	0
12	ouragan	> 64	0	0



Conclusions :

Il n'y a pas de lien entre la force du vent et l'amplitude de la seiche comme on pouvait le penser. Les seiches de forte amplitude ne se développent pas lorsque le vent souffle de manière soutenue perpendiculairement aux Coureaux de Groix. Le fait que le vent souffle de manière transversale au canal n'apparaît pas être une condition suffisante pour qu'il y ait une seiche. La seule conclusion que l'on peut tirer au vue de l'analyse des conditions de vent est qu'il semblerait qu'un fort vent soufflant de manière parallèle au bassin empêche le phénomène de seiche de s'entretenir.

2.4.1.2. La pression.

La pression atmosphérique agit directement sur la surface de l'eau. Les dépressions élèvent la surface de l'eau et les anti-cyclones la font baisser. Le niveau de l'eau monte de 1cm lorsque la pression augmente de 1 hectopascal. Le paramètre de pression est un paramètre qui varie peu, il est donc peu probable que, localement, la pression soit différente entre Groix et Lorient, et que cette différence de pression entre les deux bords puisse donner naissance à une seiche. Par contre, les ondes atmosphériques de pression peuvent être à l'origine d'un forçage qui amène une onde stationnaire entre Groix et Lorient.

Mais pour confirmer cette hypothèse, il faudrait avoir les enregistrements de la pression en continu avec des barogrammes qui ont une précision suffisante en abscisse et en ordonné pour voir les petites variations de l'ordre du mb qui peuvent arriver sur 5 minutes. Malheureusement, aucune station météorologique n'a ce type de barographe puisqu'ils sont aujourd'hui remplacés par des enregistrements numériques. Les données de pression dans les stations météorologiques militaires (Lann Bihoué, Lanvéoc, Landivisiau) sont enregistrées toutes les minutes et sont

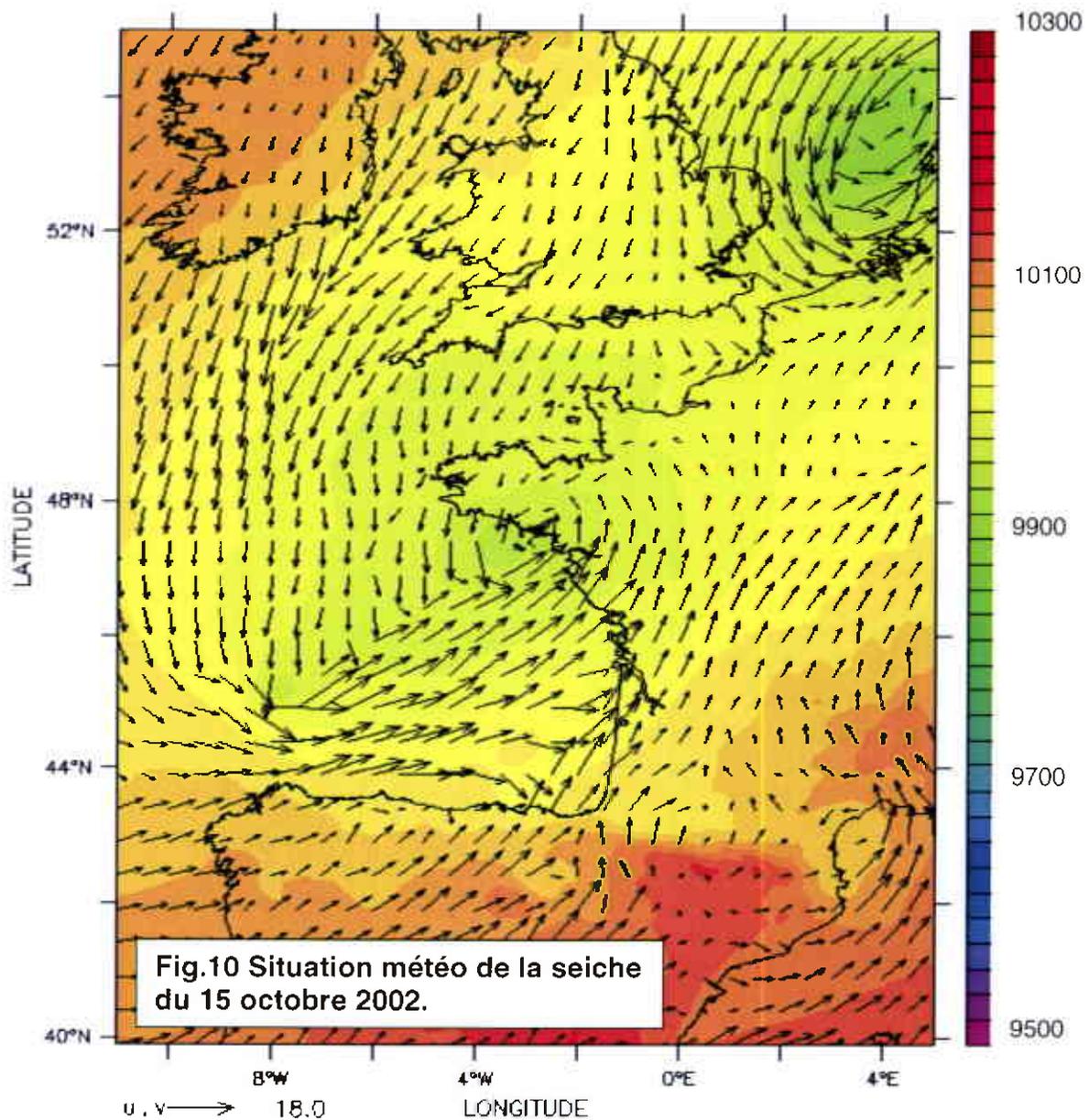
ensuite archivées pendant 1 mois. Lors des seiches significatives, on peut ainsi récupérer ces enregistrements et après une analyse spectrale puisque la période d'échantillonnage est de 1 minute, voir si dans la bande des 5 minutes il y a ou non présence de pics. De tels enregistrements seraient intéressants à avoir au large de Groix, avant et après le talus continental. Contrairement au barographe analogique classique qui est très peu coûteux, la mise en place d'une bouée est trop coûteuse pour le Conseil Général, mais ce dispositif peut intéresser les laboratoires de recherche fondamentale en océanographie côtière comme l'IFREMER désireuse de pousser l'étude.

2.4.2.3. Les images radar et satellites.

Météo France enregistre tous les jours des images satellites dans le visible et l'infrarouge et des images radar utiles pour faire apparaître les précipitations et donc les fronts. Malheureusement ces enregistrements ne sont archivés qu'une semaine. Il serait néanmoins intéressant de la même façon qu'avec les enregistrements de pression, de récupérer toutes les images radar et satellites des jours où une seiche importante s'est développée pour vérifier si les seiches ne sont pas le résultat d'un passage d'un front.

2.4.3. Vision synoptique des cartes météorologiques.

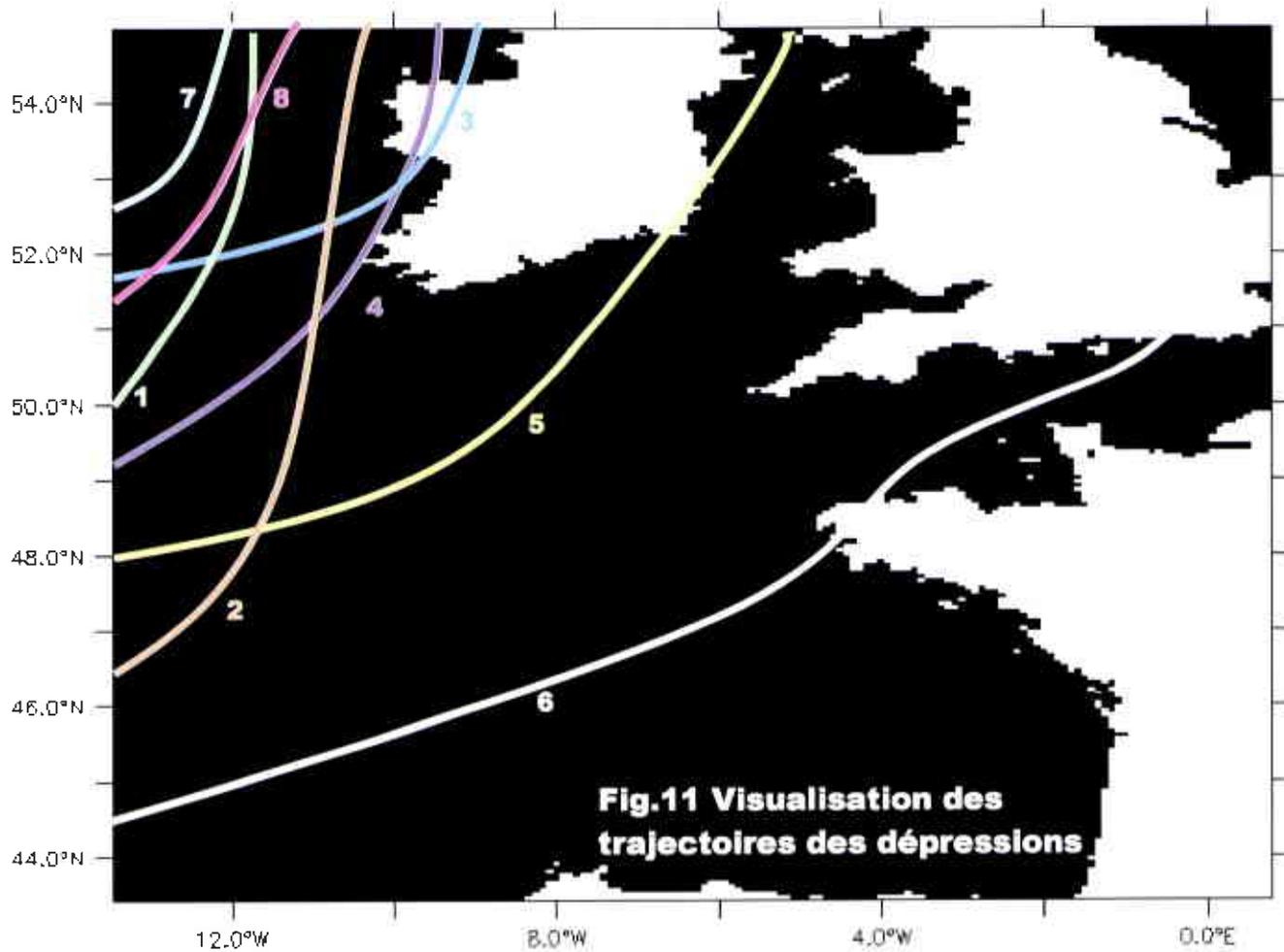
L'IFREMER possède depuis peu une base de données météorologiques issues du nouveau modèle de prévision, Aladin. A l'aide du logiciel américain, développé par NOAA, ferret, on peut extraire de cette base de donnée les champs de vents et les champs de pression des jours où les seiches se sont développées. L'idée est d'avoir une vision globale de la situation météorologique à l'aide d'animation par période de seiche et de trouver les liens entre les différentes situations météorologiques.



Pression atmosphérique en pascal

Pour visualiser les animations météorologiques, voir le cd-rom n°1 joint avec le dossier.

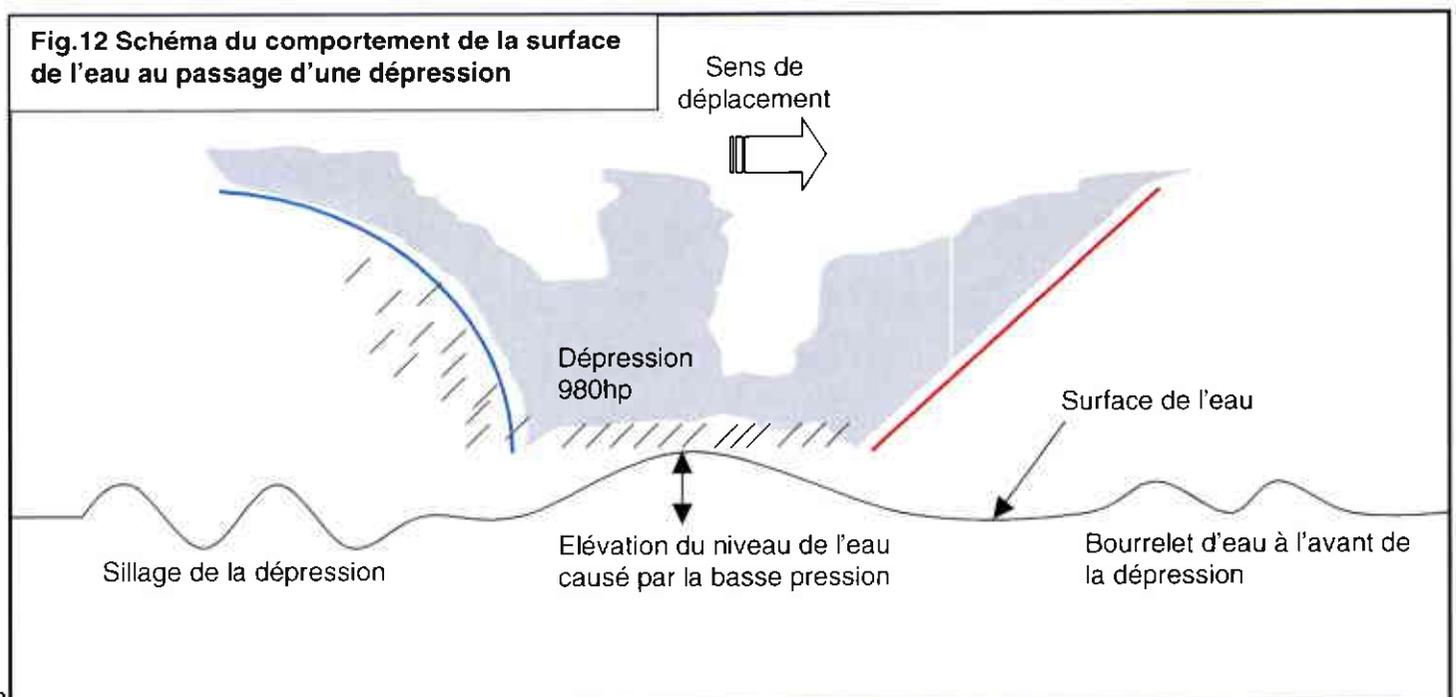
Résultats :



	Dates d'apparition du phénomène de seiche	Amplitude de la seiche	Pression au centre de la dépression
1	20 novembre 1997	1,30m	970hp
2	30 décembre 98	1,20m	964hp
3	5 décembre 2000	1m	970hp
4	11 décembre 2000	1m	980hp
5	2 et 3 janvier 2001	1,30m	962hp
6	15 octobre 2002	80cm	982hp
7	10 et 11 mars 2003	1,30m	968hp
8	11 février 2003	1m	980

Lorsque les seiches significatives apparaissent, on remarque que les dépressions proviennent du SW au large de la Galice sans forcément passer sur la Bretagne, et qu'elles ont une trajectoire du sw vers le nord. La pression au centre de ces dépressions est assez basse avec en moyenne environ 975hp. Globalement, on peut dire que nous avons à faire aux classiques dépressions du sud-ouest qui frappent régulièrement nos côtes durant l'année. Ceci rejoint les observations faites de la houle. La houle en période de seiche, est longue du sud ouest et relativement importante (supérieur à 3m et supérieur à 12s). Il y a sûrement un lien entre ce type de dépression et la cause des seiches à Groix.

Les dépressions produisent des ondes de gravité dans l'océan de plusieurs manières. Tout d'abord, la dépression lorsqu'elle se déplace sur l'océan se comporte de la même manière qu'un aspirateur sur une moquette : elle aspire l'eau sous elle et lorsque cet aspirateur se déplace sur l'océan, il se crée un sillage à l'instar des bateaux. Ce sillage est composé d'onde de gravité dont la vitesse dépend de la profondeur $v = \sqrt{gH}$. Une dépression creuse, pousse également devant les eaux qui s'entassent, ce qui fait naître une surélévation de la surface qui se situe en avant et à droite dans l'hémisphère nord de la tempête. Ce bourrelet d'eau modifie l'équilibre de la mer et la pesanteur tend à le rétablir en créant une onde de gravité dont la vitesse dépend elle aussi de la profondeur du bassin. Ce type d'onde a une amplitude proportionnelle à la baisse de la pression. Une baisse de 1hp entraîne une élévation de l'eau de 1cm. L'amplitude des ondes sera de 50 cm pour une dépression de 960hp par exemple. Les simulations numériques permettront de connaître avec précision les ondes de gravité notamment leurs périodes créées par les dépressions qui ont été observées les jours de seiches.



2.5. Expertise de navigation.

L'analyse des aspects nautiques et des conditions de navigation a été réalisée à partir des entretiens approfondis avec les commandants de liaison :

- Robert Bévin capitaine principal du st Tudy qui prend sa retraite à la fin de l'année en service depuis 20 ans,
- Roger Turbé capitaine principal du Kreiz Er Mor entre 1986-1999 actuellement à la retraite.
- Jean-René Leroux capitaine du Kreiz Er Mor en service depuis septembre 2003 .

Cette analyse a permis d'identifier clairement les différents éléments d'insécurité de la navigation sur la ligne régulière et de savoir :

- comment le « ressac » se manifeste dans la réalité,
- quand est ce qu'il devient dangereux,
- ce que veulent les commandants comme aide à la décision ou comme aménagement portuaire pour sécuriser la zone

2.5.1. Généralités.

- Liaison maritime Lorient /île de Groix (Port -Tudy) :

La liaison est assurée par la Compagnie Morbihannaise et Nantaise de Navigation et fait partie des liaisons maritimes départementales. Le département confie l'exploitation de cette ligne à la C.M.N par contrat de gérance.

Nature des transports	Nbr de Passager par an	Nbr de véhicule par an	Augmentation du trafic	Prix du billet passager (adulte plein tarif)	Prix pour une voiture (3,81 à 4,42 m)	Nbr de navette par jour
Passagers Véhicules Marchandises	430 000	23 000	3% par an	10,94€	116,40€	4/5 l'hiver 8/9 l'été

- Caractéristiques des navires assurant la liaison Lorient-Groix.
 (pour plus d'information sur les navires, cf. Annexe H)

Nom du navire	Longueur	Largeur	Tirant d'eau	Nbr. de passager	Capacité en véhicule
KREIZ ER MOR	39,1m	10,0m	2,7m	520	18
ST TUDY	44,5m	11,0m	2,7m	440	22
GOURINIS*	25,6m	9,0m	1,6m	194	/
GUERVEUR	45,0m	10,1m	2,5m	612	27
ACADIE II**	46,0m	12m	2,8m	Non officiel	Non officiel

* bateau remplaçant

** bateau en service pour 2006-2007

• Caractéristiques du port de Groix.

L'organisation générale des bassins de Port Tudy correspond au schéma suivant :

- L'avant port, où se trouve la zone d'évitage ainsi que des mouillages sur coffre utilisé pendant période estivale au fond du bassin,
- Le bassin à flot, destiné uniquement à la plaisance,
- Le bassin de l'est ou bassin Suet qui accueille les bateaux de pêche et aussi des bateaux de plaisance.

	superficie	Nature des fonds (BCEOM juillet 1996)	Bathymétrie	Largeur de l'entrée
L'avant Port	18500m ²	Roches 75%, sable et vase 25%	2 à 5m	35m
Bassin de l'est	9250m ²	Idem	3m à 50cm	32m
Bassin à flot	9250m ²	idem	3,5m	7,5m

Note :

- la zone d'évitage est un cercle de 75m de diamètre.
- Cf. Annexe G pour plus de précision sur la nature des fonds

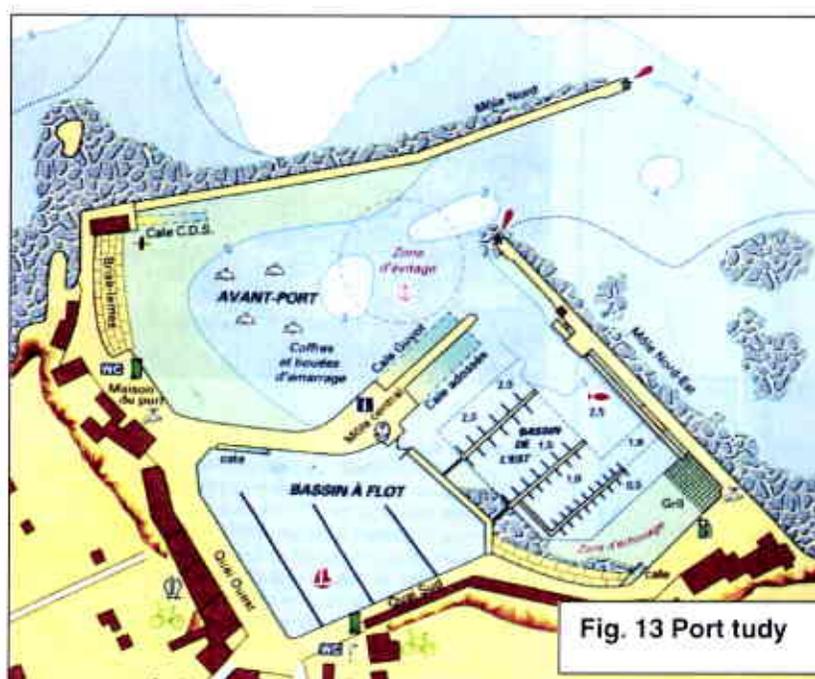
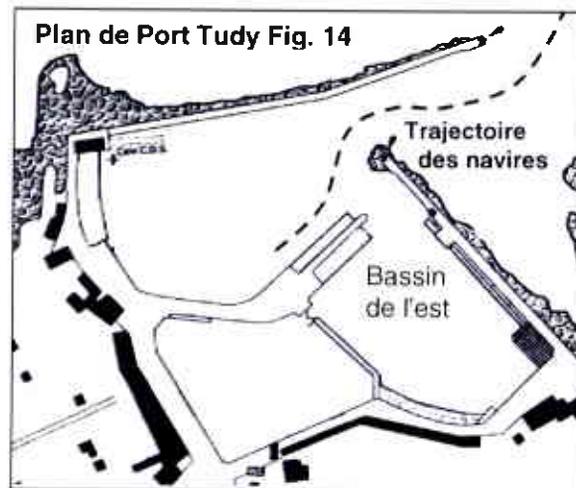


Fig. 13 Port tudy

2.5.2. Conditions de navigation.

En arrivant sur la zone les capitaines effectuent une manœuvre en forme de « S ». Leur vitesse est en général de 3 nœuds mais par période de « ressac » comme ils l'appellent, ils gardent une vitesse importante (allant jusqu'à 5-6 nœuds) pour éviter de se faire malmener par les courants. Pendant sa manœuvre d'accostage ou d'appareillage longue de 3min, le capitaine peut subir un changement de direction des courants. Le port n'étant pas symétrique, les capitaines rencontrent un courant traversier lorsque le port se vide ou se remplit au niveau de l'entrée du bassin de l'est.

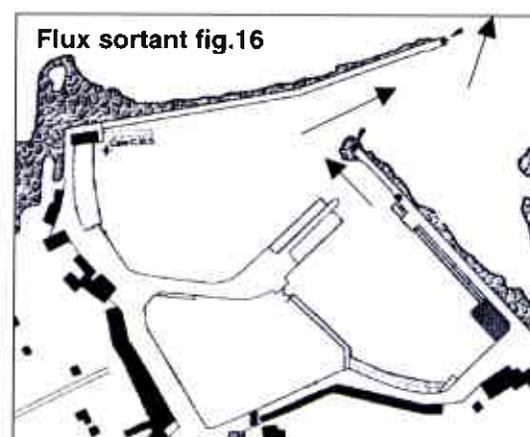
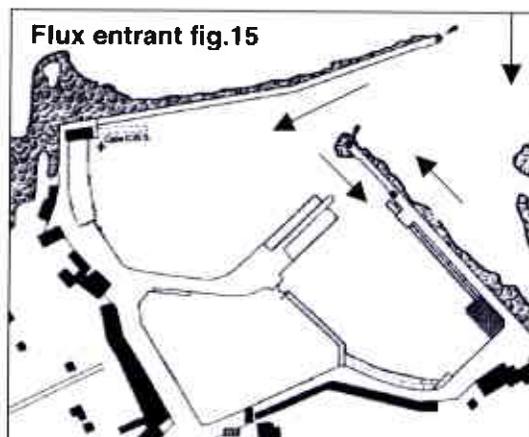


- Quand le port se remplit :

A l'entrée du port le courant porte au sud au niveau du môle nord, mais au niveau du môle nord-est, le courant porte au nord-ouest ; dans le port, le courant dans la passe principale porte à l'ouest et le courant entre la cale guyot et le môle nord-est porte au nord-est.

- Quand le port se vide :

le courant entre le môle nord-est et la cale guyot porte au nord ouest et le courant entre le môle nord et le môle nord-est porte au nord-est est.



Difficultés de la navigation lié au ressac :

- par faible visibilité ou la nuit quand les capitaines ne peuvent pas correctement observer le comportement du plan d'eau. D'autant plus que maintenant, pendant l'hiver, les capitaines effectuent une liaison de plus qu'avant, et cette liaison se fait de nuit. En plus avec ce nouveau système, les navires ne se croisent pas forcément, les capitaines ne peuvent donc pas se prévenir de l'éventuel « ressac ».
- Lorsqu'il y a du vent fort et du ressac (pas forcément important), les navires ont beaucoup de difficultés à entrer ou à sortir du port.
- Lorsque la seiche est très importante, les courants sont tels que le port se vide et se remplit interdisant toute manœuvre dans le port.
- A marée basse par vive eau avec une décote lié à de la haute pression et une baisse du niveau de l'eau dû au ressac, le port n'est pas assez profond pour accueillir les navires rouliers.

2.5.3. Les attentes des capitaines effectuant la liaison

Les attentes des capitaines dépendent essentiellement de leur expérience sur la zone. Robert Bévin trouve intéressant de pouvoir bénéficier d'une aide à la décision grâce à un équipement portuaire du type courantmètre, mais ne trouve pas utile le complément à la navigation qui décrit le phénomène. Son expérience est pour lui la meilleure des informations. Par contre Jean-René Leroux trouve que c'est très utile d'avoir un complément aux instructions nautiques qui décrit la zone par période de ressac. Le conseil général va dans le même sens que Jean-René Leroux, surtout que Robert Bévin part en retraite à la fin de l'année et pense qu'il est souhaitable d'apporter une aide à la décision aux navigants. Ces améliorations serviront d'ailleurs à tous les futurs capitaines de la zone et même aux pêcheurs et aux plaisanciers de Groix.

Autre point, les commandants sont septiques concernant un aménagement portuaire car aucun aménagement fait dans le port de Groix, n'a encore diminué ce « ressac ». En revanche ils trouvent tous que le port de Groix n'est pas adapté aux gros navires rouliers. Même sans ressac, ils trouvent que la zone d'évitage est trop petite, que le port est mal protégé du vent d'est et que la bathymétrie oblige les capitaines à raser le môle nord-est.

En définitive, les capitaines veulent trois informations qu'ils trouvent suffisantes pour sécuriser la zone :

- une information sur la violence des courants dans le port et dans la passe d'entrée,
- si le port se vide ou s'il se remplit lorsqu'ils manœuvrent,
- Par quelle situation climatique le phénomène se développe.

La solution qui collerait le mieux aux attentes des capitaines serait d'équiper le port de Groix d'un courantmètre pour connaître la violence et la direction des courants. Le complément aux instructions nautiques leurs permettrait de connaître par quel type de temps la seiche a des chances de se développer et comment les courants évoluent dans le port au cours de sa manifestation.

3. MODELISATION DU PHENOMENE

3.1. Modélisation Mathématique théorique du phénomène physique.

Une modélisation mathématique théorique, même grossière, est nécessaire avant la modélisation numérique, pour avoir les ordres de grandeurs des valeurs caractéristique de notre problème (ici on cherche à évaluer la période, les vitesses des courants et l'amplitude).

3.1.1. Les grandes équations mathématiques issues de la géophysique marine.

Les équations suivantes sont la base pour toutes les modélisations que l'on peut faire des phénomènes dynamiques qui régissent l'océan. Elles permettent de visualiser en évidence le schéma général de la circulation océanique.

Le problème que je traite a trois inconnues qui sont :

- la dénivellation de l'eau η
- la vitesse du courant longitudinal u
- la vitesse du courant transversal v
- la vitesse du courant vertical w

Je ne m'intéresse pas aux mouvements verticaux du fluide ni d'ailleurs à sa densité, sa température ou sa pression. Seules vont intervenir les équations de la quantité de mouvement c'est à dire :

- l'équation $\sum \vec{F} = m\vec{\gamma}$ issu de la 1^{er} loi de Newton.
- le principe d'inertie qui définit mon repère galiléen.

$$\underbrace{\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z}}_{\text{force d'inertie}} - fv = -1/\rho \frac{\partial P}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + fu = -1/\rho \frac{\partial P}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -1/\rho \frac{\partial P}{\partial z} - g \quad (3)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4)$$

équation de continuité

- x, y, z, t : variables d'espaces et de temps
- u, v, w : vitesses du courant selon l'axe x, y, z
- f : paramètre de Coriolis égal à $2\Omega \sin\theta$, θ étant la latitude et Ω la vitesse de rotation de la terre (à la latitude $47^\circ N$ $f=10^{-4}$ rad/s)
- ρ : densité de l'eau (considérée comme constante sur toute la colonne d'eau)
- P : Pression
- H : Profondeur moyenne du bassin

3.1.2. Approximations et résolution du système d'équation.

En faisant intervenir la dénivellation de l'eau et en faisant l'hypothèse que les vitesses verticales sont négligeables voir inexistantes (ce qui à priori est le cas), et que nous travaillons par petit fond i-e $\delta = H/L \ll 1$, ces équations dites de *shallow-water* peuvent se mettre sous la forme :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - fv = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + fu = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ P(z) = \rho g(\eta - z) + P_{atm} \quad \text{pression hydrostatique} \\ (\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})H + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \end{array} \right.$$

Le problème qui nous intéresse est un problème à une échelle précise et à une fréquence d'apparition déterminé. Ces conditions vont permettre de simplifier les équations de la dynamique pour que nous puissions faire apparaître une solution analytique. Nous ne tenons pas en compte ici de la friction car nous ne cherchons pas à déterminer comment le phénomène s'amortit dans le temps. Dans la réalité lorsqu'il n'y a plus d'excitation, la friction sur le fond ainsi que la force de viscosité vont permettre l'atténuation et la dissipation du phénomène.

- Hypothèses faites

Nous travaillons à une petite échelle dans un bassin étroit et peu profond ; la période d'apparition du phénomène est relativement rapide et nous travaillons avec un océan non stratifié à la latitude de 47°N.

- Les ordres de grandeur des paramètres du problème

	unité	symbole	Ordre de grandeur
courant	m/s	u	0.5
période d'apparition	s	T	300
Paramètre de Coriolis	Rad/s	f	0,0001
longueur du bassin	m	L	5500
Profondeur	m	H	20
amplitude du phénomène	m	a	1

- Le système d'équation devient après simplification :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad (a) \\ \frac{\partial v}{\partial t} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} + \tau^y / H \quad (b) \\ (\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y})H + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (c) \end{array} \right.$$

$\partial(c)/\partial t :$

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} - c^2 \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (d)$$

avec $c^2 = gH$

La solution du problème est une onde sinusoïdale stationnaire entre les deux bords du type $\eta(x, y, t) = \eta(y) \cos(kx - \omega t)$.

Rappel :

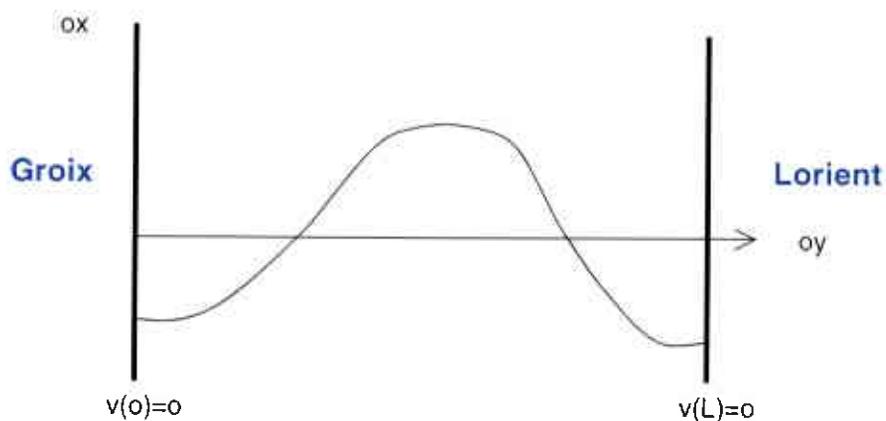
hauteur, h , entre creux et pic; double de l'amplitude, a , de l'onde ;
 longueur d'onde, λ , distance entre deux pics successifs et nombre d'onde, $k (= 2\pi / \lambda)$;
 période, T , fréquence, $f (= 1 / T)$, et pulsation, $\omega (= 2\pi / T)$.

On injecte $\eta(x, y, t)$ dans l'équation (d) :

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} + \alpha^2 \eta = 0 \quad (e)$$

$$\alpha^2 = \omega^2 / c^2 - k^2$$

3.1.3. Conditions aux limites



Il existe deux frontières sur les bords du détroit qui impose aux vitesses selon l'axe y d'être nulle $v(0) = v(L) = 0$. Je rappelle que l'existence nécessaire d'un ventre sur chaque paroi extrême (déplacements verticaux seuls possibles) entraîne $n\lambda/2 = L$ (n entier, L longueur du détroit).

Soit la relation de dispersion et la période : $\alpha = n\pi/L$ et $k = n\pi/L$, $n \in \mathbb{N}^*$

$$\omega_n^2 / c^2 = 2(n\pi/L)^2$$

$$T_n = \sqrt{2L} / \omega_n$$

Ordres de Grandeurs des différents modes :

			ordre de grandeur	
	unité	symbole	mode 1	mode 2
largeur du canal	m	L	5500	5500
célérité	m/s	$c=\sqrt{gH}$	14,14	14,14
période du bassin	min	T_n	9min10s	4min35s
pulsation du bassin	rad/s	ω_n	0,0011	0,022

Le marégramme montre que le mode 2 est prépondérant dans le bassin de port Tudy puisque la période observée est de 4min30s. La période théorique que l'on trouve dépend uniquement de la géométrie du bassin (L et H) et ne dépend absolument pas des conditions climatiques.

3.1.4. Les valeurs théoriques du courant.

- En tenant compte des courants induits par une seiche d'amplitude A, on trouve les courants u et v en partant des équations suivantes :

$$\begin{cases} \partial u / \partial t = -g \partial \eta / \partial x \\ \partial v / \partial t = -g \partial \eta / \partial y \end{cases}$$

on intègre ce système d'équation en y injectant $\eta(x,y,t)=A\cos(\alpha y)\cos(kx-\omega t)$, et en moyennant sur une période suivant le domaine x, y, t :

$$|u_{\text{moy}}| = |v_{\text{moy}}| = gAT/L$$

- Ordre de Grandeurs :

$$gT/L = 0.5 \text{ s}^{-1}$$

pour une amplitude de seiche de 1m, $|u_{\text{moy}}| = |v_{\text{moy}}| = 0,5\text{m/s}$ (1noeuds)

Bilan :

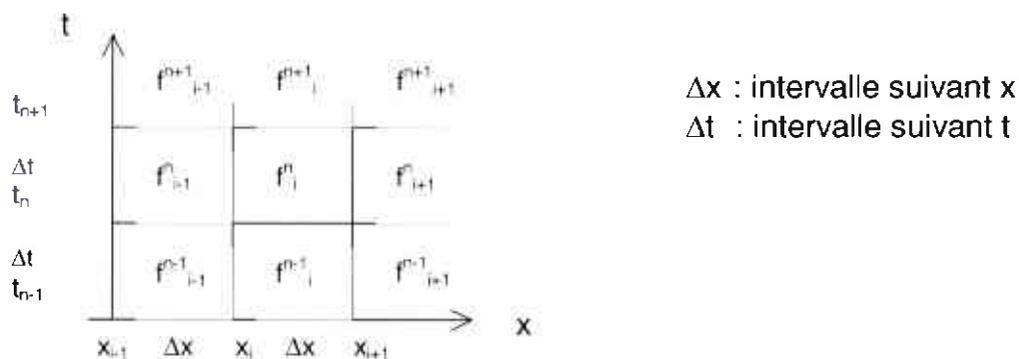
Expression théorique de la seiche

$$\begin{aligned} \eta(x, y, t) &= A\cos(\alpha y)\cos(kx-\omega t) \\ \alpha &= n\pi/L \quad n \in \mathbb{N}^* \quad \text{et} \quad k = n\pi/L \\ \omega_n^2 &= 2c^2(n\pi/L)^2 \\ T_n &= \sqrt{2L}/nc \end{aligned}$$

3.2. La modélisation numérique.

En une vingtaine d'années, l'apparition des ordinateurs, et des développements de l'analyse numérique ont complètement bouleversé l'océanographie côtière. Il est devenu possible de résoudre, à un degré d'approximation faible et à peu près connu, les équations de l'hydrodynamique jusque-là intraitables. Progressivement, une nouvelle discipline est apparue : la modélisation mathématique (on sous-entend ici la résolution numérique approchée des équations mathématiques connues dès le 18^{ème} siècle). Les paragraphes suivants donnent les grands principes qui permettent de réaliser un logiciel d'océanographie côtière.

3.2.1. Notion D'analyse numérique : les différences finies.



Dans les méthodes de résolution en différences finies, les dérivées (ou différentielles) seront « approchées » par des différences. Cette transformation implique que les équations numériques, même proches des différentielles que l'on entend résoudre, ne leur seront jamais rigoureusement identiques. Leurs solutions en différeront également. L'idée de base est de remplacer directement des expressions différentielles par des différences, en se fondant sur le développement d'une fonction en série de Taylor :

$$\begin{aligned}
 (f_{i+1}^n - f_i^n)/\Delta x &= (\partial f^n / \partial x)_i + 0(1) \\
 (f_{i+1}^n - f_{i-1}^n)/2\Delta x &= (\partial^2 f^n / \partial x^2)_i + 0(2) \\
 (f_i^{n+1} - f_i^n)/\Delta t &= (\partial f^n / \partial t)_i + 0(1) \\
 (f_i^{n+1} - f_i^{n-1})/2\Delta t &= (\partial^2 f^n / \partial t^2)_i + 0(2)
 \end{aligned}$$

3.2.2. Le programme Mars 2D.

MARS 2D appartient à la catégorie des modèles 2DH. Il effectue le calcul des courants, des hauteurs d'eau dans un écoulement liquide plan quasi horizontal. On utilise pour les calculs deux types d'informations :

- la topographie du domaine : Bathymétrie et trait de côte (fournie par une double matrice des profondeurs)
- Les conditions aux limites sur les frontières ouvertes du domaine : la marée et les données météorologiques.

Les hypothèses de calcul sont habituelles aux modèle 2DH :

- la composante horizontale du courant ne varie pas beaucoup depuis la surface jusqu'à proximité du fond (courant de masse). Le modèle calcule la moyenne des courants sur la verticale.
- les vitesses verticales sont faibles.

La loi qui décrit le comportement physique du système, à savoir le second principe de Newton est intégrée sur la verticale et elle donne lieu au système suivant dit de Saint-Venant :

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + g \frac{\partial \xi}{\partial x} - f v - \epsilon (\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}) + g u \sqrt{(u^2 + v^2)} / k^2 H^{4/3} + \frac{\partial P_a}{\partial x} + \tau_x / \rho H = 0 \\ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + g \frac{\partial \xi}{\partial y} - f u - \epsilon (\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}) + g v \sqrt{(u^2 + v^2)} / k^2 H^{4/3} + \frac{\partial P_a}{\partial y} + \tau_y / \rho H = 0 \\ \frac{\partial \xi}{\partial t} + \frac{\partial (Hu)}{\partial x} + \frac{\partial (Hv)}{\partial y} = 0 \end{array} \right.$$

inertie Coriolis terme non linéaire friction pression atmosphérique
 gradient de pression tension de vent
 Equation de continuité

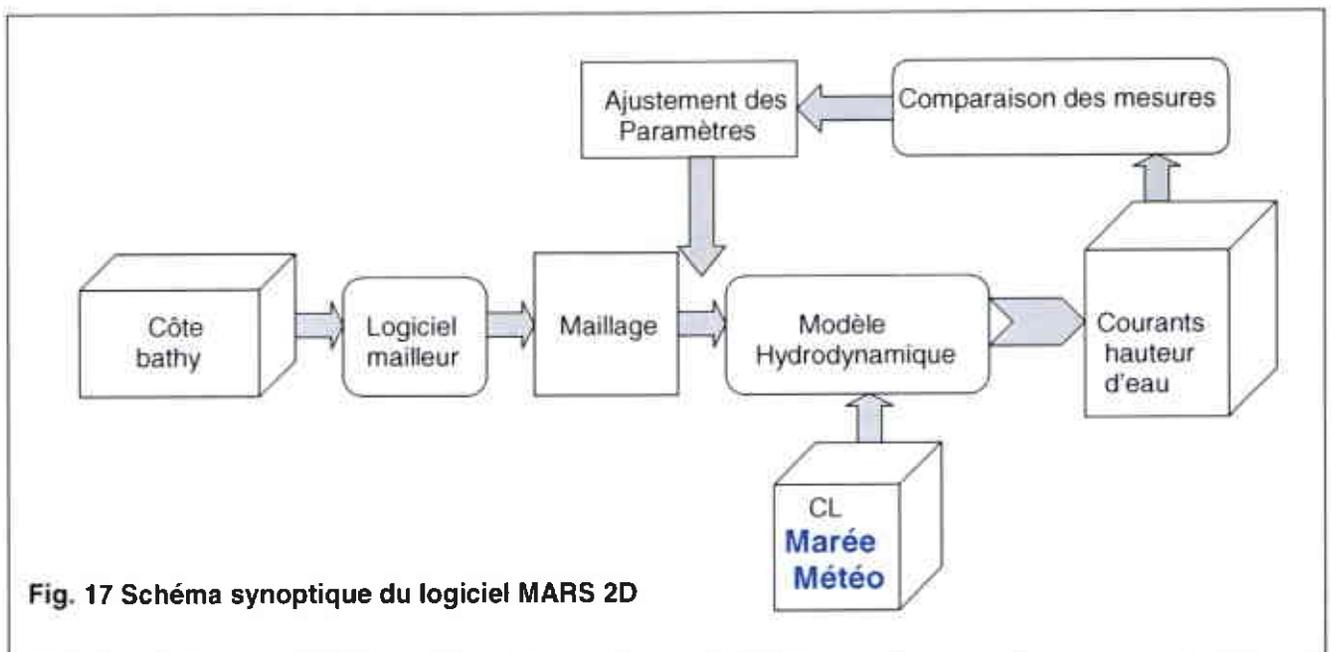


Fig. 17 Schéma synoptique du logiciel MARS 2D

3.2.3 Les simulations numériques

Les simulations numériques ont été réalisées dans le but de mieux comprendre les mécanismes susceptibles de déclencher la seiche entre Groix et Lorient. Le modèle numérique utilisé pour ces simulations est le modèle d'océanographie côtière de l'IFREMER, le modèle MARS-2D codé en FORTRAN.

Remarque :

Pour visualiser les simulations numériques, cf. cd n°2.

3.2.3.1. Simulations du modèle global rang_0

Le modèle global rang_0, est un modèle dont la maille est de 10km. On peut rentrer dans ce modèle, la marée et les conditions météorologiques issus du modèle de prévision Arpège.

Simulation n°0.

La première simulation n°0, à été réalisée en faisant intervenir les conditions météorologiques qui varient toutes les trois heures. Ces conditions météorologiques sont composées des champs de pression et des champs de vents. Cette simulation n'a pas été retenue, car les conditions météorologiques toutes les trois heures n'ont pas pu déclencher le moindre phénomène de seiche. Ceci est à priori tout à fait normal, puisque nous savons qu'une seiche se déclenche lorsque la période du phénomène excitateur est de la même période que la seiche observée.

Simulations n°1.

Devant les résultats de la simulation zéro, nous avons essayer de prendre le problème autrement. D'après les observations météorologique des jours de seiche, ce sont à priori les dépressions creuses du SW, qui sont à l'origine des seiches entre Groix et Lorient. C'est pourquoi nous avons décidé de modéliser ces dépressions de manière théorique et de regarder comment la surface de l'eau se comportait. Cette dépression théorique idéale aura une trajectoire définie et sera toujours de la même forme. Pour chaque pas de temps, la pression sera uniforme partout à 1013hp, sauf au niveau de cette dépression dont la pression se met sous la forme suivante (cf. cd n°2 exemple de dépression théorique):

$$\left\{ \begin{array}{l} P_a(x,y,t) = P_o - \Delta p \exp [- ((x - x_s(t))^2 + (y - y_s(t))^2) / \sigma^2] \\ \text{Avec } x_s = v \cos \theta \\ y_s = v \sin \theta \end{array} \right.$$

P_o : Pression au centre de la dépression,

Δp : Ecart maximum de pression associé à la dépression

x_s, y_s : Coordonnées du centre de la dépression

σ : rayon de la dépression

v : vitesse de déplacement de la dépression

θ : Angle de la trajectoire de la dépression (90° correspond à une dépression du sud, 0° une direction de l'ouest)



Fig. 18 Simulation de la trajectoire de la dépression théorique

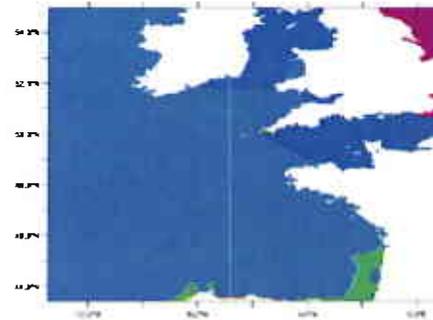


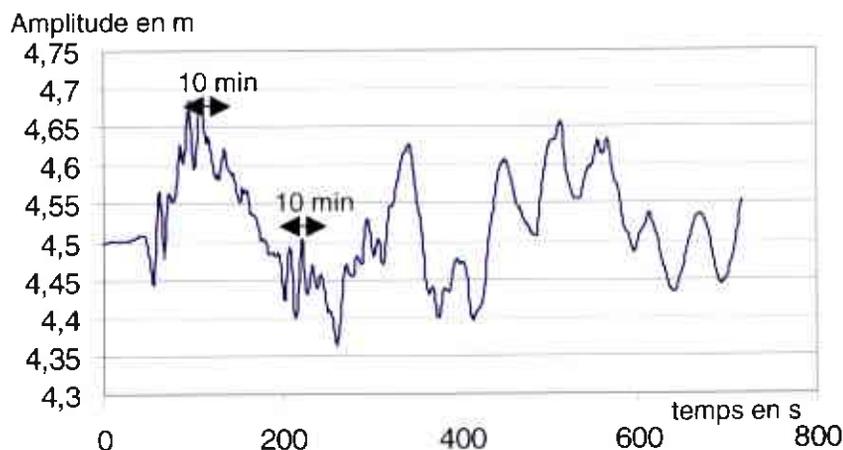
Fig. 19 Simulation des variations de la surface de l'eau au passage de la dépression théorique

La première simulation permet de voir comment se comporte la surface de l'eau lorsque une dépression passe au large des côtes bretonnes, ni la marée ni le vent n'interviennent : il n'y a que la pression autour du centre de dépression qui varie. (cf. cd n°2 simulation n°1, 1bis, 1ter). Cette dépression a été choisie volontairement assez basse à 910hp avec une trajectoire de SSW. Les résultats mettent en évidence un sillage derrière la dépression ainsi que des bourrelets d'eau devant celle-ci.

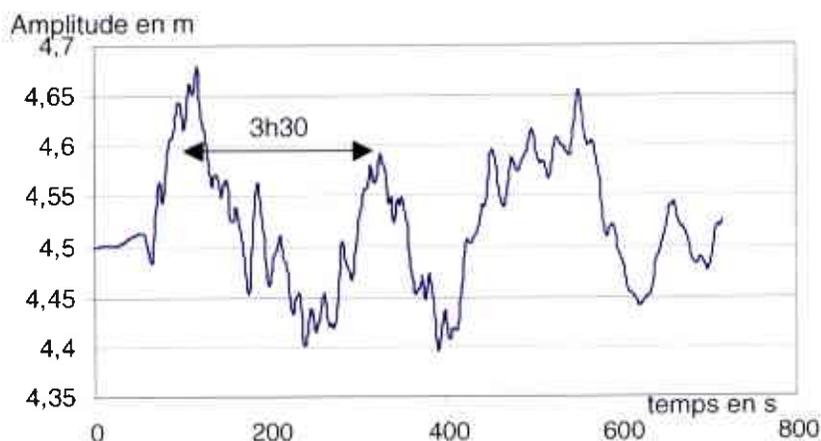
Simulations des ondes de gravité créées par le passage des dépressions

Ces simulations, avec ce modèle de dépression théorique, m'ont permis de mieux caractériser les ondes de gravité créées par les dépressions et de mieux comprendre la formation des sillages. Pour connaître ces sillages, on peut principalement jouer dans le modèle sur la grandeur de la dépression, sa vitesse de déplacement, son intensité, sa largeur et enfin sa trajectoire.

Résultats de la variation de la surface de l'eau au point 47° 30' N 3° 40' W
 situé au large de Groix :



Dépression 1 à 980hp :
 -Trajectoire SW
 -Vitesse de 80 km/h
 -rayon de la dépression 40km



Dépression 2 à 980hp :
 -Trajectoire W
 -Vitesse de 80 km/h
 -rayon de la dépression 40km

Ces simulations ont permis de montrer que la vitesse de déplacement et la largeur de la dépression n'influaient quasiment pas sur la forme du sillage. Une dépression rapide provoquait le même sillage qu'une dépression lente et, une dépression de dimension large provoquait aussi le même sillage qu'une dépression de petite dimension. La période principale de ces ondes de gravité est de 3h30 pour une amplitude de 20-30cm lorsque la dépression est de 980hp. Sur ces deux simulations, il apparaît sur le sillage, des perturbations. Il y a notamment la superposition sur le train d'onde de période de 3h30 des ondes de gravité de plus faible amplitude (environ 10cm pour la dépression 1) et de période beaucoup plus petites (environ 10 minutes pour la dépression 1). Pour la dépression dont la trajectoire est d'ouest, le sillage ne possède pas d'onde de gravité dont l'amplitude est significative avec une période de 10 minutes contrairement à la dépression dont la trajectoire est sud ouest. Ceci renforce l'hypothèse selon laquelle ce sont les dépressions du SW qui déclenchent les seiches. Par contre sur ces sillages, il n'existe pas d'onde dont la période est de 5 minutes. (pour les autres simulations d'onde de gravité, cf. annexe I).

L'explication est que les trains d'onde de période de 10 minutes, lorsqu'ils sont piégés dans les « coureaux » de Groix, excite le deuxième mode du bassin et rentre en résonance en faisant démarrer la seiche. La seule interrogation est qu'il est étrange que des trains d'ondes dont la période est égale à la période propre du 1^{er} mode déclenchent le deuxième mode du bassin et non le premier mode.

3.2.3.2. Simulations du modèle local rang_3

Le modèle local rang_3 a une maille de 100m. De la même façon que pour le modèle rang_0, on peut rentrer la marée, et les conditions météorologiques. Pour mieux connaître les phénomènes de résonance, on va essayer de recréer des trains d'ondes théoriques avec une trajectoire déterminée en ne faisant pas intervenir la marée. Ces trains d'ondes en se réfractant autour de Groix, se feront piéger dans le canal Lorient-Groix et engendreront la seiche de port Tudy. Les conditions initiales sont assez simples. On force aux frontières du modèle la surface de l'eau pour qu'elle forme une onde sinusoïdale avec une amplitude et une période définie préalablement. On réitère ce processus autant de fois que l'on veut de pseudo vagues dans notre train d'onde et la vitesse de ces pseudo vagues dépendra de la profondeur : $v = \sqrt{gH}$. On peut donc jouer dans le modèle, sur le nombre de pseudo vagues, de leur amplitudes et de leur période. La résonance a été la plus forte lorsque le train d'onde était composé de 3 vagues, et lorsque le train d'onde venait du ssw.

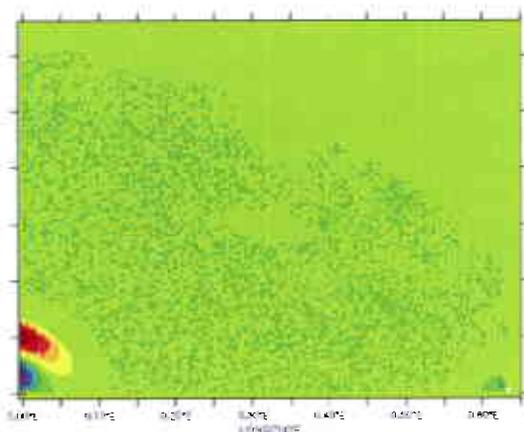


Fig. 20 Simulation du train d'onde

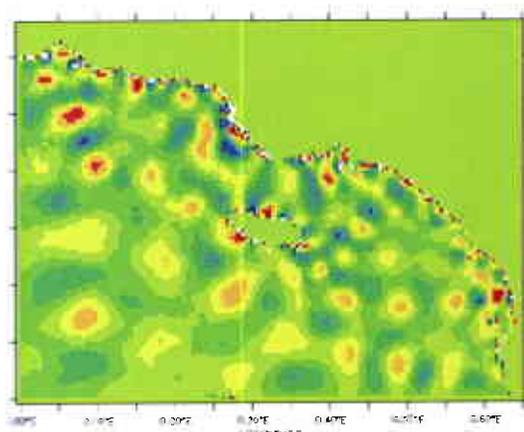
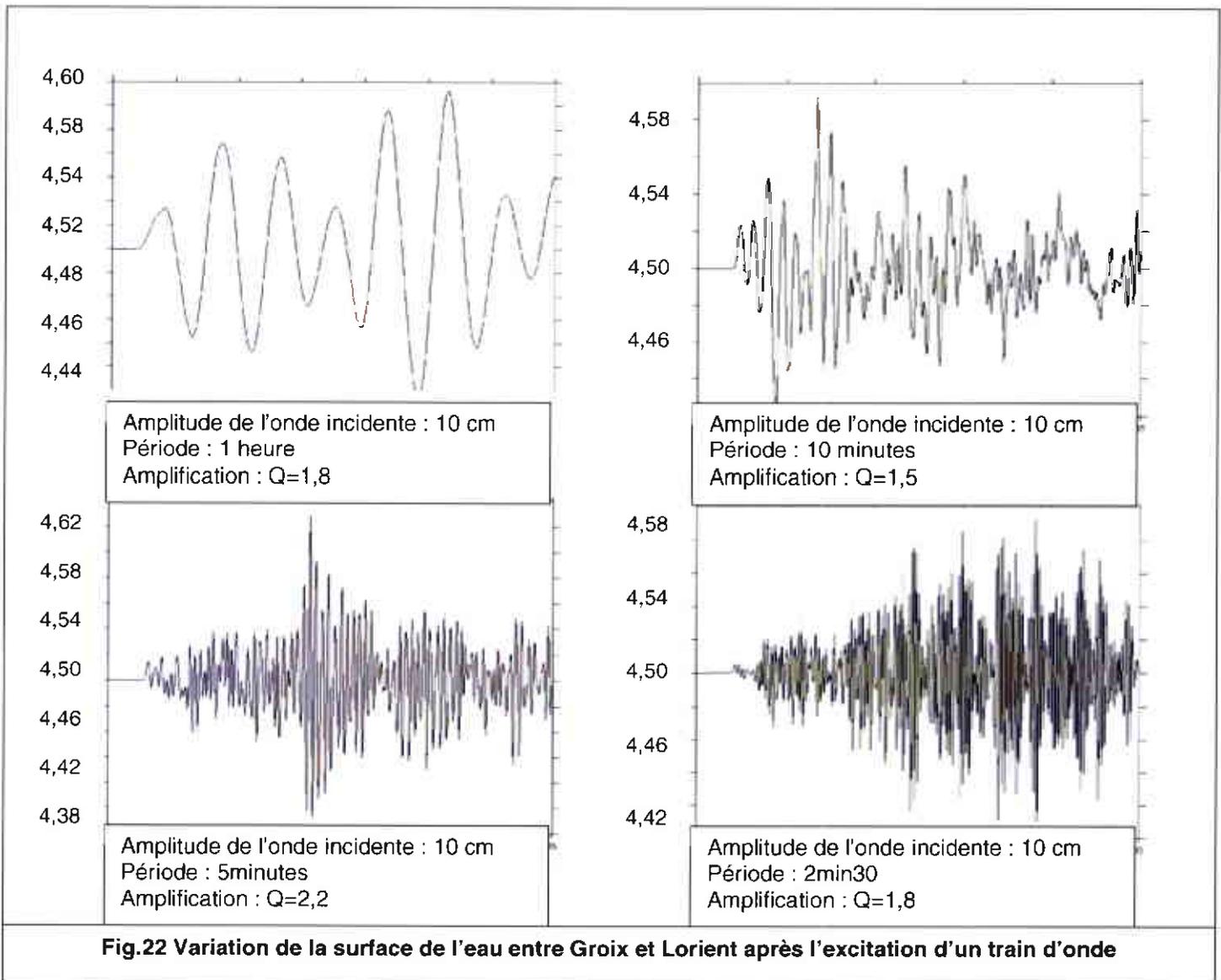


Fig. 21 Simulation de la seiche



Cf. Annexe J pour les autres simulations.

Discussion :

L'amplification la plus forte est celle engendré par les ondes de période 5 minutes ce qui à priori était attendu. La plus faible amplification est celle engendrée par les ondes de période de 10 minutes. Par contre, il est intéressant de voir, que les ondes de période de 10 minutes, lorsqu'elles se font piéger dans le canal Lorient-Groix, font apparaître le deuxième mode de période 5 minutes. Il faut bien voir que lors de ces simulations, la marée n'intervient pas ; dans la réalité, la marée dissipe le phénomène avec le frottement au fond. Dans les simulations des ondes de gravité, on a vu que les plus petite périodes présentes dans le sillage des dépression étaient de 10 minutes. La question est de savoir si cette fréquence est capable d'engendrer une seiche de période de 5 minutes. La simulation du train d'onde de 10 minutes

montre une faible amplification, mais par contre l'oscillation résultante fait apparaître le deuxième mode. Il faudrait savoir si ce deuxième mode issu du train d'onde de période 10 minutes résonne et s'amplifie de la même façon que pour un train d'onde de période 5 minutes. Pour cela, il faudrait faire tourner le modèle sur une période de 4-5 jours ce qui correspond à un temps de calcul très important (au moins 3heures). Même si cette simulation n'a pas été faite, il est très probable que ce soit les ondes de gravité de période 10 minutes qui soit à l'origine des seiches de période 5 minutes.

3.2.4. Conclusions après les simulations numériques.

Les simulations numériques ont permis de mieux comprendre les mécanismes qui sont à l'origine des ondes de gravité dans l'océan. Les seiches qui se déclenchent à Groix sont donc le résultat du passage des dépressions qui viennent du SW. Ces dépressions crée un sillage dans lequel apparaissent des ondes de gravité de période de 10 minutes et dont l'amplitude est de 10cm pour des dépressions de 980hp. Ces ondes de gravité, de la même manière que la houle, se diffracte autour de Groix provoquant une surélévation de l'eau au niveau des « coureaux ». cf. annexes K. Cette surélévation va ensuite clapoter entre Groix et Lorient et va s'amplifier par résonance. Cette résonance se fait suivant le deuxième mode du bassin qui est de 4min30.

Ordre de Grandeur de l'amplitude:

Lorsqu'un train d'onde de 10cm se diffracte autour de Groix, l'amplitude résultante peut atteindre 20cm au niveau des « coureaux ». Après cette première augmentation, la résonance peut multiplier par 2 voir 4 l'amplitude de l'onde : l'amplitude résultante peut faire 40-80cm. On comprend aisément que exceptionnellement, il peut y avoir des ondes de 15-20 cm dont la période est de 9 minutes capables d'engendrer des seiches de 1m à 1m50.

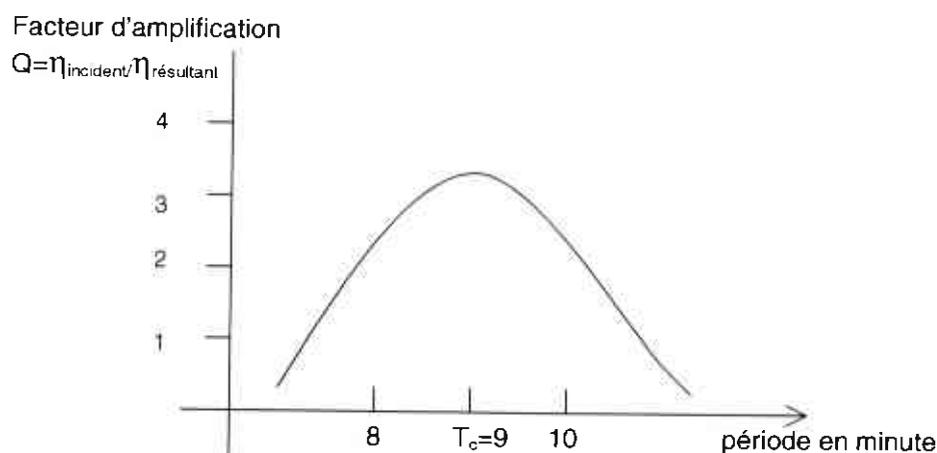


Fig. 23 Courbe représentant l'amplification de l'onde suivant la période de l'onde

4. SOLUTIONS ENVISAGEES

4.1. Courantomètre

4.1.1. Description générale.

Ce qui semble être le mieux adapté pour sécuriser la liaison Groix-Lorient est l'installation d'un courantomètre qui mesurera en temps réel, la vitesse et la direction des courants à l'entrée du port (ENE quand le port se vide, WSW quand il se remplit) et qui donnera une information précieuse sur la violence et l'évolution du ressac. Cette information combinée avec l'expérience des capitaines améliorera suffisamment les conditions de navigation de la zone. Il peut y avoir deux types de transmission de cette information. Soit elle est affichée à l'entrée du port sur un panneau d'affichage, soit l'information est directement transmise au bateau par radio ou par téléphone (GSM, GPRS, etc.). Le mieux serait d'avoir les deux types de transmissions :

- La transmission par VHF ou par téléphone avant l'appareillage ou avant d'arriver sur Port Tudy, afin que les capitaines aient déjà une idée des courants agissant dans le Port,
- Un affichage des courants à l'entrée du port, clair et concis pour que les capitaines puissent adapter leur navigation sans avoir à fournir un travail intellectuel.

Les deux courantomètres qui existent sur le marché sont d'une part les courantomètres électromagnétiques, et d'autre part les courantomètres acoustiques à effet doppler. Le gros avantage du courantomètre à effet doppler est qu'il n'est pas sensible au « fooling » contrairement aux courantomètres électromagnétique. De plus il peut être installé vraiment près du quai dans les blocs et les enrochements de la digue sur lesquels les bateaux ne passent pas. Le courantomètre électromagnétique lui, doit être installé à l'endroit où l'on veut mesurer le courant ce qui peut poser un problème à marée basse puisqu'il se trouve sur la zone du trafic. Malheureusement, le courantomètre acoustique est plus cher que le courantomètre électromagnétique. Compte tenu de ce qui est dit au dessus, il est préférable de choisir un courantomètre acoustique, qui pourra être installé près du quai et qui n'aura pas besoin de beaucoup de maintenance.

Du fait de la fréquentation du port en période estivale, ce type d'installation a tout intérêt d'être le plus discret possible et donc d'être camouflé comme le marégraphe du SHOM qui est installé sur le mole nord-est. L'une des solutions est d'installer le long du quai une glissière fermée au dessus de l'eau et ouverte sous l'eau dans laquelle est installé le capteur et le câble d'alimentation

4.1.2. Le courantomètre acoustique.

Ces courantomètres utilisent l'effet Doppler. Ils permettent de déterminer la vitesse d'écoulement d'une masse d'eau

Principe de l'effet Doppler appliqué aux courantomètres.

Dans un premier temps un transducteur émet, suivant un axe horizontal, un court train d'ondes de fréquence F appelé « ping ». Aussitôt après ce même transducteur écoute l'écho qui lui revient. Cet écho est dû à la réflexion de l'onde émise par des particules en suspension dans l'eau.. Imaginons une particule assez importante pour renvoyer une partie du signal. Si cette particule est immobile, le signal reçu par le transducteur aura la même fréquence que celui qui a été émis. Si un courant marin éloigne la particule la fréquence qu'elle reçoit (qu'elle entend) est affectée du décalage Doppler. Mais comme la distance entre la particule qui réfléchit le signal et le transducteur augmente aussi, le signal de retour est affecté à nouveau d'un décalage. Par rapport à la fréquence émise, la fréquence retournée au transducteur est donc doublement décalée, ce qui s'exprime sous la forme :

$$\Delta f = 2f_e v / c \text{ d'où } v = \Delta f c / (2f_e)$$

il suffit donc, dans le plan horizontal, de mesurer ce décalage suivant 2 axes normaux pour connaître la composante horizontale du courant. C'est le principe de mesure des capteurs de vitesse de certains courantomètres « à effet doppler ».

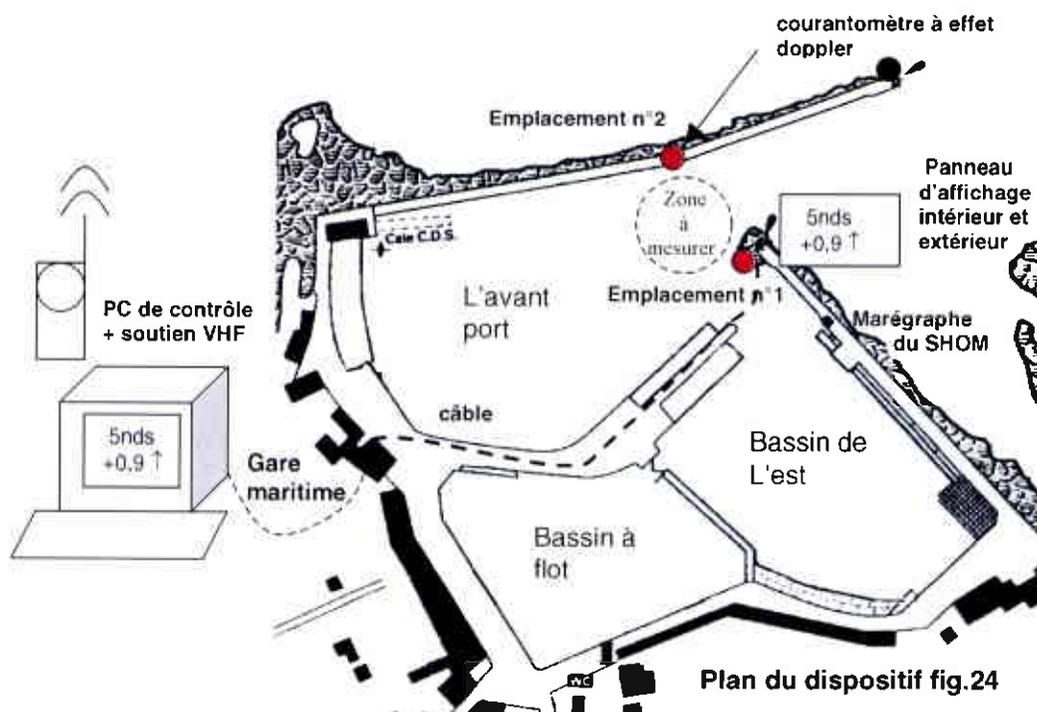
Type de courantomètres à effet doppler

Le tableau suivant reprend les caractéristiques de plusieurs courantomètres à effet doppler qui équipent déjà certains ports dans le monde. (pour plus de précision, cf. annexes L)

Entreprise	appareil	coût
Nortek	Aquadopp 3D	16 000 €
Sontek	Argonaut-SL	12 000 €
Aanderaa	DCM 12	40 000 €

4.1.3. Conclusions et estimations du coût de l'installation.

Le choix du type d'installation s'est faite avec l'aide des capitaines, leur expérience de la zone étant indispensable pour réaliser correctement ce genre de dispositif. Pour comprendre les contraintes du site et pour mieux visualiser l'installation, voici des schémas simplifiés permettant de voir comment sera le futur dispositif.



Deux emplacements ont retenu notre attention. L'un se situe au niveau de la tour bâbord, l'autre se situe au niveau de l'escalier au milieu du môle nord. Il semblerait que sur la tour bâbord, la future installation sera moins exposée aux éventuels abordages, mais en contre partie, les travaux de maçonnerie seront plus faciles à faire sur le môle nord. Ce choix reste libre à l'entreprise qui répondra à l'appel d'offre du Conseil Général, lors de l'installation du dispositif. (cf. annexe A pour les clichés concernant la future place du courantomètre.)

Fig.25 Schéma n°1 du Môle nord-est

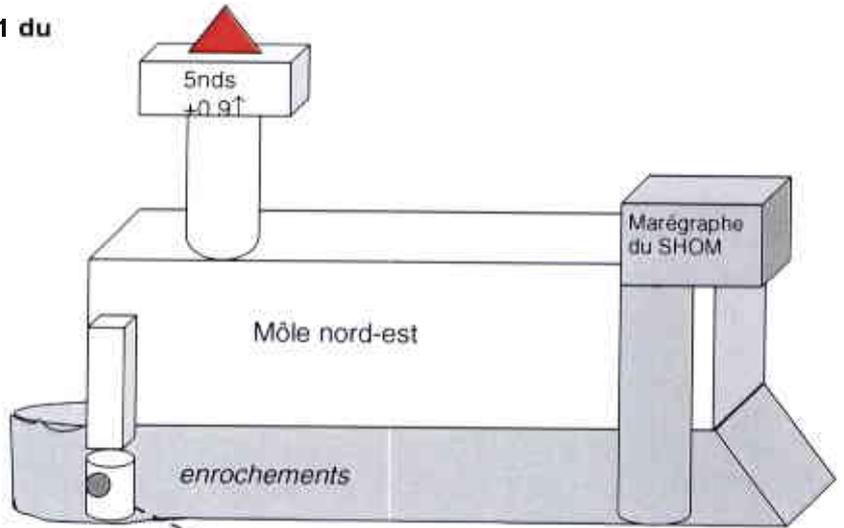
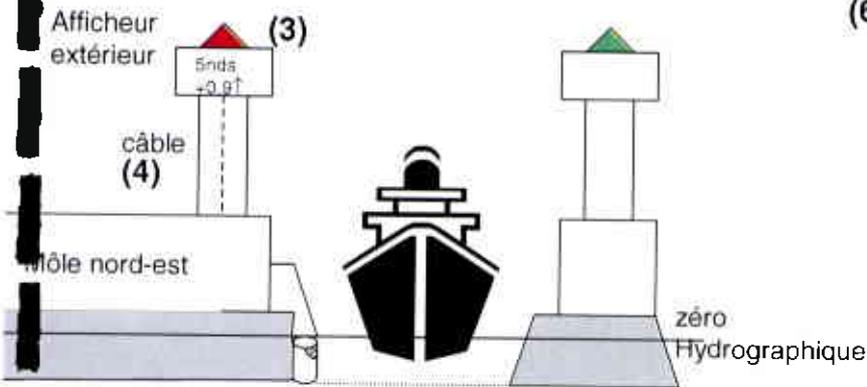
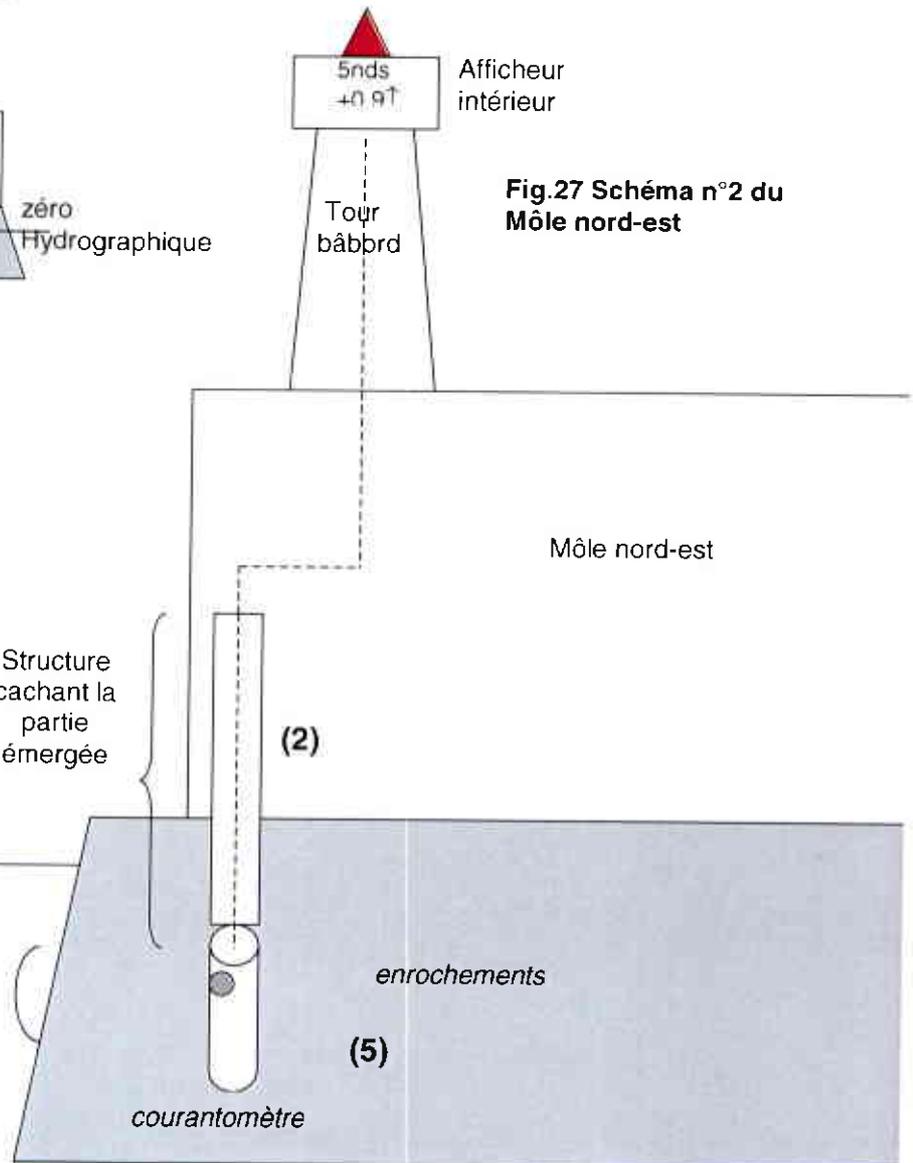


Fig.26 Schéma de l'entrée du Port de Groix



(6) Câble vers PC de la gare maritime

Fig.27 Schéma n°2 du Môle nord-est



- (1) : la profondeur du port à marée basse est entre 3 et 5m, la pose d'un capteur dans le chenal est très risqué , il pourrait se faire aborder par nos bateaux de liaison. La mesure de courant se fait à environ 15-20m du quai de manière légèrement diagonale.
- (2) : le câble et le capteur peuvent être installés dans une glissière le long du quai fermée au dessus de l'eau et ouverte sous l'eau. De la même manière que le marégraphe du SHOM installé sur le mole nord-est, cette installation permettrait de rendre invisible le dispositif. De plus les éventuelle travaux de maintenance pourront se faire sans l'intervention de plongeurs.
- (3) : Les afficheurs sont la première solution retenue pour informer les capitaines des courants du port. Pour être sûr que le dispositif soit utilisé et pour qu'il soit efficace, le mieux est d'afficher sur le phare le plus à l'intérieur du port des informations précises sur le courant que les capitaines vont pouvoir interpréter rapidement. Les capitaines lorsqu'ils arrivent dans le port ne doivent pas en plus de leur manœuvre faire un travail de décryptage qui leur ferait perdre le 1/10^{ème} de seconde décisif. Le plus simple est de retenir :
- la vitesse maximale du courant de l'heure précédente,
 - la vitesse du courant à l'instant donné, agrémentée d'un signe moins si le courant est sortant et plus si il est rentrant et d'une flèche vers le haut si le courant augmente, et vers le bas si le courant diminue.

En clair à l'aide de 2 chiffres et deux symboles simples, les capitaines pourront savoir tout ce qui est important en un minimum de temps sans avoir à faire de décodage : il vont ainsi connaître rapidement, la violence du phénomène, quelle est la force du courant sur la zone, si le port se vide ou s'il se remplit et la tendance . Le dernier point sur cette afficheur est qu'il doit être robuste face aux intempéries et face aux actes de vandalisme. Une grille métallique serait quelque chose de simple à installer pour éviter les dégradations volontaires et pour protéger l'afficheur du mauvais temps.

- (3)bis : Les capitaines pour appareiller de Groix , de la même façon que lorsqu'ils arrivent sur le port, ont aussi besoin de la valeur du courant dans la passe d'entrée. Un deuxième afficheur orienté vers le port leur permettrait d'avoir en direct cette information sans passer par l'équipe à terre de la gare maritime.
- (4) : L'alimentation du capteur ne devrait pas poser de problème, néanmoins, Les « phares et balises » ne voudrons pas à priori que l'on touche à l'alimentation des tours bâbord et tribord. Par contre une protection anti-foudre sera sûrement à envisager.
- (5) : les enrochements des môles sont instables et peuvent s'effondrer. Comme le capteur se situera à leur niveau, ils doivent donc être consolidés.

(6) : Le courantomètre est relié à un PC de contrôle à la gare maritime, où l'équipe à terre peut avertir les capitaines du courant sur zone avant leur arrivée au port ou avant leur appareillage à Lorient par VHF.

Coût de l'installation :

Le tableau fournit un ordre de grandeur des coûts d'installation du dispositif.

Courantomètre à effet doppler	15 000 € HT
Installation de la glissière le long du quai	5 000€ HT
Frais d'installation	10 000 € HT
Achat de la station de traitement	2 000 € HT
Mise en place de la station à la gare maritime	5 000€ HT
Alimentation et pose du câble	2 000€ HT
Pose des afficheurs	1 500€ HT
Achat des deux afficheurs	10 000€ HT
Imprévis et aléas (15%)	7 575€ HT
TOTAL INSTALLATION (arrondi)	60 000 € HT

4.2. Consignes de navigations

L'idée principale de faire de ces consignes de navigations est de renseigner le plus possible les capitaines sur le phénomène de seiche. En effet, pour eux, ce « ressac » comme il l'appelle, ne peut pas vraiment se prédire. Mais avec les conclusions de mon étude, il vont pouvoir ce faire une nouvelle idée du phénomène. Les observations qu'ils feront dans le futur seront beaucoup plus ciblée et précise, étant donné qu'ils sauront comment le phénomène se déclenche. Grâce aux leurs propres observations et avec l'aide du courantomètre, ils seront capable prévoir le phénomène et de vraiment comprendre les mécanismes qui régissent la dynamique côtière dans les « coureaux ». Plus ils en savent, et plus la navigation sera efficace.

Ces instructions nautiques comprendront :

- Description du phénomène de seiche,
- Description des conditions météo-océanique en période de seiche,
- Description des courants dans le port en période de seiche.

4.3. Aménagements portuaires

4.3.1. Configuration du port.

Port Tudy est un port qui n'est pas très bien conçu. Sans parler du « ressac » qui s'y produit, il a de gros défauts qui sont principalement :

- La Zone d'évitage
- L'entrée
- La forme générale

La forme générale

La forme du port de Groix n'est pas du tout symétrique. Cette forme non conventionnelle oblige les capitaines de liaison à avoir une trajectoire d'approche tarabiscotée en forme de « s ». Cette dissymétrie entraîne une aggravation du « ressac » : si le port était symétrique, les courants que rencontreraient les capitaines par période de « ressac » ne seraient pas traversiers. Malheureusement avec la configuration actuelle, en pleine décélération, les capitaines se retrouvent avec un courant de côté lorsque qu'ils arrivent ou partent du quai. Avec un port symétrique, les courants seraient moins tourbillonnants, et ils agiraient dans l'axe du bateau. Enfin l'autre point noir est que ce port est sûrement trop petit pour accueillir des navires rouliers de cette dimension.

L'entrée

Le problème lié à l'entrée rejoint la remarque du dessus : la largeur de l'entrée du port à marée basse est seulement de 25m alors que les bateaux qui effectuent la liaison font entre 9 et 12m de large. En général les entrées des ports sont conçues pour être 3 à 4 fois plus large que les plus gros bateaux qui les fréquentent. Ici on se retrouve avec un rapport de 2.

La zone d'évitage

Comme pour l'entrée : la zone d'évitage est trop petite. La marge d'erreur des capitaines est pratiquement inexistante ; La configuration de cette zone d'évitage oblige les capitaines à être de véritables artistes. Cette zone est un cercle dont le diamètre est de 60m et les bateaux font en longueur jusqu'à 45m.

4.3.2. Aménagements susceptibles d'améliorer la sécurité de la zone.

Le phénomène de seiche qui au même titre que la marée est un mouvement global sur toute la côte groisillonne, ne peut pas être arrêté par un quelconque aménagement visant à casser le phénomène ou à diminuer son amplitude. Par contre on peut contourner le problème en s'interrogeant sur ce qui peut diminuer l'intensité des courants dans le port par période de seiche, et quels sont les aménagements améliorant la sécurité et le confort du pilotage.

4.3.2.1. Diminution des courants liés à la seiche dans le port

L'idée est simple : pour diminuer les courants dans le port et notamment pour essayer de limiter le courant traversier entre l'avant port et le bassin de l'est, il faut diminuer les débits entre les différents bassins du port. Pour cela il suffit de draguer l'avant-port et le bassin de l'est au moins sur une moitié pour augmenter les sections et donc pour diminuer les débits. D'ailleurs les travaux de 1997 (dragage et mise en place de pontons flottant) dans le bassin de l'est semblent avoir quelque peu atténué la violence des courants liés à la seiche même si on ne peut pas encore se prononcer sur les conséquences à long terme. Par un calcul approximatif qui tient compte du volume entrant et du volume sortant, si on approfondit de 1m le port, on diminue de 30% le courant traversier et de 25% le courant à l'entrée du port.

Une autre idée pour diminuer le débit, est par exemple de percer les moles nord, et nord-est pour créer d'autres évacuations de ce surplus d'eau. Cette solution n'est pas souhaitable, car cela entraînerait des tourbillons dans la zone d'évitage dégradant considérablement les conditions d'accostage et d'appareillage. Les mouillages de l'avant port et les pontons flottant du bassin de l'est seraient également soumis à de nombreuses perturbations. Bref cela augmenterait sensiblement l'agitation générale du port.

4.3.2.2. Amélioration de la sécurité et du confort de la navigation.

On l'a vu au-dessus, le port de Groix est globalement trop petit pour accueillir des navires rouliers de cette taille. Pour faciliter le confort et la sécurité du pilotage, l'idée est d'agrandir la zone d'évitage et d'éviter le plus possible aux capitaines de faire une approche en forme de « s ». Il est important de noter que des ouvrages réalisés dans le port Tudy ne sont pas soumis à de législation particulière contrairement au reste de l'île (cf. annexe M).

Aménagements portuaires	Avantages	Inconvénients
Dragage du haut de l'avant port. Annexe N	Les coffres et les bouées d'amarrage peuvent être reculés ce qui agrandit la zone d'évitage ; la zone d'évitage est plus profonde .	Travaux non négligeables qui amènent à redessiner tout le haut de l'avant port.
Installation d'un mole est et raccourcissement du mole nord-est . Annexe N	Un mole est permettrait d'éliminer le courant provenant du sud-est à l'entrée du port quand celui-ci se remplit ; le raccourcissement du mole nord-est diminuerait le débit du deuxième bassin et agrandirait la zone d'évitage. Le nouveau bassin peut en plus accueillir d'autres coffres ou bouées d'amarrages.	Dégradation de la beauté du site, coûts des travaux, aucune connaissance du phénomène avec la nouvelle configuration.
Mise en place de la zone de débarquement sur un mole est Annexe N	Le changement de la zone de débarquement changerait la manœuvre d'approche des capitaines et les courants agiraient dans l'axe du navire ; la zone d'évitage serait transférée pour devenir plus grande. L'avant port ainsi libéré, pourrait devenir un bassin d'accueil pour les pêcheurs ou pour la plaisance.	Perturbation psychologique pour les habitants de Groix et de leurs élus ; dégradation de la beauté du site ; travaux considérables de tout le sud du Port pour permettre aux camions débarqués de circuler ; coûts des travaux ; pas de connaissance sur l'agitation de la future zone d'évitage ; grosse exposition de la zone d'évitage à la houle de Nord et de Nord Ouest.

4.3.3. Solutions retenues et estimation des coûts des travaux.

Voici les réalisations que je considère intéressantes :

- Dragage de l'avant port,
- Dragage du bassin de l'est (au moins la partie supérieure).

Estimation des coûts : (valeurs novembre 2001)

Nature	Volume (m ³)	Nature des fonds (d'après BCEOM juillet 1996)	Prix unitaires	Total estimé (€)
Dragage de l'avant port	10 000	Roche 75%, vase et sable 25%	100€/ m ³	1 000 000€
Dragage du bassin de l'est	4 500	#	#	450 000€
Total	14 500			1 450 000€

BIBLIOGRAPHIE :

- BCEOM (juillet 1996). « aménagements de Port Tudy à Groix ». *réf. ENV/65490T*
- Bouteloup, Jacques (1979). « Vagues, marées courants marins ». *Que sais-je ?*
- Candela, J., S. Mazzola, C. Sammari, R. Limeburner, C. J. Lozano, B. Patti, and A. Bonnanno, (1999). «The mad sea phenomenon in the strait of Sicily». *J. Phys. Oceanogr.*, 29(9), 2210-2231.
- Churchill, D. D., S. H. Houston, and N. A. Bond, (1995). «The daytona Beach wave of 2-4 July 1992: A shallow-water gravity wave forced by a propagating squall line». *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 76, 21-32.
- Csanady, G. T., (1982). « Circulation in the Coastal Ocean». *Woods Hole Oceanographic Institution*.
- ERAMM (1995,Déc.). « Etude de courantologie dans les bassins de Port Tudy ». *réf. n°030-72*.
- Garcies, M., D. Gomis, and S. Monserrat, (1996). «Pressure-forced seiches of large amplitude in inlets of the Balearic Islands: 2. Observational study». *J. Geophys. Res.*, 101(C3), 6453-6467.
- Giese, G. S., and D. C. Chapman, (1993). «Coastal seiches». *Oceanus*, 36(1), 38-46.
- Gill, A. E. (1982). « Atmosphere-Ocean dynamics». *International Geophysics Series - volume 30-*.
- Gomis, D., S. Monserrat, and J. Tintoré, (1993). «Pressure-forced seiches of large amplitude in inlet of the Balearic Islands». *J. Geophys. Res.*, 98(C8), 14,437-14,445.
- Guegan, Marine (été 2003). « audit des ports départementaux ».
- Hibiya, T., and K. Kajirura, (1982) . «Origin of the Abiki phenomenon (a kind of seiche) in Nagasaki Bay». *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 38, 172-182.
- de Jong, M. P. C., L. H. Holthuijsen, and J. A. Battjes, (2003). « Generation of seiches by cold fronts over the southern North Sea». *J. Geophys. Res.*, 108(C4), 3117, doi:10.1029/2002JC001422.
- Mercer, D., J. Sheng, R. J. Greatbatch, and J. Bobanovic, (2002). « Barotropic waves generated by storms moving rapidly over shallow-water». *J. Geophys. Res.*, 107(C10), 3152, doi :10.1029/2001JC001140.
- MET MAR (juin 2003). « rafale et vent moyen ». *Météorologie maritime - revue*

trimestrielle – n°199.

Pedlosky, Joseph (1987). « Geophysical Fluid Dynamics ». *Springer-Verlag.*

SHOM (1990), « courants de marée de la côte sud de Bretagne, de Penmarc'h à Noirmoutier » .

SHOM (1997), « Instructions nautiques. De la pointe de Penmarc'h à la vilaine » .

SHOM (1994), « Météorologie marine ».

Tonnerre, Laurence et Guy (2003). « Groix l'île des sauveteurs ». *cop breizh*

ANNEXE A : Photos du Port de Groix



Photo 1 Môle nord



Photo 2 Môle nord



Photo 3 marégraphe du SHOM



Photo 4 tour bâbord



Photo 5 escalier de l



Photo 6 enrochements de la tour bâbord



Photo 7 enrochements de la tour bâbord



Photo 8 enrochements du
môle nord



Photo 9 enrochements du
môle nord



Photo 9 escalier du môle nord

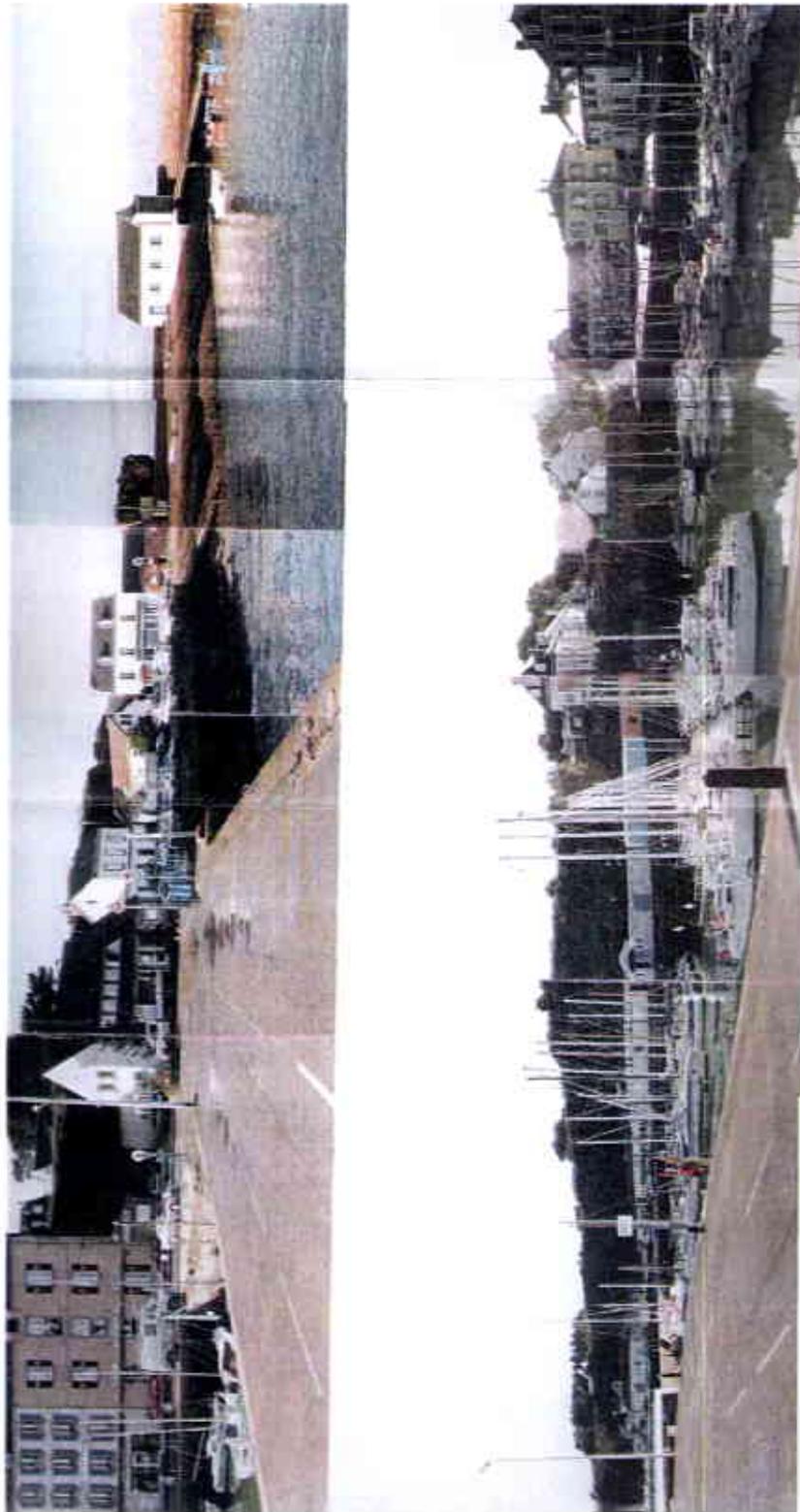


Photo 10 Panoramique du port



Photo 11 port Tudy

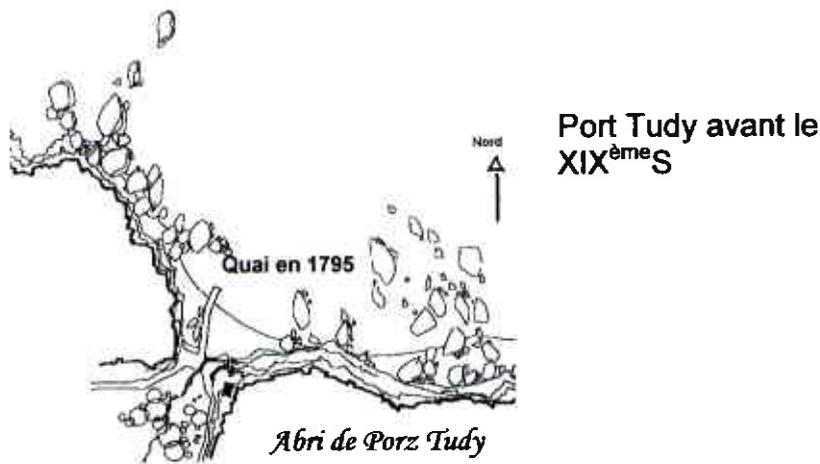


Photo 12 port Tudy

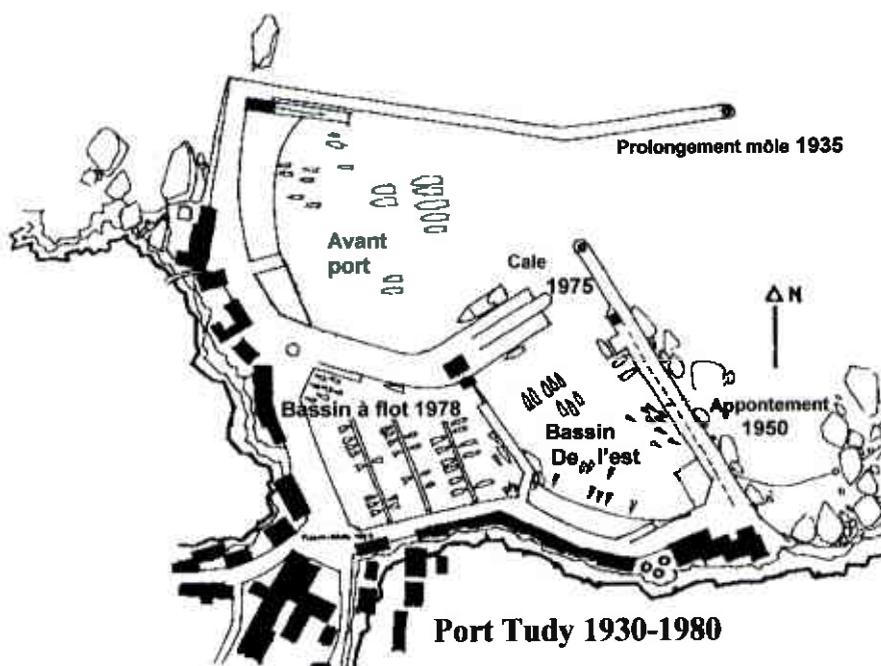
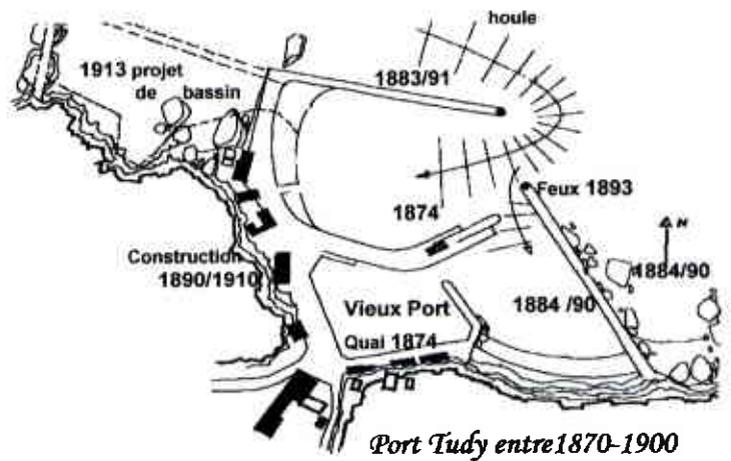
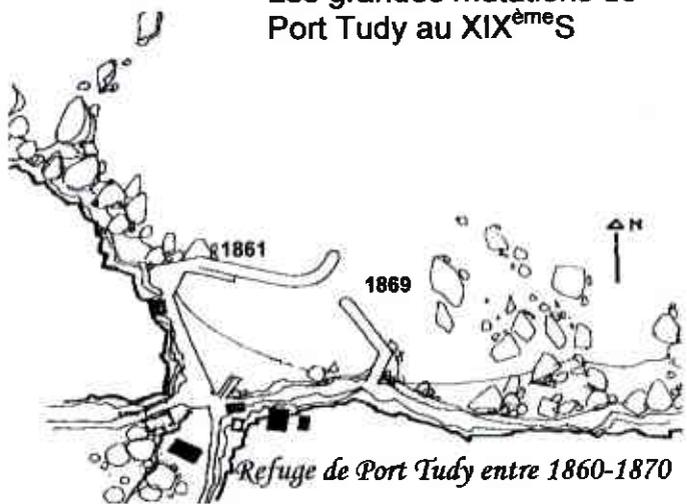
ANNEXE B : Historique du Port

Voici un bref aperçu des différentes configurations du port de 1795 à 2004.

- Avant 1860, Port Tudy n'est pas encore un refuge, c'est seulement un petit abri pour au plus 5 barques de pêche. Cet abri est largement insuffisant pour accueillir les thoniers qui sont alors basés à Port-Louis.
- 1860 -1870, création d'un Port de refuge par les ingénieurs des Ponts et chaussées, évitant à la flottille groisillonne de se réfugier à Lorient dès que la mer est mauvaise. Ce port relativement bien protégé du clapot d'est et de nord est par contre soumis à de violents coups de ressac (première apparition du terme « ressac » dans les rapports d'expertise des ingénieurs des ponts et chaussées).
- 1880 -1900, agrandissement du port devant l'extension fulgurante de la flottille groisillonne et devant l'expansion économique de l'île. Malheureusement, le nouveau port est très agité par les vents d'est à nord-ouest car le môle nord n'est pas assez long. De plus le ressac au niveau du vieux port (actuel bassin à flot) est toujours aussi violent contrairement à ce qu'avaient prédit les ingénieurs.
- 1930, tempête en Bretagne sud le 19 septembre ; 207 marins bretons périssent en mer dont 38 groisillons. Gros dégâts sur tous les bateaux restés à quai ce jour là à cause du « ressac » et à cause de la houle du large qui réussissait à pénétrer dans le port : 5 dundees (célèbre thoniers) détruits et 13 autres très endommagés. C'est après cette catastrophe que les élus de l'île se sont mobilisés pour obtenir un prolongement du môle nord, pour éviter que se renouvelle ce genre de tragédie.
- 1930-1980, agrandissement du môle nord, et transformation peu à peu du port de pêche en un port pour la plaisance. Le déclin de la flotte groisillonne laisse peu à peu place à la navigation de plaisance. L'agrandissement du môle nord, a considérablement baissé l'agitation du port lié au clapot, mais le « ressac » est toujours présent dans le bassin de l'est et l'avant Port. Le vieux port est transformé en un bassin à flot pour la plaisance, et est fermé par période de « ressac » (cf. Instructions nautiques du SHOM).
- 1996, installation de pontons flottants pour mieux occuper l'espace du bassin de l'est, et dragage de ce bassin. Les dragages ont apparemment diminué quelque peu la violence du « ressac », mais ces travaux plutôt récents ne permettent pas de tirer des conclusions à long terme.



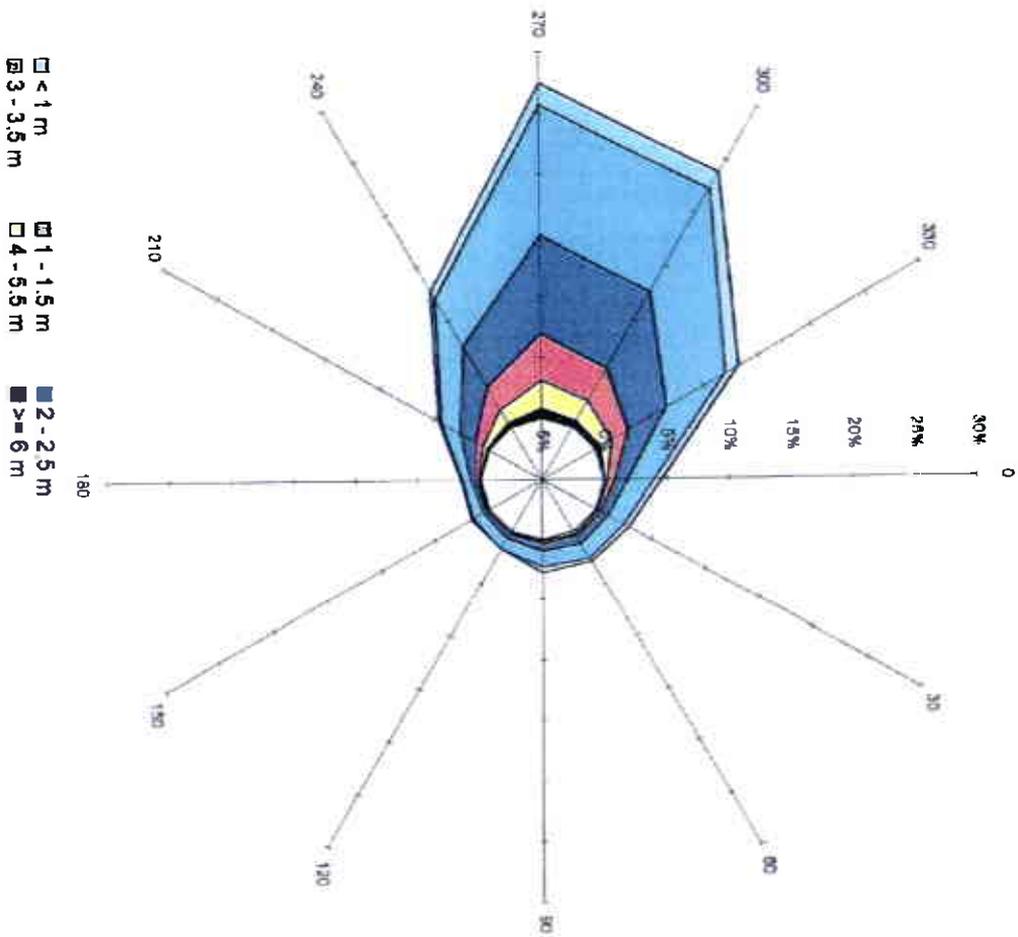
Les grandes mutations de Port Tudy au XIX^{ème}S



Les évolutions du Port au XX^{ème}S face aux nouvelles activités nautiques

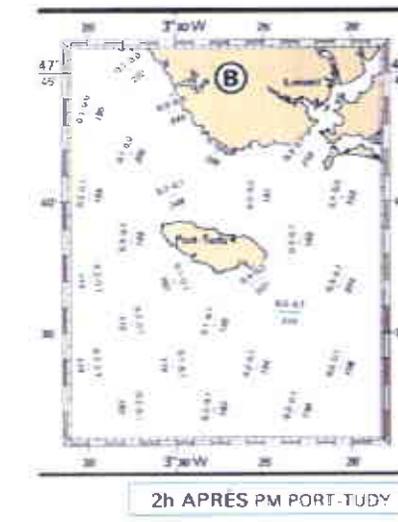
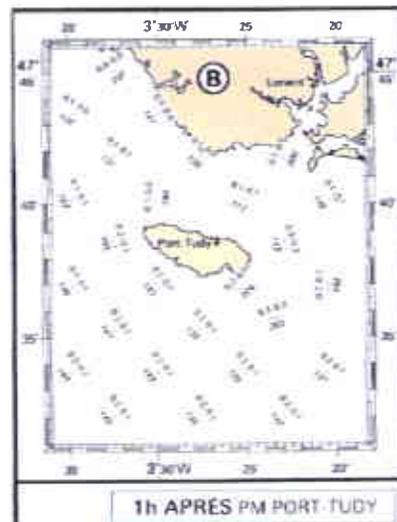
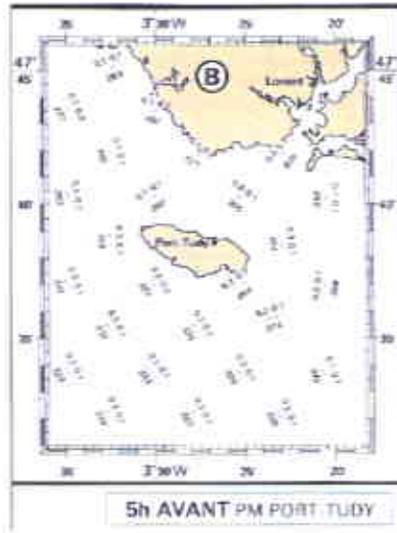
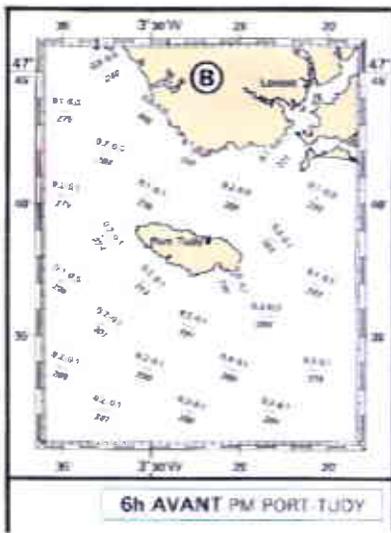
ANNEXE C : Statistiques de la houle

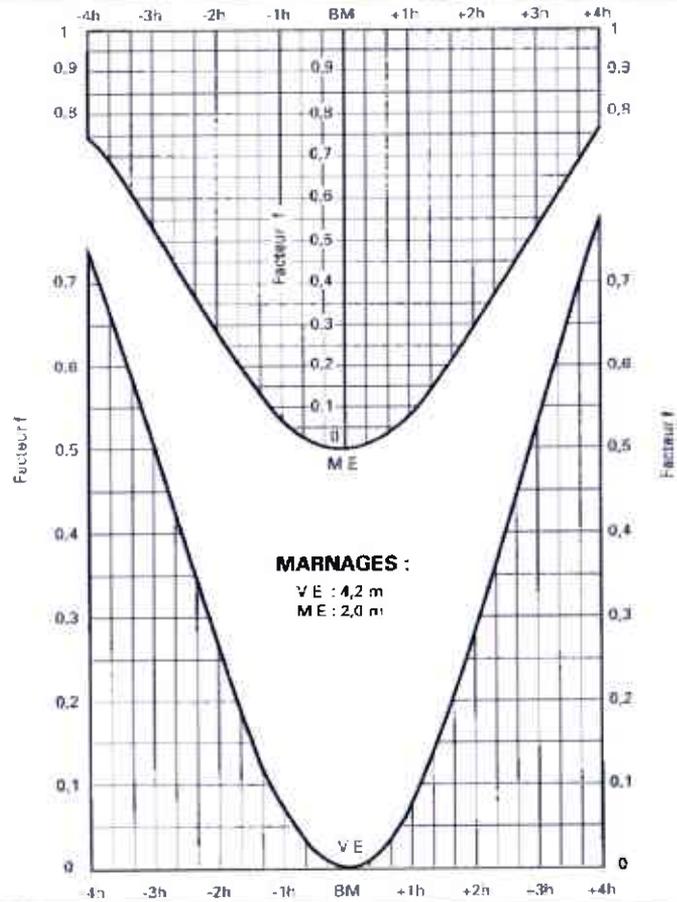
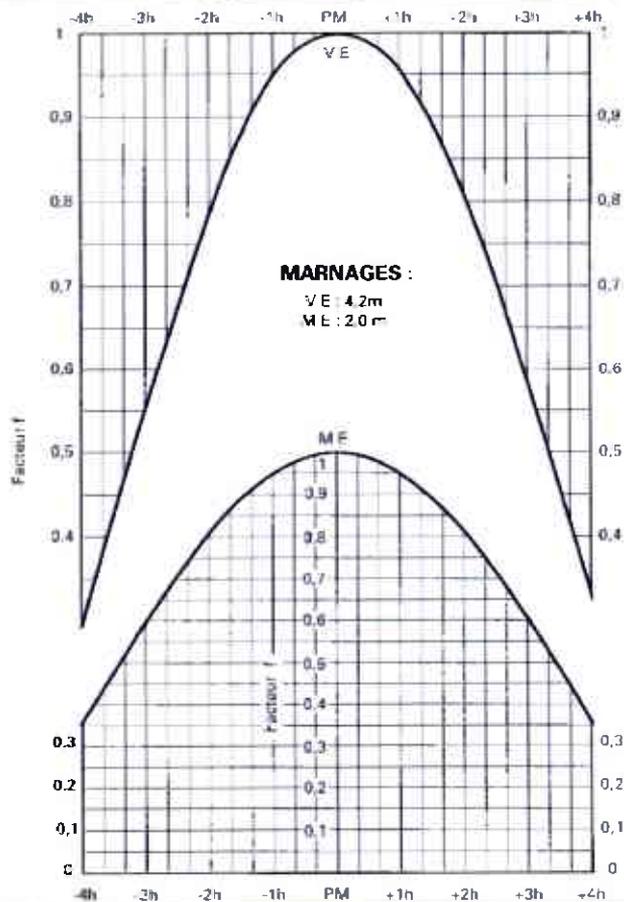
Rose des houles au large sur la période 1960/1980



D'après les données d'observations de navires de la zone Nord-Gascogne sur la période 1960 / 1980 (source: SCEN)

ANNEXE D : Courants de marée et marnage à Port tudy





**ANNEXE E : Courants dans le port de Groix en période
de seiche**

Niveau moyen de BM VE (CM+1,50 mètres).

Temps (s) à partir du début du cycle	Observations et amplitudes des vitesses			
	Quai pour chalutiers	Appontement A	Appontement B	Appontement C
0	Courant portant NO entre 0,8 et 1m/s	Courant portant NO entre 0,4 et 0,6m/s	Courant portant NO entre 0,4 et 0,6m/s (pic à 1,25m/s côté quai)	Courant portant NO entre 0,6 et 0,8m/s
30	Courant portant NO entre 0,6 et 0,8m/s	Courant portant NO entre 0,2 et 0,4m/s	Courant portant NE entre 0,4 et 0,6m/s	Début de découvrement
60	Courant portant NO entre 0,2 et 0,4m/s	Courant portant S entre 0,2 et 0,4m/s	Courant portant sensiblement SE entre 0,2 et 0,4m/s	Découvert côté quai
90	Reverse. Courant portant SE entre 0,2 et 0,4m/s	Courant portant SE entre 0,4 et 0,6m/s	Courant portant SE entre 0,4 et 0,6m/s (pic à 1m/s côté quai)	Recouvrement progressif
120	Courant portant SE entre 0,2 et 0,4m/s	Evolution progressive de 0,2 à 1,25 m/s (extrémité de la panne). Courant portant S	Courant portant S entre 0,6 et 0,8m/s	Courant portant S entre 0,4 et 0,6m/s
150	Apparition d'un léger tourbillon Courant portant NO entre 0,4 et 0,6m/s	Apparition d'un tourbillon au nord de la panne. Cisaillement. Courant portant au NO à 0,2m/s (quai) et au Sud à 2,5m/s (extrémité)	Courant portant Sud entre 0,6 et 0,8m/s	Courant portant SSE entre 0,2 et 0,4m/s
180	Extinction du tourbillon. Courant portant NO entre 0,4 et 0,6m/s	Cisaillement important. Courant 1,25 à 1,5m/s portant au Sud (extrémité) et au NO (quai)	Courant portant: Sud jusqu'à 2m/s (extrémité)	Courant portant SE entre 0,4 et 0,6m/s
210	Courant portant NO entre 1 et 1,25m/s	Courant portant NO entre 1 et 1,25m/s	Cisaillement important. Courant 1,25 à 1,5m/s portant au NO (quai) et 0,8 à 1m/s (extrémité)	Courant portant NO entre 0,8 et 1m/s (0,4-0,6 au niveau du quai)
240	Courant portant NO entre 1 et 1,25m/s	Courant portant NO entre 0,6 et 0,8m/s	Cisaillement important. Courant 0,4 à 0,6 m/s portant au NO (quai) et 0,8 à 1m/s (extrémité)	Courant portant Nord entre 0,4 et 0,6m/s
270	Courant portant NO entre 1,25 et 1,5m/s	Courant portant NO entre 0,2 et 0,4m/s	Courant portant Nord entre 0,6 et 0,8m/s	Début de découvrement

Niveau moyen de PM VE (CM+5,70 mètres).

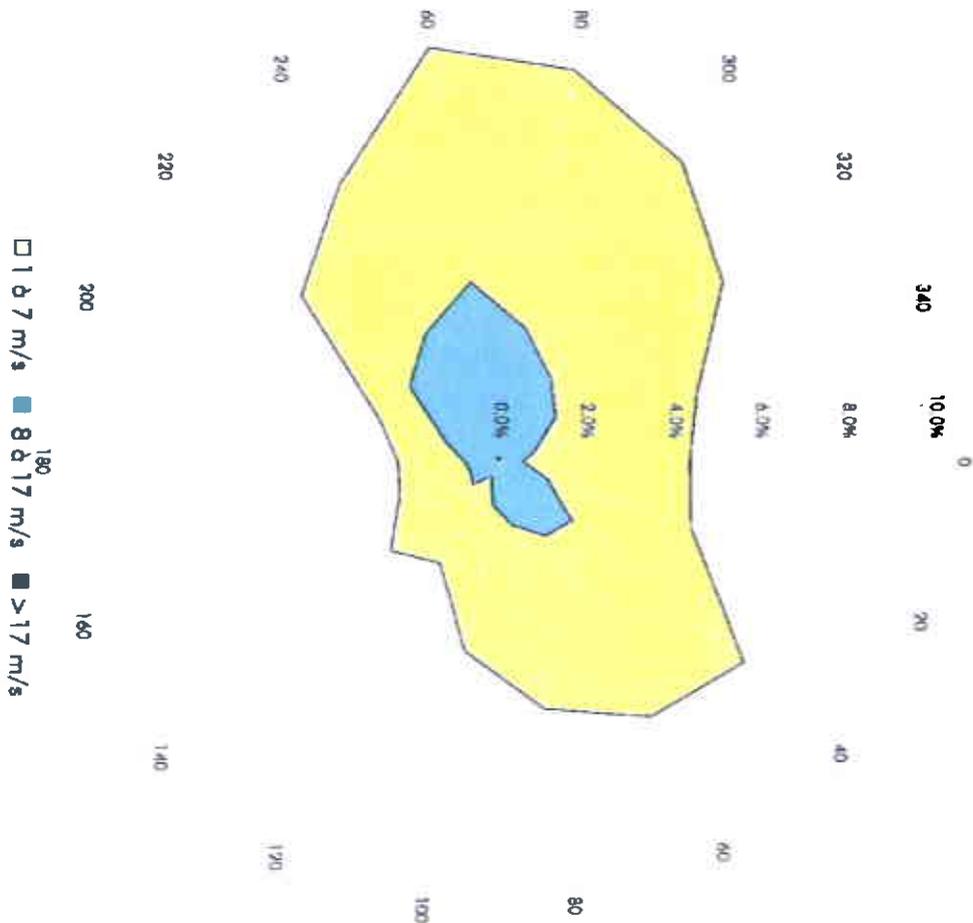
Temps (s) à partir du début du cycle	Observations et amplitudes des vitesses			
	Quai pour chalouers	Appontement A	Appontement B	Appontement C
0	Variable entre 0,3 et 0,5 m/s portant au NO	Léger cisaillement vitesses entre 0,3 et 0,5 m/s, atteignant 0,7 m/s au voisinage du seuil (portant NE)	Léger cisaillement Courant entre 0,2 et 0,3 m/s portant sensiblement SE (coté quai)	idem panne 2
30	idem que pour t=0	idem que pour t=0 mais risque plus important pour les bateaux près du seuil 1,5 m/s (portant NE) Apparition d'un tourbillon au débouché du seuil.	Léger cisaillement Courant entre 0,2 et 0,3 m/s portant sensiblement SE (coté quai)	idem panne 2
50	idem que pour t=0	idem que pour t=30	Léger cisaillement Courant entre 0,15 et 0,2 m/s portant sensiblement SE (coté quai)	idem panne 2
90	vitesse faibles (renverse)	Tourbillon toujours présent. Cisaillement de la panne (0,7 m/s). Courant pour les bateaux proches du seuil de l'ordre de 1m/s (portant NE)	Léger cisaillement Courant entre 0,2 et 0,3 m/s portant sensiblement SE (coté quai)	Léger cisaillement vitesses entre 0,05 et 0,1 m/s.
120	variable entre 0,2 et 0,3 m/s portant au SE	Tourbillon toujours présent. Cisaillement de la panne (0,9 m/s) Courant longitudinal et transversal pour tous les bateaux de la panne (0,9 m/s)	Léger cisaillement Courant entre 0,3 et 0,5 m/s portant sensiblement SE (coté quai)	Léger cisaillement Courant entre 0,1 et 0,15 m/s portant sensiblement SE (coté quai)
150	idem que pour t=120	Atténuation du tourbillon. Pas de changement pour les bateaux par rapport à t=120	Léger cisaillement Courant entre 0,3 et 0,5 m/s portant sensiblement SE (coté quai)	Léger cisaillement Courant entre 0,15 et 0,2 m/s portant sensiblement SE (coté quai)
180	idem que pour t=120	Cisaillement de la panne (0,9m/s). Pour les bateaux courant jusqu'à 1,5 m/s (extrémité de panne)	idem que pour t=150	idem que pour t=150
210	variable entre 0,3 et 0,5 m/s portant au NO apparition d'une circulation	idem que pour t=180	Courant entre 0,2 et 0,3 m/s portant sensiblement SW	Léger cisaillement courant entre 0,1 et 0,15 m/s portant sensiblement SE
240	variable entre 0,5 et 0,7 m/s portant au NO plus de circulation	Cisaillement de la panne (0,9m/s). Pour les bateaux courant jusqu'à 1,1 m/s (extrémité de panne)	Courant entre 0,1 et 0,15 m/s portant sensiblement SE Léger cisaillement à l'extrémité	Léger cisaillement Courant entre 0,15 et 0,3 m/s portant sensiblement SE (quai) et au Nord (extrémité)

ANNEXE F : Statistiques de vent

Rose des vents

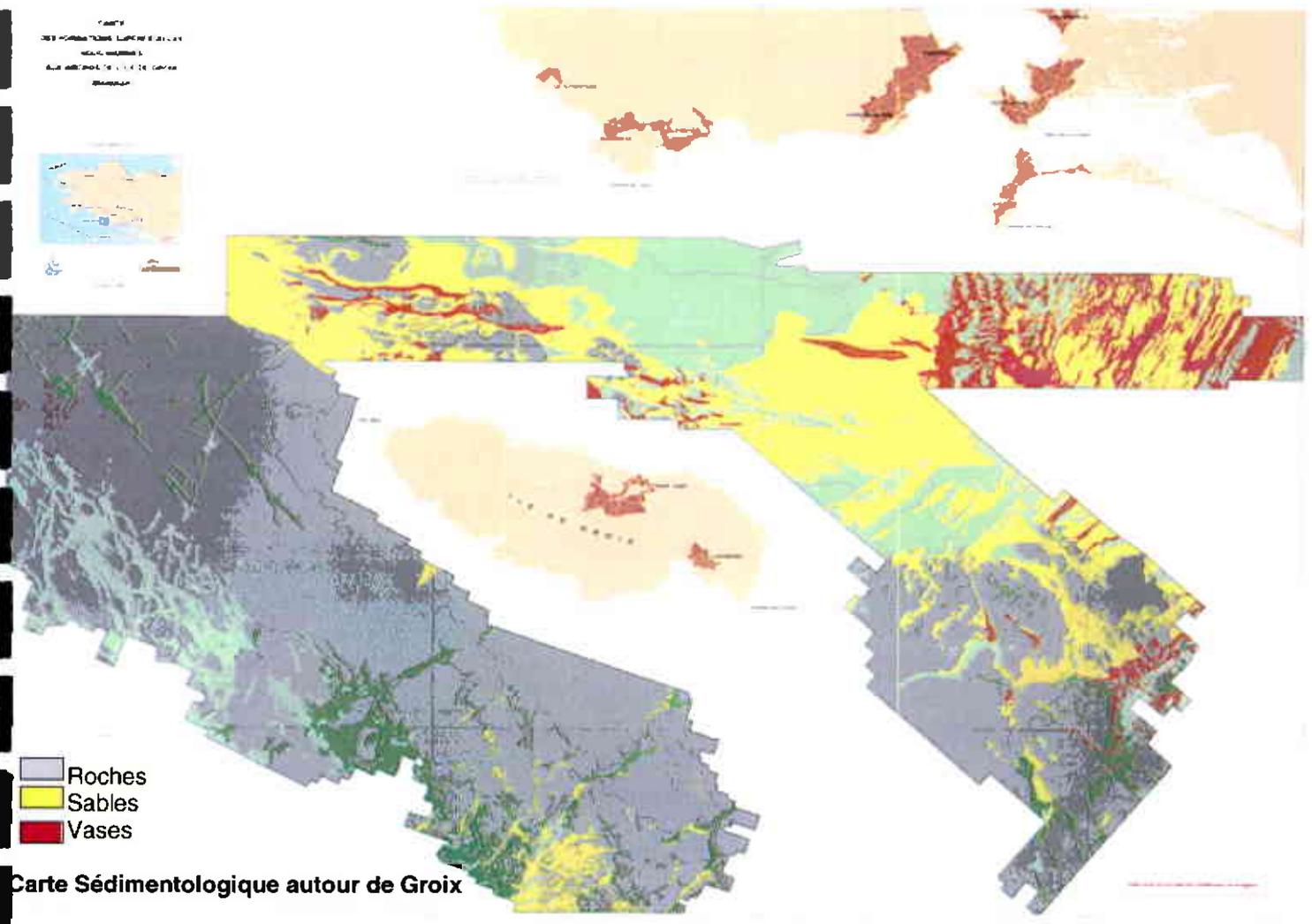
Distribution des vents (en %) par intensité et direction

	1 à 7 m/s	8 à 17 m/s	>17 m/s
0	38.2	5.2	0.0
20	35.1	11.4	0.0
40	51.6	21.7	0.0
80	48.5	20.6	0.0
80	43.3	15.5	0.0
100	35.1	10.3	0.0
120	23.7	4.1	0.0
140	24.8	8.3	0.0
160	17.5	7.2	0.0
180	15.5	8.3	0.0
200	16.5	13.4	0.0
220	33.0	26.8	1.0
240	40.2	34.1	1.0
250	55.7	42.3	1.0
280	61.9	32.0	0.0
300	58.8	22.7	0.0
320	49.5	16.5	0.0
340	39.2	8.3	0.0



D'après les données du
 sonaphone du Tidal
 pour le secteur 1073 0000

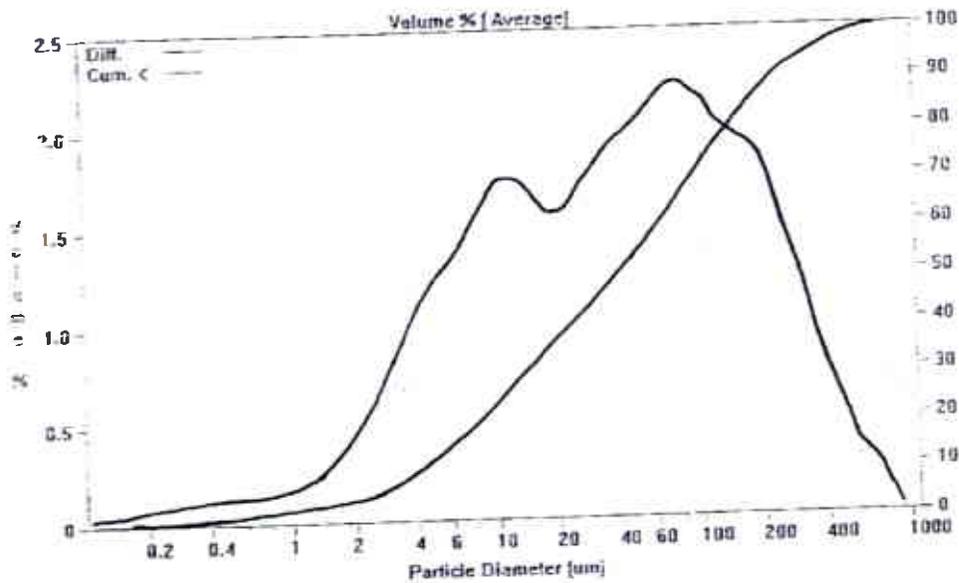
ANNEXE G : Nature des fonds du domaine d'étude



ULTR^R LS Particle Size Analysis

613232m.S00

File name: 613232M.S00
 Sample ID: LORIENT
 Operator: BUSKA
 Comments: 30S ULTRASONS
 02.05.96
 Optical model: Fraunhofer
 Fluid: Water
 S 130 Fluid module
 Average of Files: 613232.S02 613232.S03 613232.S04
 Software: 1.50 Firmware: 1.3 1.8



Volume Statistics (Arithmetic)

613232m.S00

Calculations from 0.10 um to 980.00 um

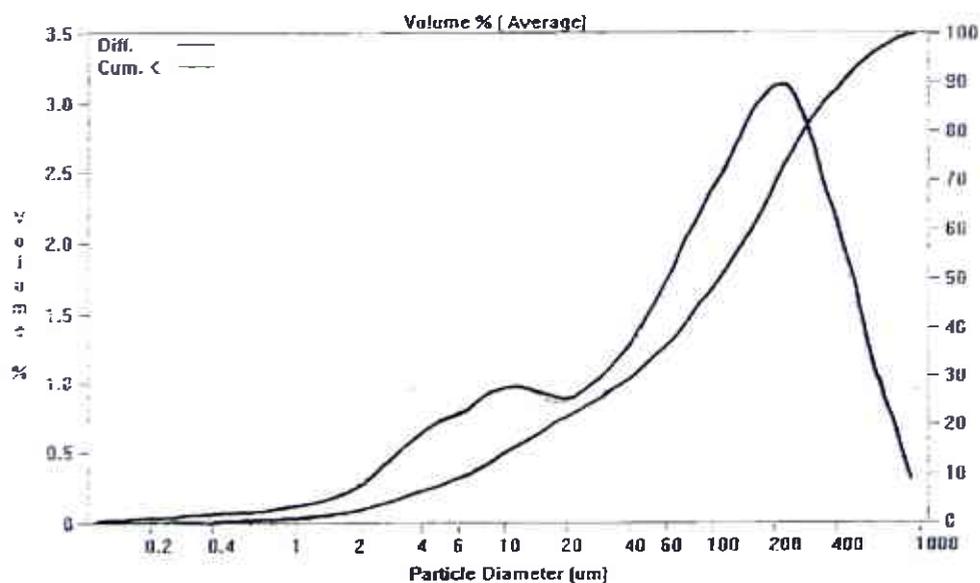
Volume	100.0%	95% Conf. Limits:	64.47-112.0 um
Mean:	88.25 um	Std. Dev.:	121.3 um
Median:	39.70 um	Variance:	14717 um ²
Mean/Median Ratio:	2.223	Coef. Var.:	137.5%
Mode:	73.59 um	Skewness:	2.488 Right skewed
		Kurtosis:	7.653 Leptokurtic

% <	10.00	25.00	50.00	75.00	90.00
Size um	3.933	13.43	39.70	115.2	239.9

Particle Diameter um	Volume % <
0.200	0.36
0.400	1.09
1.000	2.36
2.000	4.40
5.000	15.50
10.00	24.12
20.00	36.78
40.00	50.13
60.00	59.30
100.0	71.57
200.0	86.61
400.0	96.66
900.0	100.00

Bassin Est

File name: 613231m.S00 Group ID: 613231
 Sample ID: LORIENT Run number: 6
 Operator: BUSKA
 Comments: JMS ULTRASONS
 02.05.96
 Optical model: Fraunhofer
 Fluid: Water
 LS 130 Fluid module
 Average of Files:
 613231.S01 613231.S02 613231.S03 613231.S04
 Software: 1.50 Firmware: 1.3 1.8



Volume Statistics (Arithmetic)		613231m.S00
Calculations from 0.10 um to 900.00 um		
Volume	100.0%	
Mean:	164.4 um	95% Conf. Limits: 130.7-198.1 um
Median:	110.3 um	Std. Dev.: 171.9 um
Mean/Median Ratio:	1.490	Variance: 29557 um ²
Mode:	200.3 um	Coef. Var.: 104.6%
		Skewness: 1.495 Right skewed
		Kurtosis: 2.126 Leptokurtic

% <	10.00	25.00	50.00	75.00	90.00
Size um	6.436	23.63	110.3	241.4	406.2

Particle Diameter um	Volume % <
0.200	0.17
0.400	0.52
1.000	1.27
2.000	2.64
6.000	9.39
10.00	14.33
20.00	21.27
40.00	29.16
60.00	35.73
100.0	47.37
200.0	63.62
400.0	89.67
900.0	100.00

Avant Port

ANNEXE H : Caractéristiques des bateaux de liaison

GENERALITES

Nom du Navire : SAINT-TUDY
 Classe : J 33 E 4
 Date Francisation : 18 Juin 1985
 N° Francisation : 108592/2600/1
 Chantier Constructeur : Chantiers LA PERRIERE - LORIENT

Date contrat : 1984
 Date mise en service : 17 Juin 1985
 Nombre de Passagers : 313 / 440 du 01/04 au 30/09

Equipe : 6

Immatriculation : 614 592 K
 Indicateur : FH 2387
 N° MMSI : 227 001 450
 Port d'attache : LORIENT
 Catégorie : 3ème
 Jauge brute : 637,92 Tx / 935 UMS
 Jauge nette : 163,03 Tx / 280 UMS
 Vitesse : 11,5 noeuds
 Nombre de véhicules : 77,5 T portée + 2 T

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Tirant eau été AR : 2,19 m
 Tirant eau été AV : 2,15 m
 Tirant air léger : 15,70 m

Type :

Moteurs principaux

Nombre : 2
 Puissance : 625 CV - 460
 Nb de tours : 800 Tr/min

Multiplicateurs

Nombre : 2
 Rapport : 2,33375

Groupes électrogènes

Nombre : 2
 Puissance : 140 CV / 103 K
 Nb de tours : 1500 Tr/min
 Secours : Batteries

Propulsion

Type : US 501/2250

Propulseur transversal

Fabricant : HYDRO ARMOR
 Type : 1000

Stabilisateurs

Fabricant : A.C.H.
 Type : S - SAFIR 20

VEH

Fabricant : SAILOR
 Type : RT 4822
 Fabricant : SAILOR
 Type : RT 144 C
 Portable : SAILOR
 Nombre : 3
 Type : SP 3110

Radars

Fabricant : RAYTHEON
 Type : M 89916
 Fabricant : DECCA RACAL
 Type : 65366

Autres appareils de navigation

Sondeur : SKIPPER
 Type : 405
 G.P.S. : FURUNO
 Type : GP 30
 Radio Bourse : KANNAD
 Type : 406 PH
 Transpondeur : TR 26

Drones de sauvetage

Embarcations : ZODIAC MARK II
 Radoux : 2 x 30 places + 4 (2 x 50 places) = 460 places
 Bouées courantes : 18 dont 9 lumineuses
 Brassières : 505 dont 47 enfants

Surface

Oeuvres vives : 480 m²
 Oeuvres mortes : 550 m²

GENERALITES

Nom du Navire : **KREIZER MOR**
 Classe : 1 (4) B 8
 Date de commission : 26 Mai 1977
 N° de commission : 8234/2600/1
 Chantier Constructeur : **Chantiers CHAUVET - PALMBOEUF (44)**
 Date contrat : Mars 1976
 Date mise en service : 25 Juin 1977
 Nombre de Passagers : 520
 Immatriculation : 384 127 Z
 Indicatif : FW 4024
 N° MMSI : 227 001 030
 Port d'attache : **LORIENT**
 Catégorie : 3ème
 Jauge brute : 434,93 Tx / 512 UMS
 Jauge nette : 174,85 Tx / 196 UMS
 Vitesse : 12 noeuds
 Nombre de véhicules : 18

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Equipage : 7
 Tirant eau été AR : 2,70 m
 Tirant eau été AV : 2,20 m
 Tirant air lège : 12,80 m
 Type : CERIA 5'1 à 7,80 m
 Déplacement : 524 T 70
 Poids lège : 410 T 25 avec soutes
 Port utile : 114 T 45
 Capacité gas-oil : 26 T + fret : 20 T

VHF

Fabricant : SAILOR
 Type : RT 4822
 Fabricant : SAILOR
 Type : RT 144 C
 Portable : SAILOR
 Nombre : 3
 Type : SP 3110

Kadar

Fabricant : RAYTHEON
 Type : 3604
 Fabricant : RAYTHEON
 Type : R 72

Autres appareils de navigation

Sondeur : SHIRAD EY
 Type :
 GPS : FURUNO GP 30
 Type : GP 30
 Radio Balise : KANNAD
 Type : 406 PH
 Transpondeur : TR 20
 Gyro : ANSCHUTZ

Drome de sauvetage

Embarcations : 2
 Radeaux : 13 (1 x 100 places + 11 x 30 places)
 Bouées couronnes : 21 dont 10 lumineuses
 Brassières : 593 dont 58 enfants

Surface

Oeuvres vives :
 Oeuvres mortes :

Moteurs principaux

Nombre : 2
 Fabricant : CREPELLIE
 Type : 6 PSN
 N° série :

Réducteurs

Nombre : 2
 Fabricant : REINTHIS
 Type : WAV 800

Groupe électrogènes

Nombre : 2
 Fabricant : POYAUD
 Type : 6 PZI
 Puissance : 138 CV/100 KVA
 Nb de tours : 1000 Tr
 Secours : LOMBARDINI 20 KVA

Propulsion

Type : 2 Hélices fixes
 Fabricant :

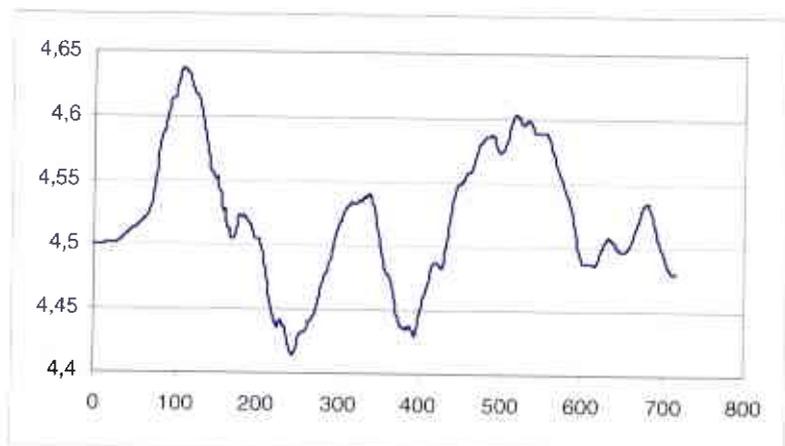
Propulseur transversal

Fabricant : SALIER
 Type : PT 6000
 Puissance : 75 CV
 Poids : 600 Kg

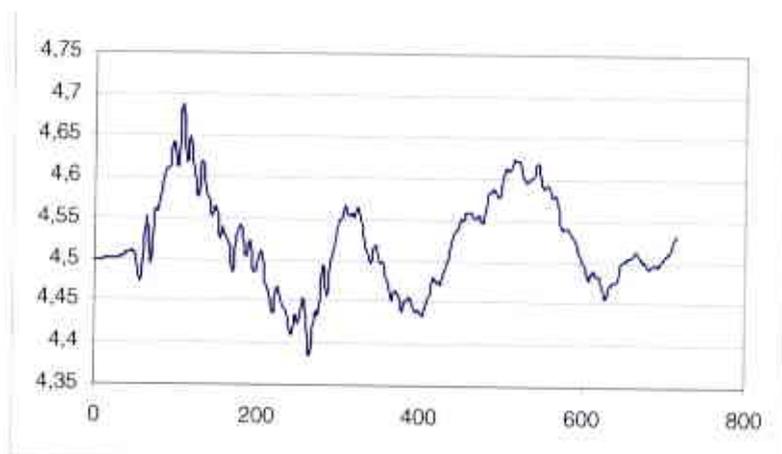
Stabilisateurs A.E.G.

Fabricant : Denny BROWN
 Type : CC 1,4 m²

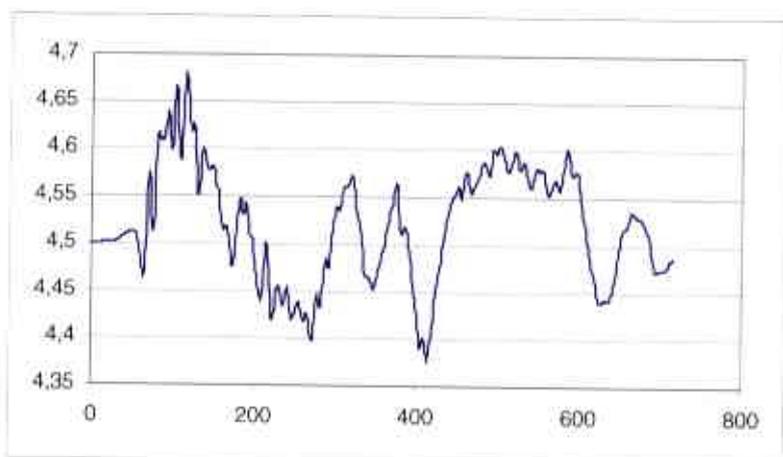
ANNEXE I : Simulations des ondes de gravité



Dépression à 980hp :
 -Trajectoire NW (départ sw Irlande)
 -Vitesse de 80 km/h
 -rayon de la dépression 40km

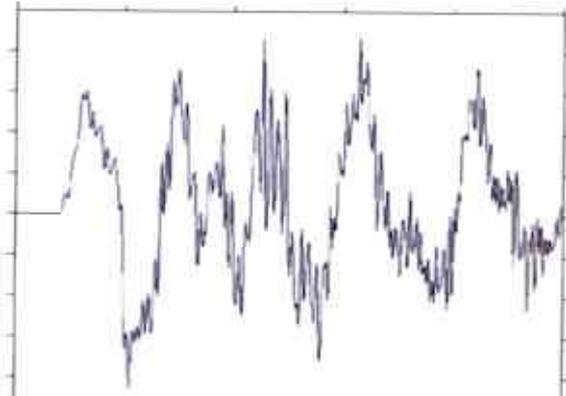


Dépression à 980hp :
 -Trajectoire WSW (départ large Bretagne)
 -Vitesse de 80 km/h
 -rayon de la dépression 40km

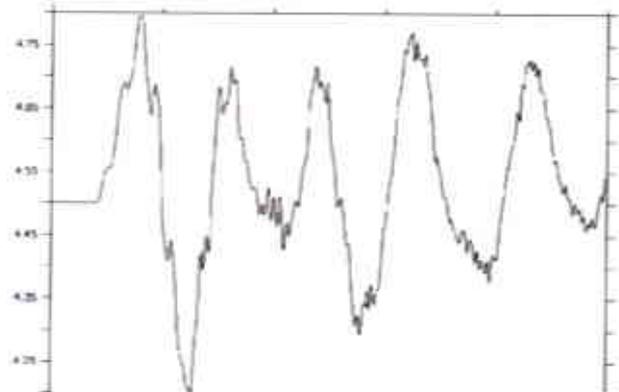


Dépression à 980hp :
 -Trajectoire SW (départ large Galice)
 -Vitesse de 100 km/h
 -rayon de la dépression 60km

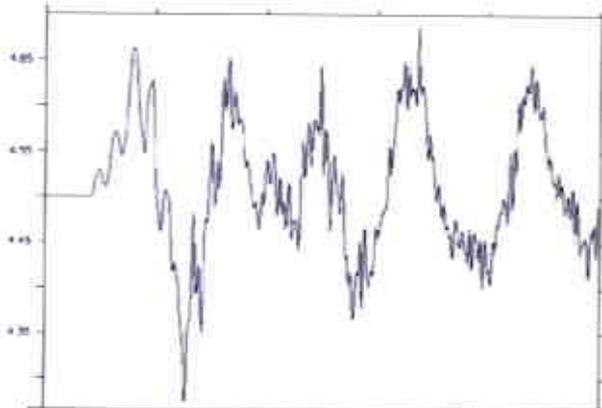
**ANNEXE J : Simulations de la variation de la surface de
l'eau au niveau des coureaux après l'excitation d'un
train d'onde**



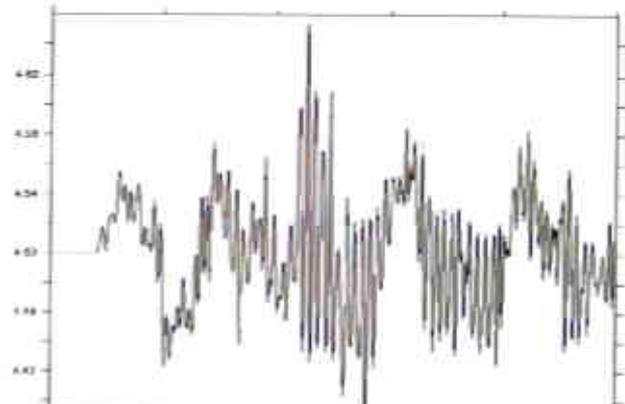
Amplitude de l'onde incidente : $A_1=10\text{cm}$;
 $A_2=5\text{cm}$
 Période : $T_1=1$ heure et $T_2=5$ minutes
 Amplification : $Q_1=3$; $Q_2=5$



Amplitude de l'onde incidente : $A_1=10\text{cm}$;
 $A_2=5\text{cm}$
 Période : $T_1=1$ heure et $T_2=10$ minutes
 Amplification : $Q_1=6$; $Q_2=2$

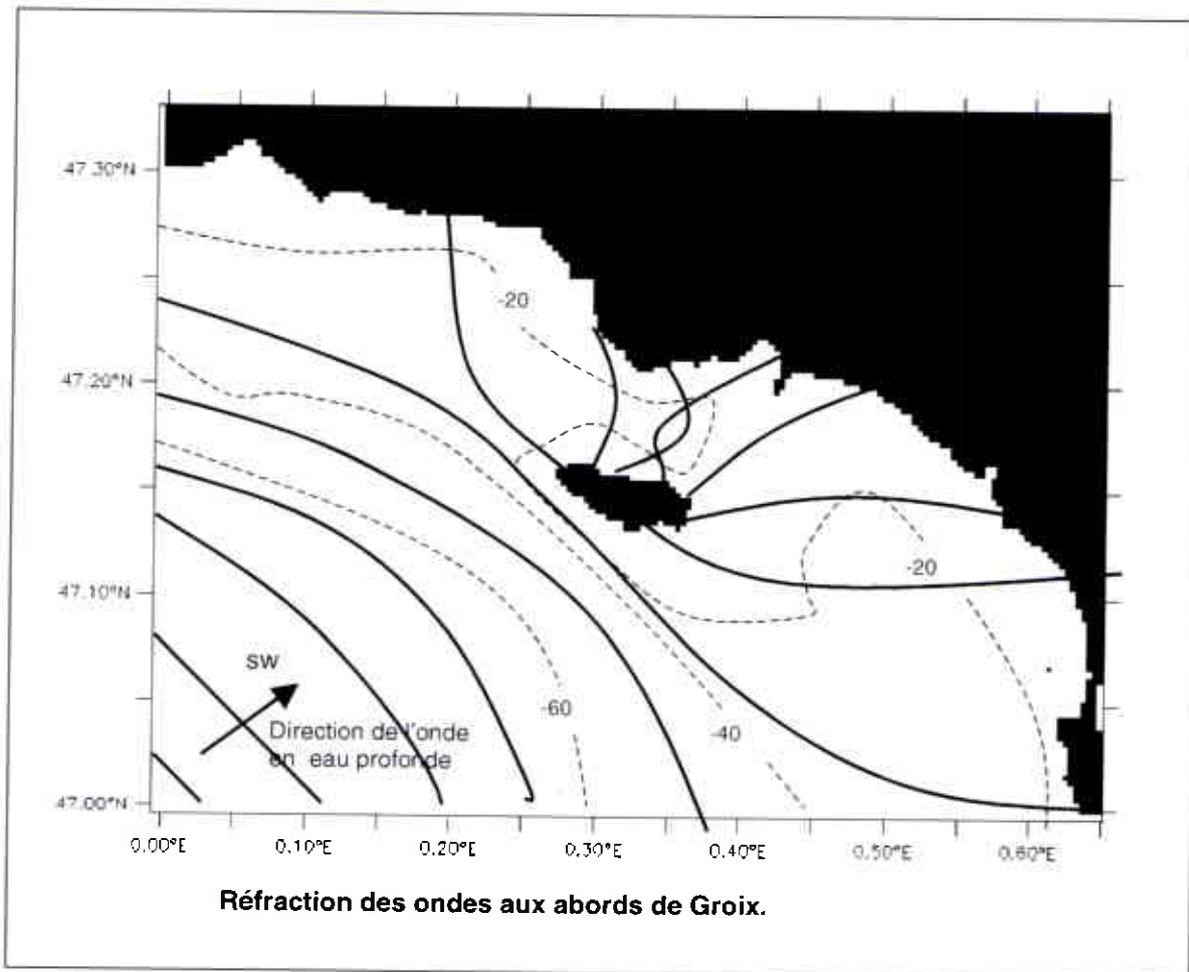


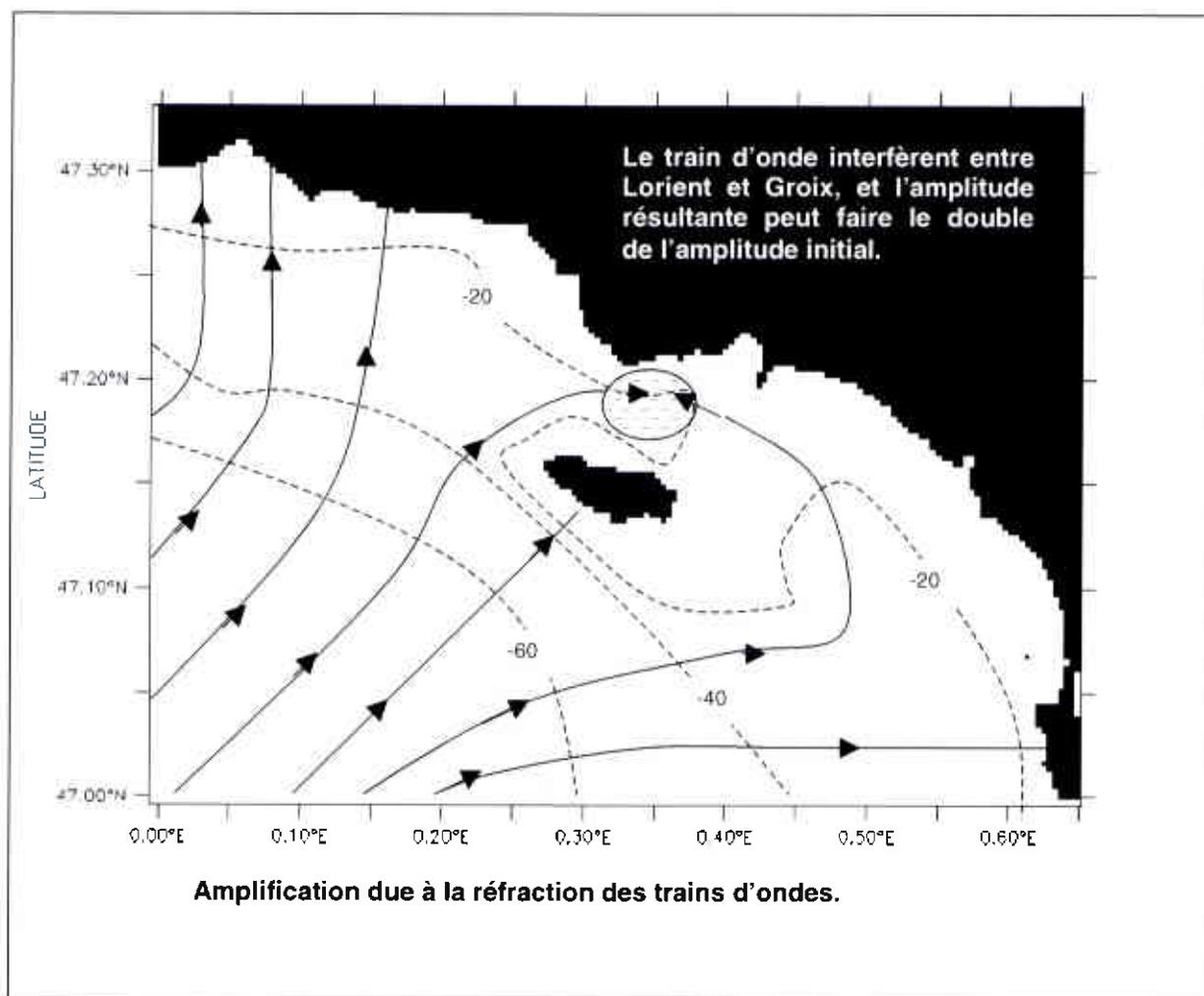
Amplitude de l'onde incidente : $A_1=10\text{cm}$;
 $A_2=5\text{cm}$
 Période : $T_1=3$ heure et $T_2=10$ minutes
 Amplification : $Q_1=2,5$; $Q_2=4$



Amplitude de l'onde incidente : $A_1=10\text{cm}$;
 $A_2=5\text{cm}$
 Période : $T_1=3$ heure et $T_2=5$ minutes
 Amplification : $Q_1=1,3$; $Q_2=4,6$

ANNEXE K : Schémas de la diffraction des ondes de gravité autour de Groix





ANNEXE L : Courantomètres



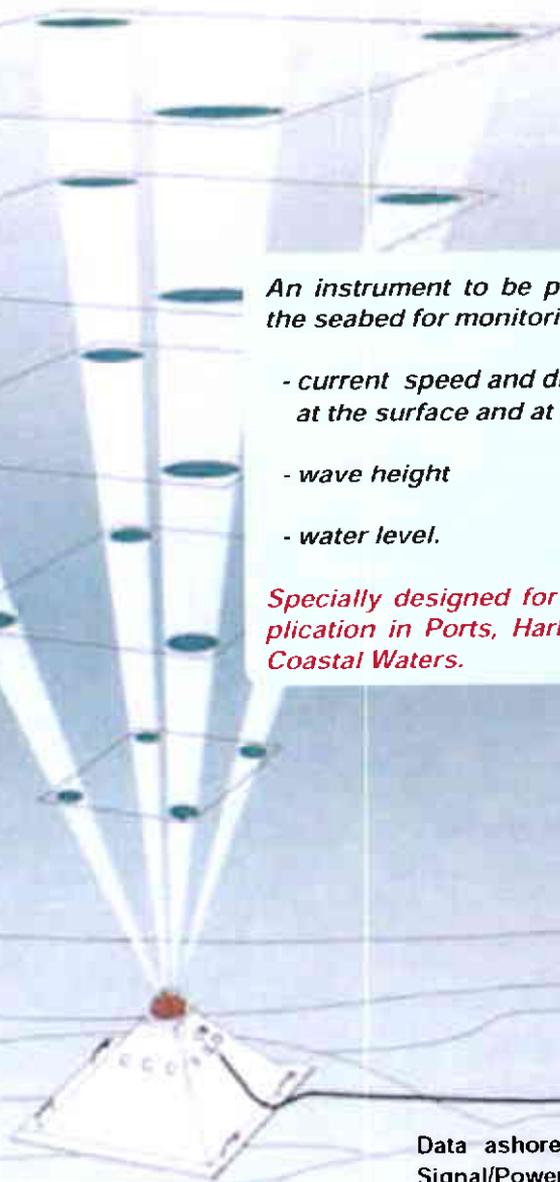
AANDERAA INSTRUMENTS

DATA COLLECTING INSTRUMENTS FOR LAND SEA AND AIR

DOPPLER CURRENT METER DCM 12



DCM 12



DCM 12 in Mooring Frame

An instrument to be placed on the seabed for monitoring:

- *current speed and direction at the surface and at 5 depths*
- *wave height*
- *water level.*

Specially designed for VTS application in Ports, Harbors and Coastal Waters.

Data ashore via Underwater Signal/Power cable

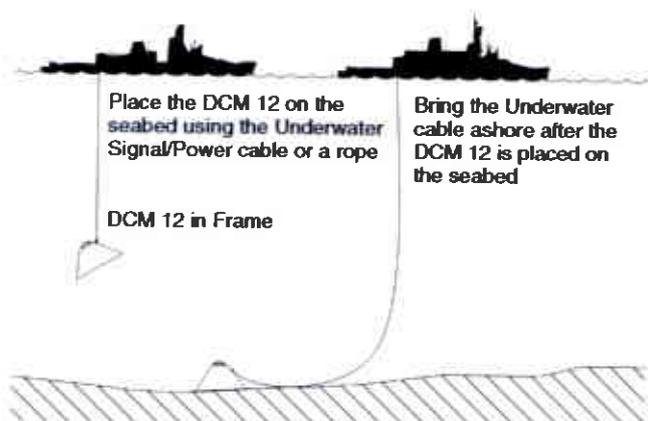
GENERAL INFORMATION

Real-time information on current speed and direction, significant wave height and water level is of great importance to safe navigation in harbors and coastal waters in an age of increasing sea traffic. The Doppler Current Meter DCM 12 has been designed to provide this information. The instrument is, however, equally suited to research and survey work in shallow waters, where it can be deployed in a self-recording mode. The DCM 12 is easily installed on the seabed and measures at regular time intervals:

- The current at the sea surface and at 5 depths.
- Water Level and Significant Wave Height ($H_{1/3}$).

Data is conveyed to the Port Office or Traffic Control Center in real-time either by cable, by UHF/VHF radio, telephone line or a combination of these. Alternatively, data can be stored in-situ with a Data Storage Unit DSU 2990 installed in the DCM 12.

The DCM 12 is lowered to the seabed by means of the underwater cable or a sinking rope. Great efforts have been taken to make this instrument easy to deploy and easy to use. In order to obtain easy deployment the instrument is held by a gimbal in a mooring frame (50cm high), as shown on page 5. This arrangement allows the instrument to be moored by its cable from a small vessel and to be vertical even if the sea-floor is at an angle.



The cable for conveying data ashore and for providing power to the instrument has 7 conductors and can be up to 6 km in length. For reliable operation and long endurance the cable has a double wound reinforcement steel sheath and an outer polyurethane jacket.

The DCM 12 consists of an acoustic transducer head fitted on top of a recording unit. The transducer head has four acoustic transducers angled 30° in 90° azimuthal increments for measuring the horizontal speed and direction of a current. The recording unit, housed in a standard Aanderaa pressure case, contains the main electronics which are molded in low density polyurethane foam, the DSU 2990, a battery and a compass, which enables the current direction measurements to be referred to Magnetic North. The DCM 12 is installed in a mooring frame with 20° free gimbal movement that automatically levels the instrument when deployed on the seabed.

Principle of Operation

For interval longer than 10 minutes, the DCM 12 collects data during the last 10 minutes of the sampling interval. The data

is then presented. Oppositely located transducers work together. One ping from each transducer makes one measurement (a ping cycle). As the ultrasonic pulses travel towards the surface, echoes from particles and organisms in the water are scattered back to the transducers. Echoes received from the scatterers change frequency due to their movement in correlation with the sea current. This frequency change is known as the Doppler shift.

The usefulness of this principle depends on the concentration of particles in the sea above the instrument.

Dependent on the depth setting and time interval, up to 600 measurements (2400 pings) are taken before data is calculated, transmitted or stored. The calculations take place internally and the DCM 12 presents the vector averaged speed and direction as two 10-bit binary words for the surface and each of five uniform segments called depth cells.

The cell size can be either fixed, 2.5m, with a 2m illegible zone or variable with a 4m illegible zone. The pulse repetition rate can be high or low, and the instrument has three pulse energy levels. Please refer to Operating Manual TD190 for more comprehensive information.

The DCM 12 is normally powered from the shore via the underwater cable and should use the high pulse repetition rate, pos. 4 to pos. 6. If it is used purely for in-situ recording, the pulse repetition rate should be reduced to save power and the time interval should be set as long as possible. In the latter case an External Battery 3501, fastened to the mooring frame will power the instrument.

For DCM 12 deployed in harbors and in waterways, a shorter time interval than 10 minutes is often required. For that reason the instrument is furnished with a switch, by which the time interval can be set to 6 minutes or 3 minutes. In such cases the 1 second repetition rate (2400 pings/10 minutes) should be used to provide as good data quality as possible.

In some cases the DCM 12 is required to be triggered from the shore instead of being triggered by the internal clock. This may be the case if the instrument is to operate synchronously with other equipment, such as a land-based automatic weather station. See next page. In that case the internal time interval switch should be set in the position "Remote Control". The unit will then average all data over the interval since it last was triggered. The minimum triggering interval in this configuration is two minutes.

Water Level and Significant Wave Height.

Simultaneously with the current measurements, an internal pressure sensor measures once each second the hydrostatic pressure in the water column above the instrument. Water Level is determined from the average of these measurements. Significant wave height ($H_{1/3}$) is calculated from the variations in the measurements and compensated by the attenuation factor which is related to the deployment depth.

Instrument output signal

A time interval switch decides how often the data are presented. At the end of an interval, the instrument will scan each channel in sequence and convert the sensor readings to raw data in the Aanderaa 10-bit binary code, PDC-4. The first channel gives a fixed reference reading which serves as

an instrument identification and performance test, while the remaining channels contain the parameter readings. The

output signals are conveyed ashore through the underwater cable and, when fitted, stored in the DSU 2990.

The cell size is fixed 2.5m in position 1 and 4 but variable between 4 and 13m in positions 2,3,5 and 6. To verify the cell size and position of cells relative to deployment depth use the table below.

The maximum overlap of the adjacent cells is 50% as shown in Figure 1.

The depth ranges indicated under specifications are only recommended values based on water with normal level of scatterers. In water with higher level of scatterers the range value should be increased.

The maximum operating range is 56.5m above the instrument which is shown in Figure 3.

Deployment Depth 7.9m
Depth Settings 1 & 4: 2-15m
Cell size: Fixed 2.5m

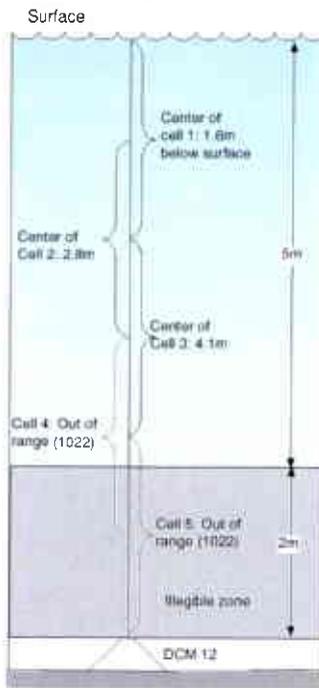


Figure 1

Deployment Depth 18m
Depth Settings 1 & 4: 2-15m
Cell size: Fixed 2.5m

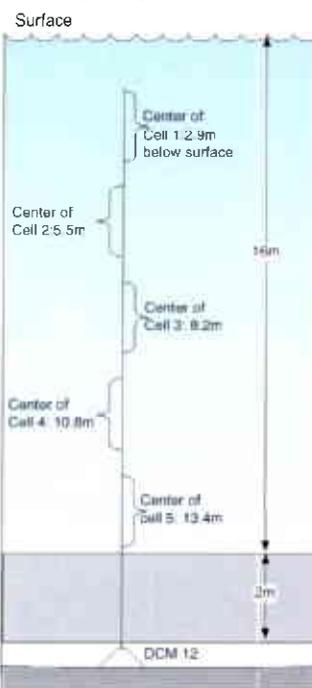


Figure 2

Deployment Depth 150m
Depth Settings 2 & 5: 14-26 m or
Depth settings 3 & 6: 25-50m
Cell size: 13m(incl. surface cell)
Surface

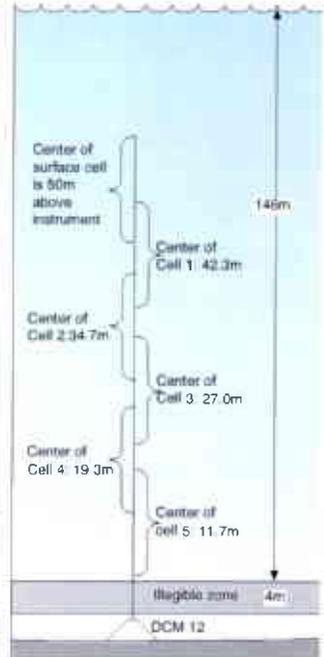


Figure 3

CELL SIZE AND LOCATION OF DEPTH CELLS			
Depth Setting	Cell Size	Depth Cell is Located at	Illegible Zone
Pos. 1 & 4	Fixed 2.5 meters	$N \times (D - 2.3) / 6 + 0.3$ meters Set D=9.8 for deployment < 9.8 m	2 meters
Pos. 2, 3, 5, & 6	$(D - 4) \times 0.28$ meters Minimum 4 meters	$N \times (D - 4) / 6$ meters Set D=16 for deployment < 16 m.	4 meters

N = depth cell number (one through five from surface down). D = deployment depth of DCM 12 in meters. For deployment depths of 50 meters or more, set D=50 (for all depth settings).



The Port Environment Information System from Aanderaa is developed to aid ship navigation in harbors, canals, rivers, channels and other narrow waterways.

The system makes vital environment information available to ship captains, harbor authorities, pilots and other concerned parties. Weather and ocean conditions are displayed in the port office and also made available as a voice message by marine radio and by ordinary telephone.

The two main products constituting the system are the Doppler Current Meter, DCM 12, and the Automatic Weather Station, AWS 2700

SPECIFICATIONS

CHANNEL CONFIGURATION

- Ch.1. Reference No.:** Instrument identification and performance verification.
 - Ch.2. Water Level:** Range: 0–60 meters.
Accuracy: $\pm 0.1\%$.
 - Ch.3. Wave Height:** significant (H1/3), for long period waves, $T > 5s$ and deployment depth less than 15m.
Range: 0–10 meters.
Accuracy: $\pm 5\text{ cm}$.
 - Ch.4 & 5. Current Speed and direction at the Surface.**
(The upper 2 mm of the sea surface).
 - Ch.6 through 15. Current Speed and direction at 5 Depths.**
Speed, range: 0–500 cm/s.
Accuracy: See table below
Direction, range: 0–360° magnetic. Accuracy: $\pm 2^\circ$.
- Transducer frequency: 606.7 KHz
Maximum measuring range is 56.5m

IN-SITU RECORDING

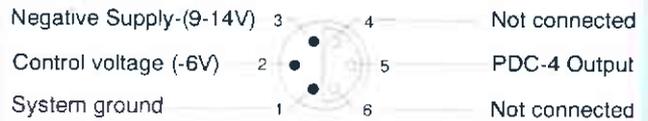
- Recording System:** Data Storage Unit 2990 or 2990E
- Data Format:** 10 bit data words in PDC 4 code
- Storage capacity:** 2990: 65500 words
2990E: 262000 words. The DSU is read using the DSU Reader 2995 and a PC with Data Reading Program 5059
- Internal Battery:** 9V, 14 Ah for function test and servicing, part no. 3770
- External Battery:** 9V40 Ah, Battery3501 and Cable 3721
(fitted on the frame) Size: 95 X 300 X 200 mm
Increases the operating time in depth setting 1 & 2 to 46 days and in setting 3 to 29 days with 10 minute sampling interval

REAL-TIME OPERATION - OUTPUT SIGNAL

When the instrument is triggered, the PDC-4 output signal is conveyed ashore via cable from the output receptacle on the top end-plate.

PIN CONFIGURATION

Receptacle, exterior view; pin = ●; bushing = ○



The control voltage is used to switch on the UHF/VHF transmitter if installed ashore. Power is supplied to the instrument via the same cable.

Line Power: Via cable from shore using AC/DC Adapter 3786, 110-260VAC
12VDC, 3.0A

The instrument has an acoustic transducer for data transmission, which is mainly used for checking the operation of a deployed in-situ recording DCM 12.

OPERATIONAL CONTROLS

(To be set prior to deployment)

- Pulse Repetition Rate:** Selectable, 1 pulse cycle is 4 pings
- Cell Size :** Fixed or variable.
- Time Interval:** 3, 6, 10, 20, 30, 60, 120 minutes and Remote Control.
Accuracy: Better than $\pm 3s/day$

Control Switches inside the instrument:



TABLE SHOWING ACCURACY AND POWER CONSUMPTION

	Range (m)	Ping rate(Hz)	Cell Size	Accuracy, Speed at 5 depths	Max. power cons.
Pos. 1	2-15	1	2.5m	$\pm 3\text{cm/sec} \pm 1\%$ of FS	40mA
Pos. 2	4-26	0.5	Variable, min.4m	$\pm 3\text{cm/sec} \pm 1\%$ of FS	40mA
Pos. 3	4-56.5	0.5	Variable, min.4m	$\pm 3\text{cm/sec} \pm 1\%$ of FS	60mA
Pos. 4	2-15	4	2.5m	$\pm 2\text{cm/sec}$.	200mA
Pos. 5	4-26	2	Variable, min.4m	$\pm 1.5\text{cm/sec}$.	200mA
Pos. 6	4-56.5	2	Variable, min.4m	$\pm 1.5\text{cm/sec}$.	300mA

MATERIALS, DIMENSIONS AND WEIGHTS

- External Materials:** Pressure Case: OSNISIL, stain less steel, epoxy coated.
Transducer Head: Durotong, Hostaform and stainless steel.
- Net Weight:** 16.2 kg in air, 10.7 kg in water.
- Dimensions:** 470x150 mm.
- Packing:** Plywood case, 190x250x600 mm.

- Gross Weight:** 20.5 kg.
- Accessories:** Deck Unit 3127, (recommended test instrument).
Frame Elevation Fixture 3727
- Warranty:** Two years warranty against faulty materials and workmanship

DEPLOYMENT. The DCM12 is rugged, lightweight and easy to install in a fixed position on the seabed by means of a specially designed mooring frame and underwater signal/power cable.

MOORING FRAME 3438

Type A pyramidal fixture with gimbals to ensure automatic leveling of the DCM 12 within a seabed inclination of 20°

Material: ABS, Hostaform, bronze and stainless steel

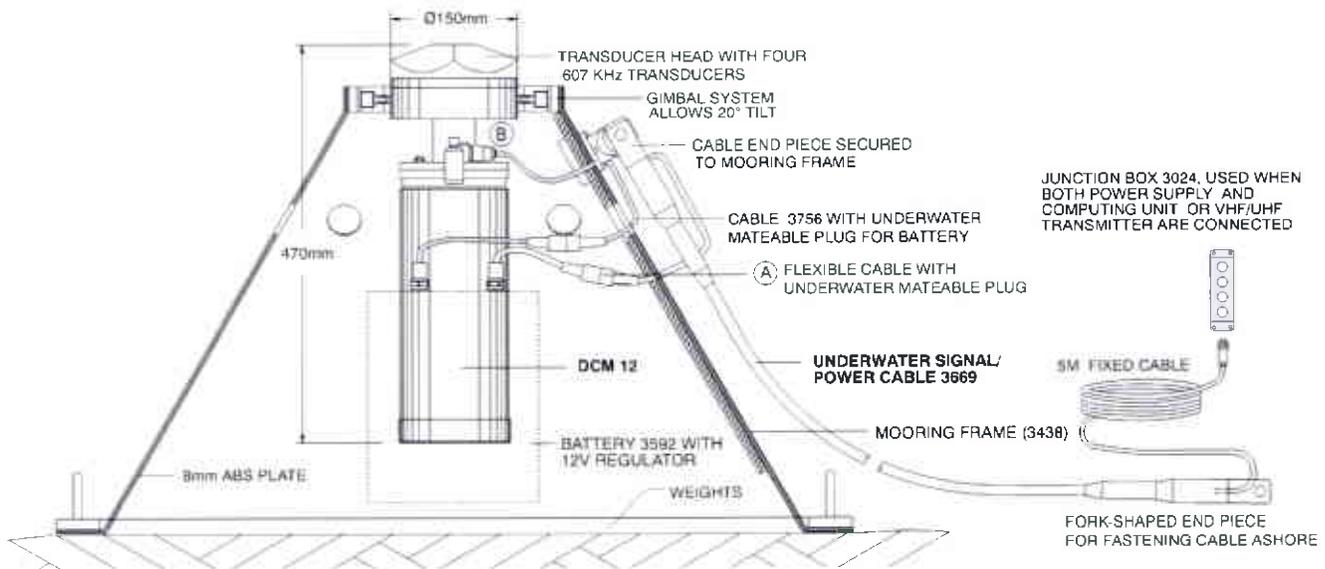
Net Weight: In air: 32 kg; in water: 28.2kg

Dimensions: 960 x 960 x 500mm

Packing: Wooden Framework
Dim. 1050 x 1050 x 690 mm

Gross Weight: 51kg
(67.2 kg with DCM 12 installed)

DCM 12 IN MOORING FRAME WITH UNDERWATER SIGNAL/POWER CABLE



UNDERWATER SIGNAL/POWER CABLE 3669

Type: An 18 mm OD, Well Logging cable with double wound reinforcement steel sheath (0,9 GRW), 3x0,5mm² and 4x1,5mm² core, polyurethane outer jacket

El. Connector: On land: Watertight Plug 2828L
Connected to the DCM 12: 2828T

Net Weight: 0.65 kg/meter

Breaking Load: 1300 kg

Packing: Drum, Ø70 x 60cm (up to 250m)

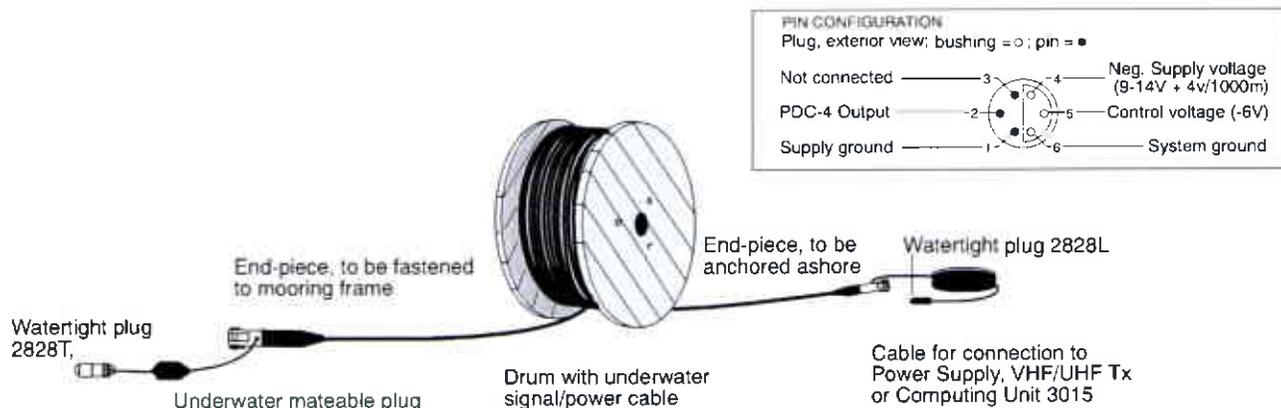
Gross Weight: 65kg (each 100 meters of cable)

The illustration above shows the arrangement needed when using a **Signal/Power cable between 800 meters and 6000 meters in length.**

For Signal/Power cable less than 800 meters the shaded cable and Battery 3592 can be deleted. The cable marked A must then be connected to the DCM 12 receptacle B.

Power from the shore is then supplied by the Computing Unit or an AC/DC Adapter 3502.

Warranty: Our standard warranty (2 years) is not applicable in cases where breakage or malfunction occur to the cable during installation or when caused by excessive wear or other external forces.



DATA PRESENTATION

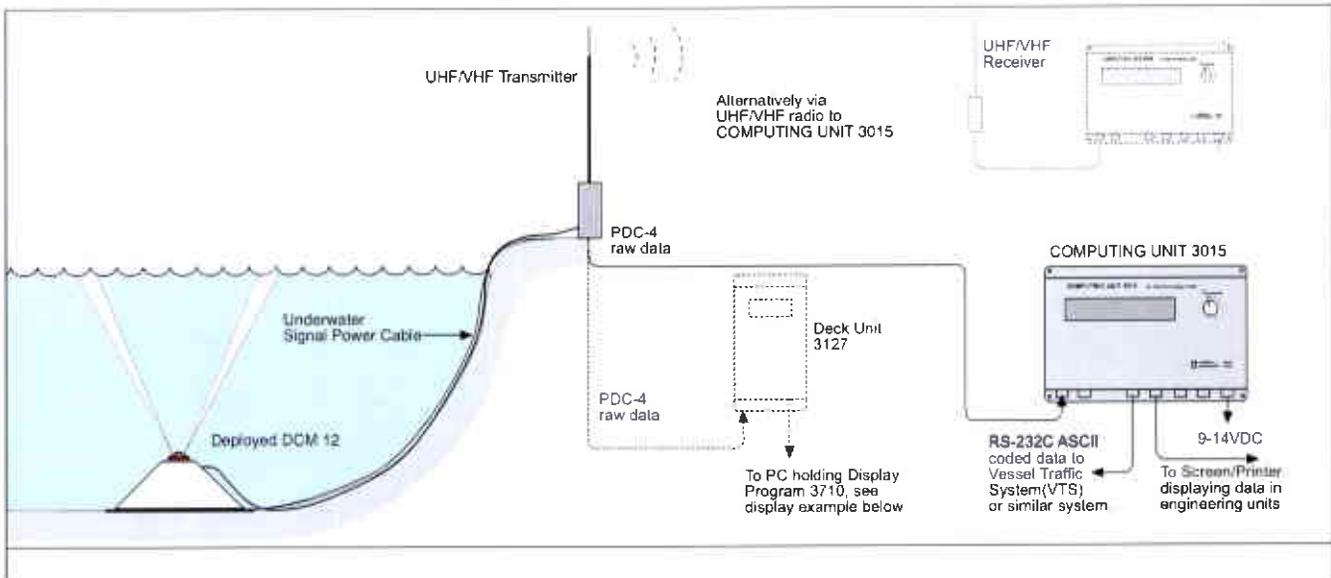
Data is normally conveyed directly from the DCM12 to the Port Office via the underwater cable. At the Port Office or Vessel Traffic Center, data is received and converted by Computing Unit 3015 to engineering units in RS-232C serial format and displayed or fed directly into a Vessel Traffic System. The DCM12 will in this configuration be powered from Mains via the 3015 unit.

Further conveyance of digital data can be done by telephone using the Field Modem 3431. Voice Generator 3420 will present the same data as a voice message either by telephone or via marine radio. The 3015 unit also offers data displayed

as a Diurnal Picture when connected to a printer or screen. As an alternative, the data can be fed via Deck Unit 3127 to a PC holding Display Program 3710. An example of how data can be displayed is shown below.

The equipment described for conveying data ashore are all optional items.

In some cases transfer of data by VHF or UHF link to the port office is more practical. Data are, in those cases brought by cable to the nearest shore where the radio transmitter is installed. The transmitter and the DCM 12 are then mains powered via an AC/DC Adapter.



Display Program 3710

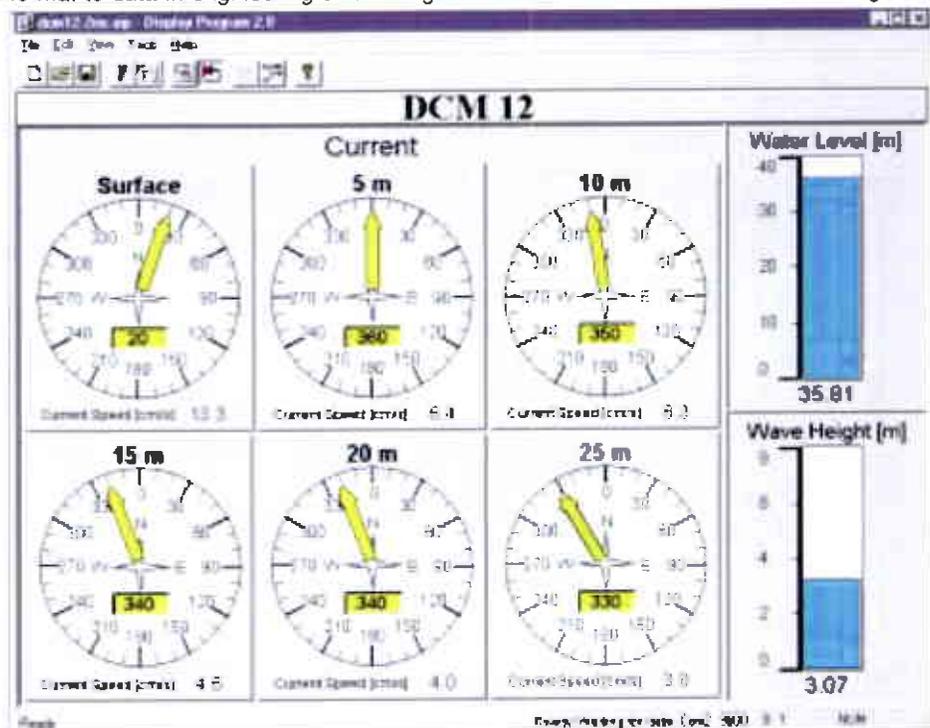
The Display Program 3710, is a real time display program with data storage capability. The user can set up a complete display using a combination of windows. The on-line help will lead you, step by step, through a build-up of the display.

The program works almost like a drawing program with the ability to alter the drawing as the physical parameters change. The program converts raw data in RS 232 format to data in engineering units. Program 3710 is intended for use in monitoring harbors, airports, power plants, reservoirs, etc., and facilities that need to monitor sea / coast or other outdoor environments.

The program requires a computer with Windows ©95 (Build 1111 or later versions), Windows ©98 or Windows NTTM, version 4, with at least one free serial communications port available, 8 Mbytes of memory, 4 Mbytes of free hard-drive space and a mouse connected.

To be able to publish the display on several terminals a client version of the program can also be delivered.

The program is available on the Internet. A 30 day trial program can be downloaded from our Internet site at: <http://www.aanderaa.com/3710Disp-Prog.html>



Latest version is on the internet

PO BOX 160, NESTTUN
5852 BERGEN, NORWAY

FANAVEIEN 13B
5221 NESTTUN, NORWAY

TEL. +47 55 109900
FAX. +47 55 109910

E-MAIL: info@aanderaa.no
WEB: <http://www.aanderaa.com>

Aquadopp™

Open water Current Meter (3D)

Imagine an ocean current meter without need for recalibration, without moving parts, with the ability to withstand fouling and with the sampling volume moved away from the mounting structure. These are among the factors making the Aquadopp™ family the most versatile ocean current meters available.

Leading oceanographers and engineers all over the world use the Aquadopp. Typical applications are:

- Self-contained deployments
- Permanent monitoring stations
- Real time data collection on buoys, ROVs, offshore platforms, etc.

The Aquadopp is usually configured from a PC but it can be operated from any third-party controller using the RS-232/RS-422 interface (binary or ASCII) or analog outputs.

Software

The Aquadopp comes standard with Windows software both for real time data collection and for controlling autonomous deployments. Different views and menus guide you through the process from configuration to data conversion. The software has an on-line help section and requires no special skills.

New firmware versions from Nortek can be loaded into the Aquadopp using the standard software, removing the need for opening the canister and replacing components.

The effect of magnetic deployment frames can be eliminated in the on-line compass calibration procedure.

Wave directional spectra

The Aquadopp can be configured to collect wave directional data at the same time as it measures the mean current.

Nortek provides postprocessing software that allows you to calculate the wave spectra from the raw data.



The Aquadopp has several significant advantages when compared to other open water current meters:

- All plastic and titanium parts stops corrosion
- Small and light weight (less than 3kg!)
- No moving parts that can be blocked or sensitive parts that are easily damaged
- Low power consumption for long deployments
- A variety of sensor heads and the ability to move the sampling volume away from the mounting structure assure undisturbed measurements in all situations

In the final analyses, the Aquadopp offers great value through the combined use of advanced Doppler technology and a flexible system design.

Diagnostic mode

The diagnostic mode is unique for Aquadopp. It allows the user to intersperse the average data with periods of rapid sampling (1 Hz). Diagnostic data are typically used to analyze mooring motion or to gather information about surface waves or internal waves.

www.nortek-as.com



Water Velocity Measurement

Range	± 5 m/s (inquire for higher ranges)
Accuracy	1% of measured value ± 0.5 cm/s
Maximum sampling rate (output)	1Hz, 2 or 4Hz on request
Internal sampling rate	23 Hz

Measurement area

Measurement cell size	0.75 m
Measurement cell position (user selectable)	0.35-5.0 m
Default position (along beam)	0.35-1.8 m

Doppler uncertainty (noise)

Typical uncertainty for default configurations	0.5-1.0 cm/s
Uncertainty in U/V at 1 Hz sampling rate	1.5 cm/s

Echo Intensity

Acoustic frequency	2 MHz
Resolution	0.45 dB
Dynamic range	90 dB

Sensors

Temperature	Thermistor embedded in head
• Range	-4°C to 40°C
• Accuracy/Resolution	0.2°C/0.01°C
• Time response	10 min

Compass	Flux-gate with liquid tilt
• Maximum tilt	30°
• Accuracy/Resolution	2°/0.1° for tilt < 20°

Tilt	Liquid level
• Accuracy/Resolution	0.2°/0.1° for tilt < 20°
• Up or down	Automatic detect

Pressure	Piezoresistive
• Range	0-200m (standard)
• Accuracy/Resolution	0.5% / Better than 0.005% of full scale per sample

Analog inputs

Number of channels	2
Voltage supply	12V. Hardware can be modified to provide 5V or battery voltage
Voltage input	16 bit A/D

Data Communication

I/O	RS-232, RS-422, or analog outputs
Baud rate	300-115200
User control	Handled via WIN32 software, ActiveX function calls, or direct commands with binary or ASCII data output

Software ("Aquadopp")

Operating system	WIN95, 98, 2000, NT 4.0, XP
Functions	Deployment planning, start with alarm, data retrieval, ASCII conversion. Online data collection and graphical display. Test modes.

Data Recording

Capacity (standard)	2 MB, expandable to 22MB or 78 MB
Data record	40 bytes
Diagnostic record	40 bytes

Power

DC input	9-16VDC
Peak current	2A at 12VDC (user adjustable)

Max. consumption, 1 Hz	0.2-1.0 W
Avg. consumption, 0.02 Hz	0.1 W
0.002 Hz	0.01 W
Sleep consumption	0.0013 W
Battery capacity	50 Wh. Extended 6000m version has two battery packs (i.e. double capacity)
New battery voltage	13.5 VDC
Data collection (alkaline)	6 months at 10-min, ± 1.5 cm/s noise
Data collection (lithium)	18 months at 10-min, ± 1.5 cm/s noise

Connectors

Bulkhead (impulse)	LPMBH-5-FS (bronze - titanium optional)
Cable	LPML5-MP on 5m neoprene cable

Materials

Standard model	Delrin® and polyurethane plastics with titanium screws
----------------	--

Environmental

Operating temperature	-5°C to 45°C
Storage temperature	-15°C to 60°C
Shock and vibration	IEC 721-3-2
Pressure rating	300m (pressure sensor OK to 1.5xrange)

Antifouling paint

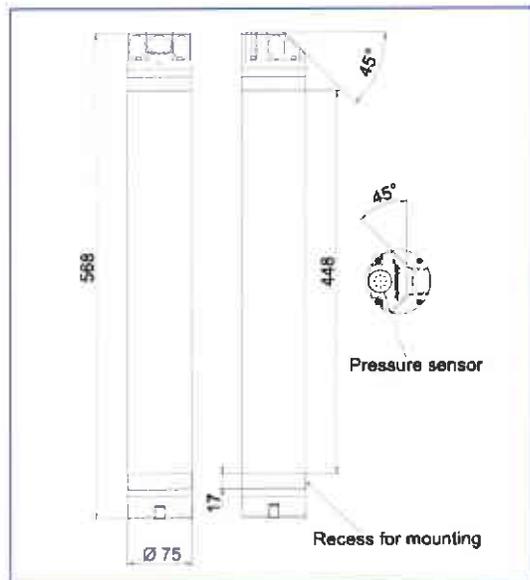
May be applied to all surfaces

Dimensions

Cylinder	Diameter: 75 mm Length: 550mm with batteries or 450mm
Weight in air	3.5 kg
Weight in water	Neutral

Options

Acoustic beams	Several different sensor heads available. See separate specification sheet
Battery	Lithium or rechargeable Li-Ion batteries available
External battery	4 battery packs in 75 mm diameter, 500mm length. External canister
Connectors	LPMBH-8-FS with PLPML-8-MP on 10m polyurethane cable for optional RS422 or RS232 with analog input.



www.nortek-as.com

NORTEK AS
Vangkrøken 2
NO-1351 Rud
Norway

Tel: +47 6717 4500
Fax: +47 6713 6770

E-mail: inquiry@nortek.no

青岛诺泰克测量设备有限公司

中国·青岛山东路29号顺兴大厦
电话: 8866-532-9017576 9017270

传真: 8866-532-9017576

E-mail: inquiry@nortek.com.cn

www.nortek.com.cn

NortekUK

Mildmay House, High St.
Hartley Wintney
Hants. RG27 8NY

Tel: +44-1428 751 953

Fax: +44-1428 751 533

E-mail: inquiry@nortekuk.co.uk

NORTEKUSA

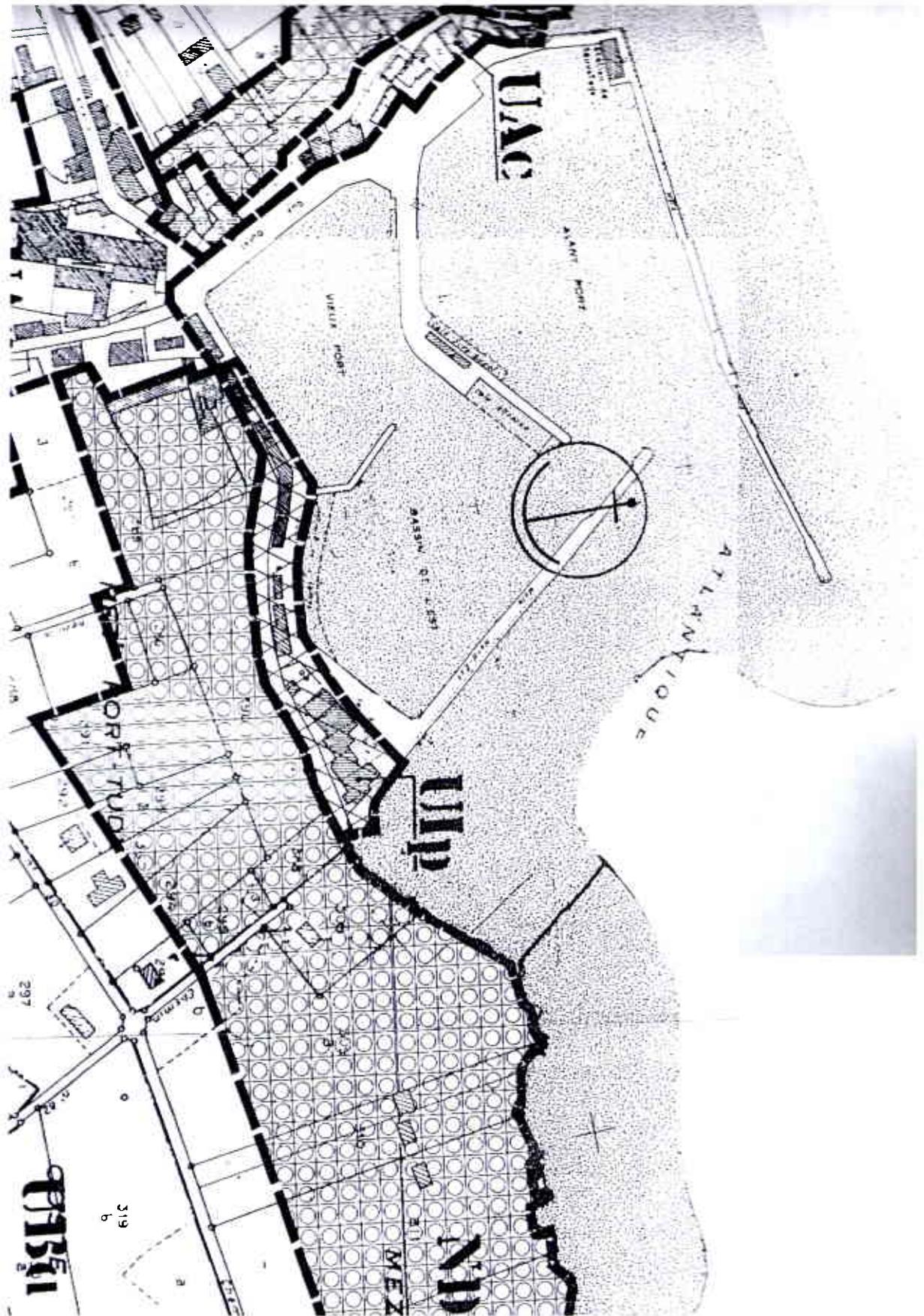
Tel: +1 760-510-5922

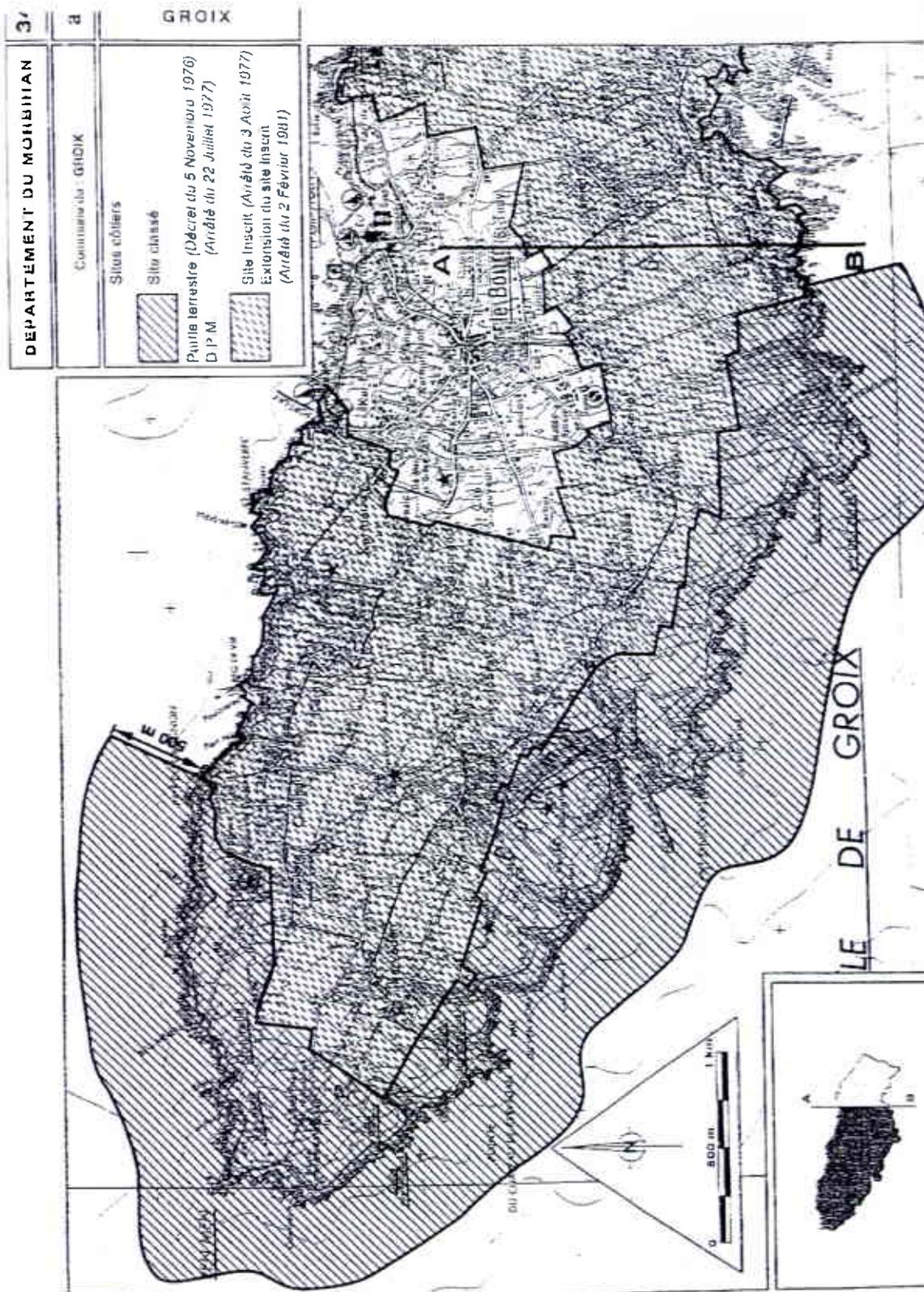
Fax: +1 760-510-5921

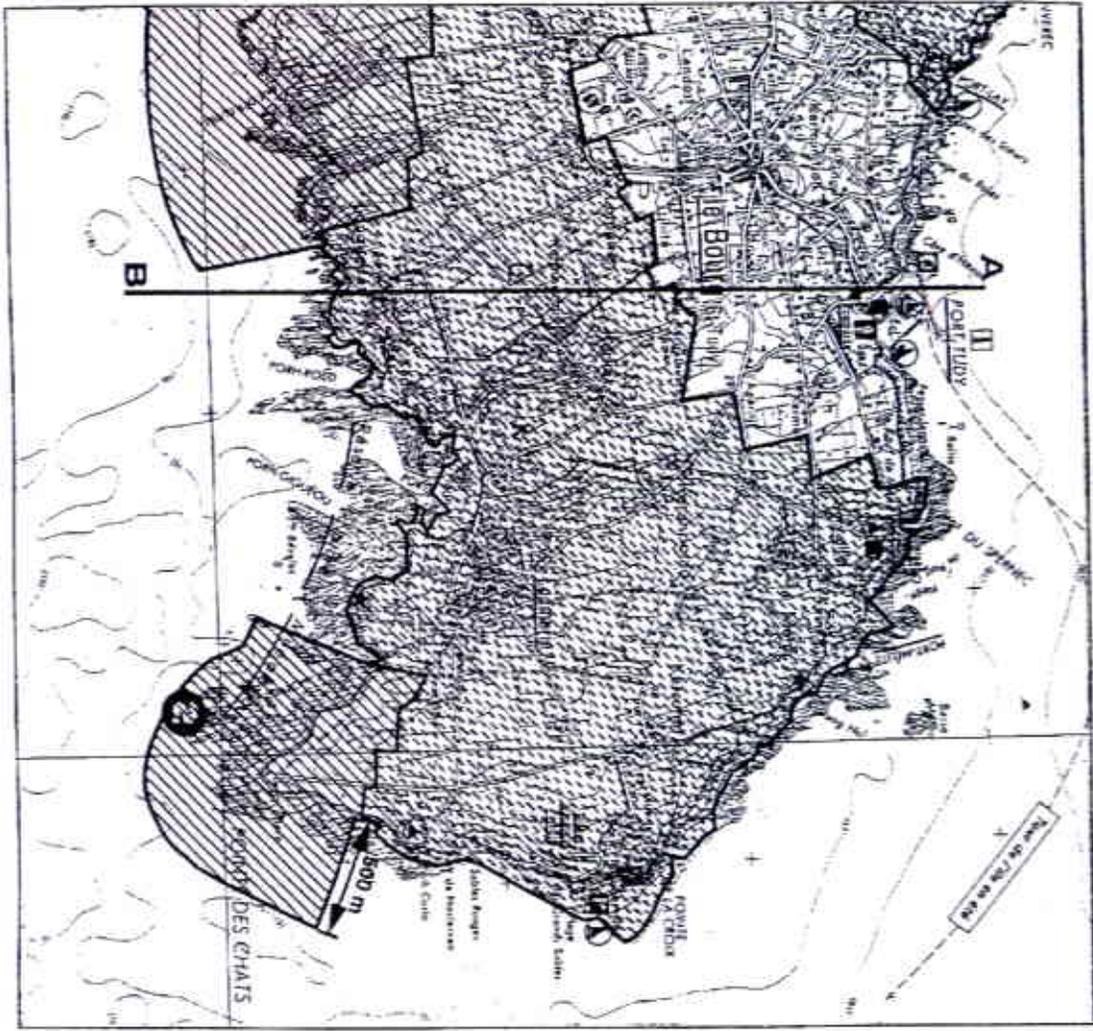
E-mail: inquiry@nortekusa.com

www.nortekusa.com

ANNEXE M : Occupation des sols







DEPARTEMENT DU MORBIHAN		34
Commune de GROIX		b
	Sites côtiers	
	Site classé	
	Parle territoire (Décret du 5 Novembre 1976) D.P.M. (Arrêté du 22 Juillet 1977)	
	Site inscrit (Arrêté du 3 Août 1977) Extension du site inscrit (Arrêté du 2 Février 1981)	GROIX

ANNEXE N : Aménagements portuaires.

