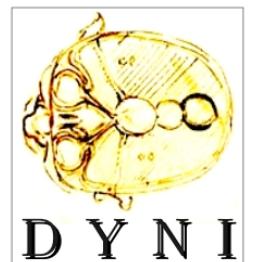




# BioSonar du Cachalot : Inversion et Poursuite Passive 4D d'une Perception Active

Pr. Hervé Glotin  
avec R. Abeille, Y. Doh, P. Giraudet, J.-M. Prévot...



Institut universitaire de France  
& Université Sud-Toulon Var  
UMR LSIS – DYNI team  
[glotin@univ-tln.fr](mailto:glotin@univ-tln.fr) <http://glotin.univ-tln.fr>

Avec MC : J. Razik, S. Paris, F. Chamroukhi, L Yuchenko ; Postdoc X. Halkias; PhDstud : Y. Doh, R. Abeille, F. Bénard  
Master : O. Dufour, Lelandais, Rabouy ; Ing. JM. Prévot, A. Monnin  
Prag Dr P. Giraudet

Partie du projet ONCET : <http://glotin.univ-tln.fr/oncet>

# Plan

- A) Introduction
- B) Suivi mono-hydrophone (rorqual, cachalot)
- C) Suivi 3D d'une pluralité de cachalot (quadri-phonique)
- D) Perspectives



## A1) Contexte Recherche

# Equipe DYNamiques de l'information LSIS UMR CNRS USTV

<http://www.lsis.org/dyni>

- Axes de recherche INTERDISCIPLINAIRE
  - **Indexation multimodale à l'échelle**
    - Reconnaissance de formes, Détection & Classification automatique
    - BD et indexation à l'échelle (web... texte, images)
    - Indexation vidéo à l'échelle (4ieme national à TRECVID2012 (5 ieme internat IRIM)
    - Reconnaissance de la parole
    - Trajectographie multi-cible robuste
  - Notre stratégie pour le passage à l'échelle
    - Outils modélisation et manipulation de connaissances
    - Approximation de distances
    - Modélisation stochastique : filtrage d'artefact & prédition
  - Applications en détection / indexation de «cibles»
    - Sur signaux Bio-acoustique, Parole, Vidéo, Image, Texte, ...
    - Participation à des challenges internationaux,
    - Dépôt de brevets (PCT USA, Canada, Japon, NVZ,...),
  - Boîtes à outils
    - Plateforme d'Intégration Multimodale pour la Cétologie [PIMC]
    - Développement de librairie de reconnaissance de scène

## A2) Introduction à la bioacoustique

Acoustique présente dans tout le règne animal, toutes les niches



# Bioacoustique ?

- Discipline qui a vu le jour dans les années 1960. Étude des insectes, oiseaux, mammifères, amphibiens,... Nouvelle carte 500 KHz, nouvelle ère...
- Les conditions météo, la glace, l'activité tellurique peuvent aussi être mesurées et analysées par *acoustique passive*.
- Les informations bioacoustique sont présentes à toutes les échelles de tous les écosystèmes, des fosses sous-marine, aux interfaces, aux cimes des arbres et des montagnes, le jour, la nuit.
- Détection omnidirectionnel, peut d'obstacle ou masque.
- Mesures passives (non invasives) et long terme.
- Analyse d'un « acou-système » multi-échelle (TF) :
  - directe (action interne, production propre à l'animal),
  - ou indirecte (action sur milieu, déplacement),
  - échelle en temps et espace très variable.
    - Echelle du cm (flaque / insecte),
    - mètre (étang, parole humaine),
    - centaine de mètres (savane, forêt),
    - kilomètre (biosonar sous marin ultrason, éléphant... infrason),
    - centaine de kilomètres (voisement de baleine(bleue, à bosse...)).
- Capteurs simples à déployer et peu coûteux.
- Intérêt des traitements RT (déttection, sélection des traitements suivants espèces, indexation masse de données).

# Des cétacés au large de Toulon...

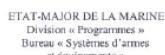


# Bioacoustique sous-marine intérêt dual environnement et défense

- Plusieurs recherches à l'USTV se placent à cette interface
- Estimation / protection de nuisances anthropiques acoustiques
- Grande campagne d'évaluation pour la reconnaissance automatique des espèces
- Workshops NIPS 2012 (Glotin et al. Bioacoustics meets Machine learning)



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



ETAT-MAJOR DE LA MARINE  
Division « Programmes »  
Bureau « Systèmes d'armes  
et équipements »

Paris, le 27 avril 2006

*Hervé Glotin*

Je tiens à vous souligner, en liaison avec le centre technique des services navals de la direction générale de l'armement, l'intérêt que porte la marine aux travaux de monsieur Glotin. En effet, la connaissance juste du milieu dans lequel nos moyens évoluent est une de nos préoccupations permanentes, aussi bien pour son exploitation tactique que pour sa protection.

Le projet PIMC de plateforme d'intégration, de traitement et recherche d'informations multimédias doit conduire à la réalisation d'un logiciel permettant la classification automatique des mammifères marins à partir notamment de signaux acoustiques ; il participe ainsi à une meilleure connaissance de la cartographie de la présence et du flux migratoire des cétacés.

Un tel outil, une fois industrialisé, concourrait à terme à une programmation de nos activités d'entraînement dans un respect encore plus grand de l'environnement marin.

Une démonstration du logiciel aux autorités militaires pourrait être envisagée avec des concours étatiques.

*En exprimant que vous pourrez appeler à ces occasions  
le porteur de l'ordre, je vous prie l'agréer  
l'expression de ma considération très respectueuse.*

*G. Glotin*



MINISTÈRE DE LA DÉFENSE



DÉLÉGATION GÉNÉRALE  
POUR L'ARMEMENT  
Systèmes Navals  
TOULON

Toulon, le 02 MAI 2006

Madame, Monsieur

Le Centre Technique des Systèmes Navals (CTSN) est chargé d'une étude sur les interactions acoustiques entre les sonars et les cétacés. Les résultats de cette étude permettront de prévenir tout effet nuisible sur les espèces de cétacés rencontrées sur les deux façades océaniques.

Le programme PIMC proposé par M. Hervé Glotin de l'université de Toulon présente de ce point de vue différentes facettes susceptibles d'intéresser le CTSN :

- l'objectif de réaliser un outil d'acquisition et de traitement automatique des données recueillies à la mer, dans lequel les données acoustiques seront couplées avec des données images,
- la perspective d'établir des cartes de densité des espèces et de tracer leurs routes migratoires au fil des saisons.

De plus, le CTSN reconnaît la compétence scientifique de l'équipe de l'université de Toulon et fait confiance à sa capacité à mener le projet à son terme.

Pour ces raisons et également dans un but d'établir une coopération avec l'équipe d'acousticiens du CTSN travaillant sur le sujet, le Centre Technique des Systèmes Navals est tout particulièrement intéressé par les résultats que le projet PIMC, aussi bien dans sa phase de développement que lors de sa validation future, pourrait apporter.

Veuillez agréer, Madame, Monsieur, l'expression de mes sentiments les meilleurs.

Pierre Séris  
Directeur du CTSN

*PS*



DET/CTSN  
Centre technique des systèmes navals - BP 28  
83 800 TOULON ARMEES  
Téléphone : 04 94 16 21 50 - Télécopie : 04 94 16 27 87

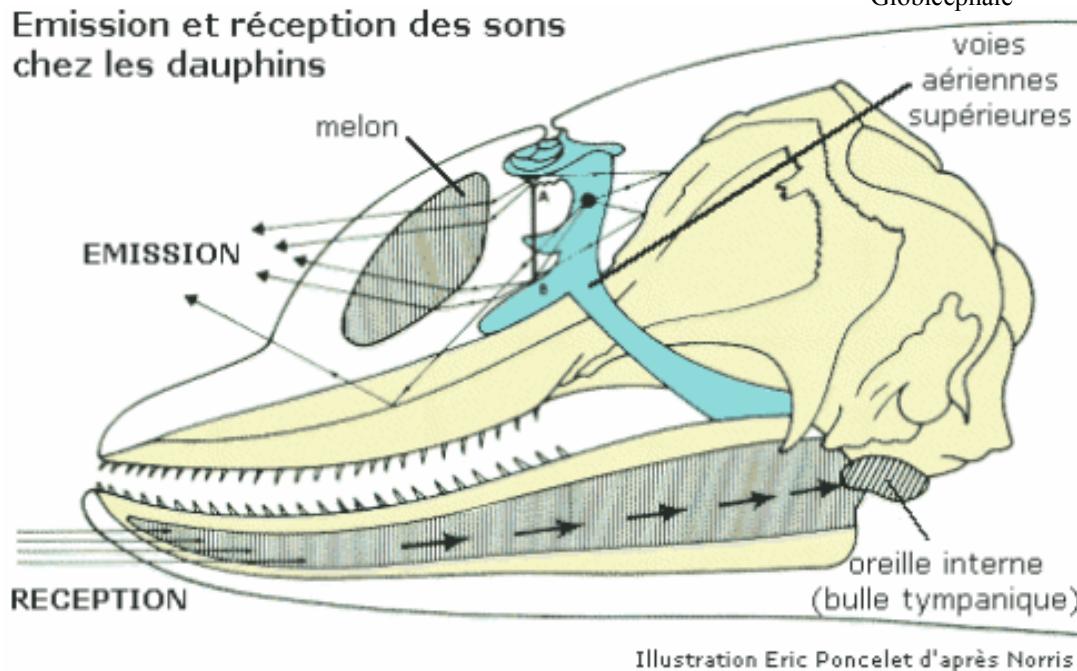
FORMULAIRE CTSN N° 20 D-MAN Ed 03

## A3) Production acoustique de cétacés

- Infrasons (sons très basse fréquence) : rorquals, baleines
- Sons complexes large bande (chants) : baleine franche, mégaptère
- Sons continus modulés en fréquences (siflements, cris) : delphinidés
- Sons impulsifs (clics) : delphinidés et cachalot

Espèce	Emission	Fréquence (kHz)	Niveau de source (re 1m Pa @1m)
Mégaptère	chant	0,03 - 8	145 - 190 dB
Rorqual commun	mugissement	0,03 - 0,75	155 - 165 dB
Grand dauphin	siflements	0,8 - 24	125 - 173 dB
idem	clics	110 - 130	218 - 228 dB
Dauphin de Rissos	clics	65	120 dB
Dauphin bleu et blanc	siflements	6 - 24	
Cachalot	clics	0,1 - 30	210 - 230 dB
Globicéphale	siflements	0,5 - 20	180 dB

Emission et réception des sons chez les dauphins

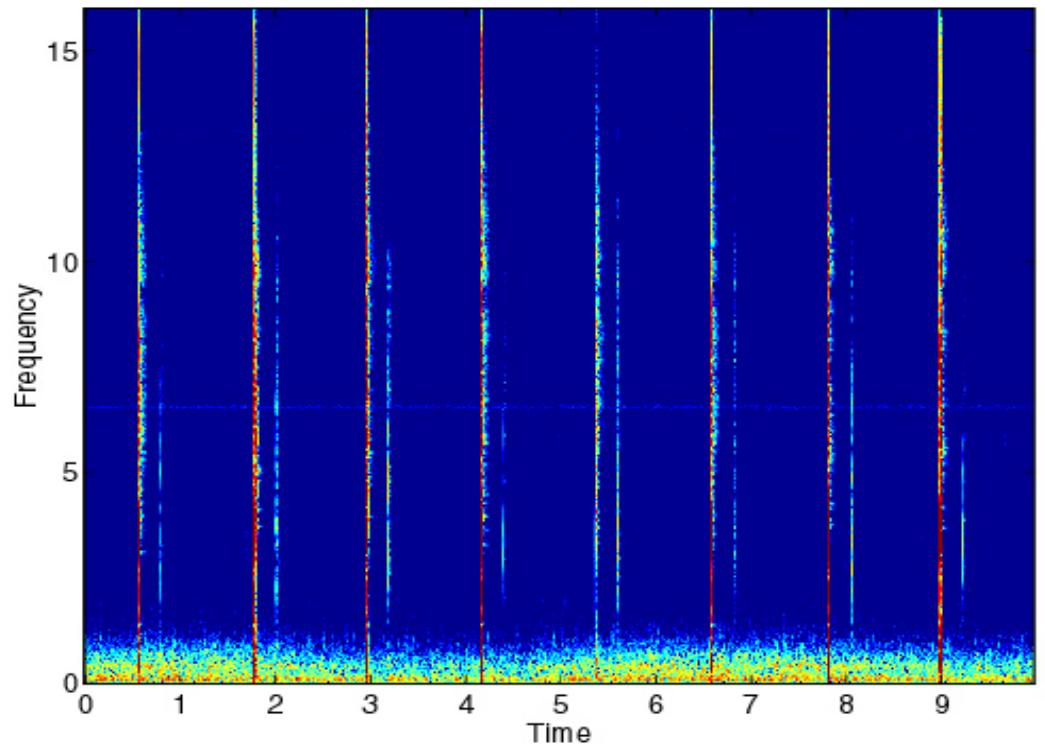
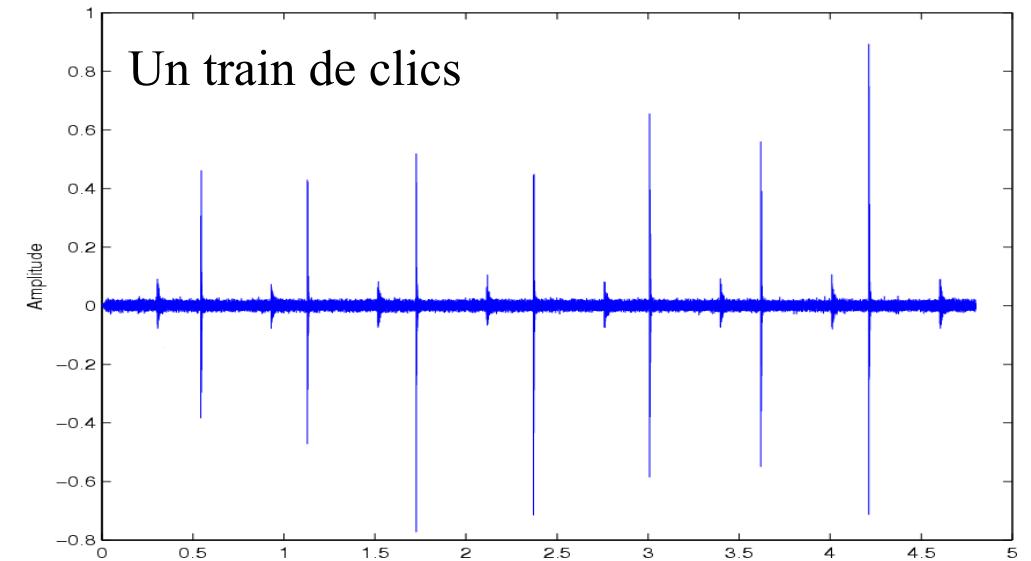


Quelques émissions sonores de cétacés  
Richardson et al., 1995.  
Marine mammals and noise  
Academic Press.

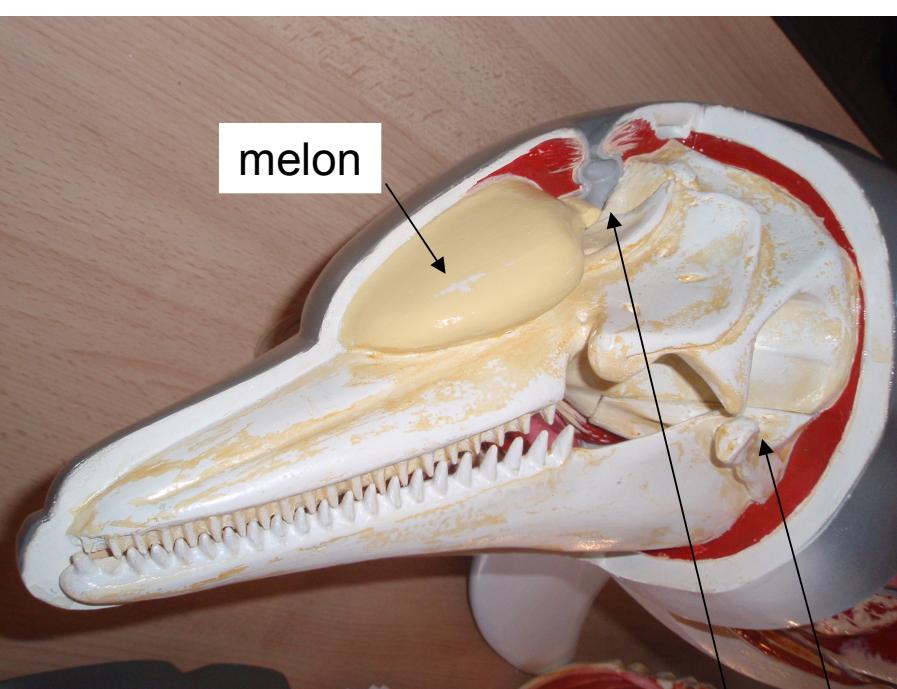
# Exemple d'organisation temporelle clics de cachalot



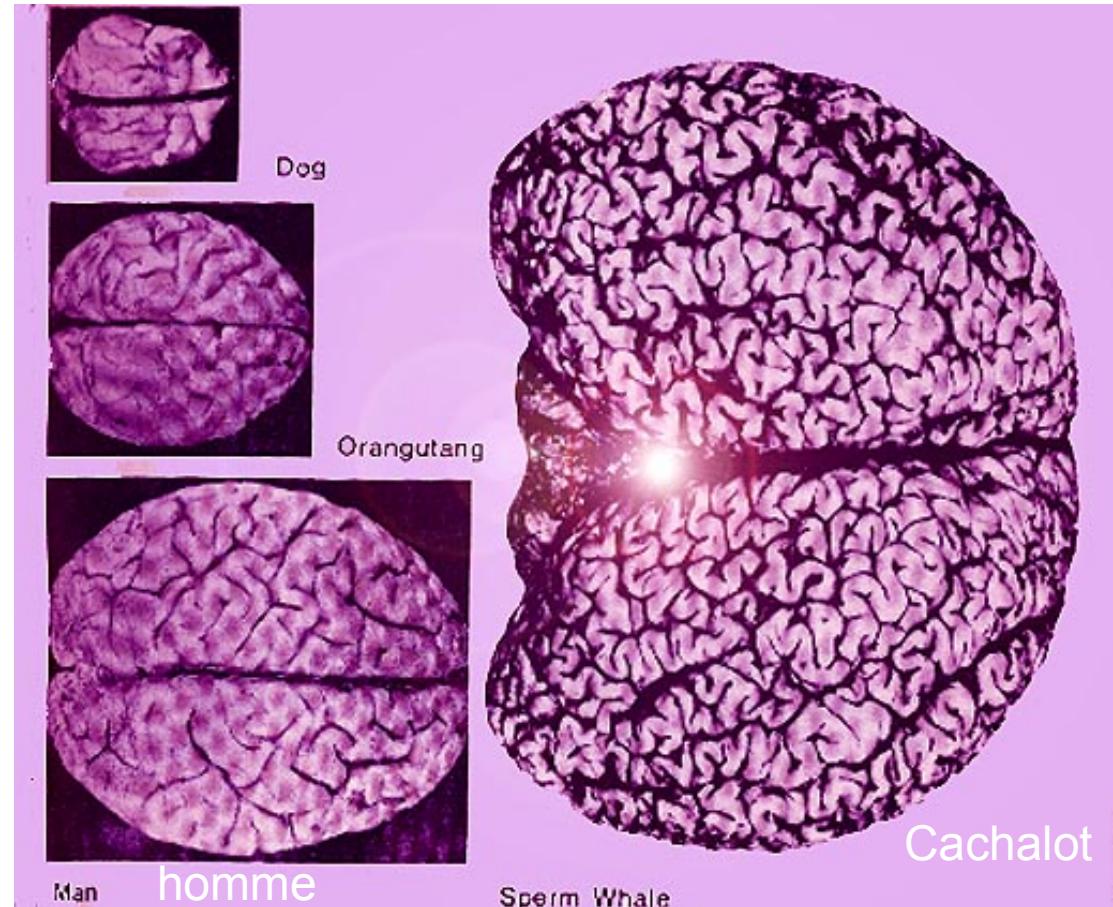
Spectrogramme  
d'un train de clics



# Survol neurophysiologique



Odontocètes : nerf facial (production) et auditif (perception) hypertrophiés

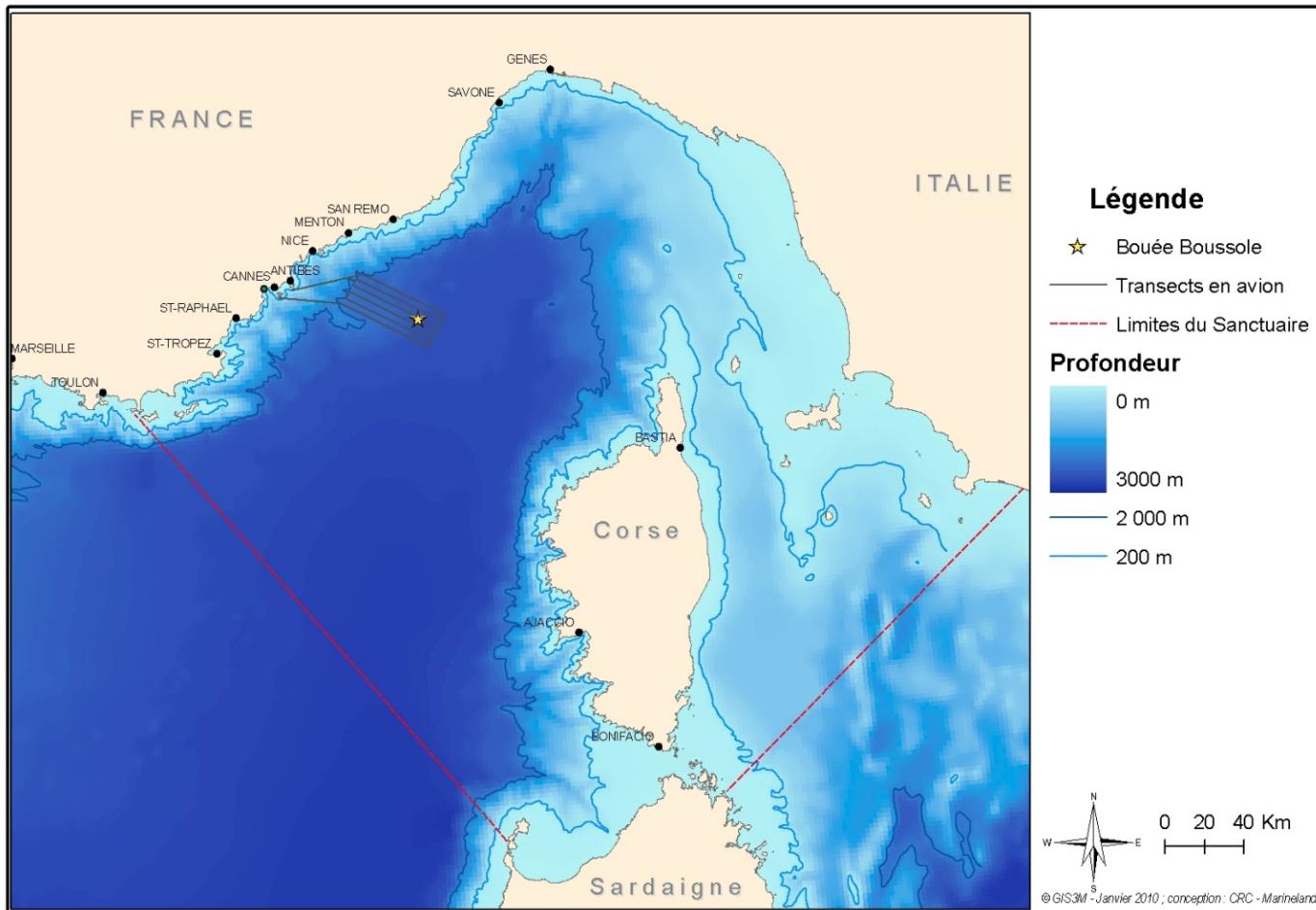


- cerveau de cachalot : le plus gros (toute ère confondue) : près de 10kg,
- complexité des circonvolutions plus grande que chez l'homme

## **B) Suivi Mono hydrophone exemple sur sanctuaire Pelagos**

- rorqual
- cachalot

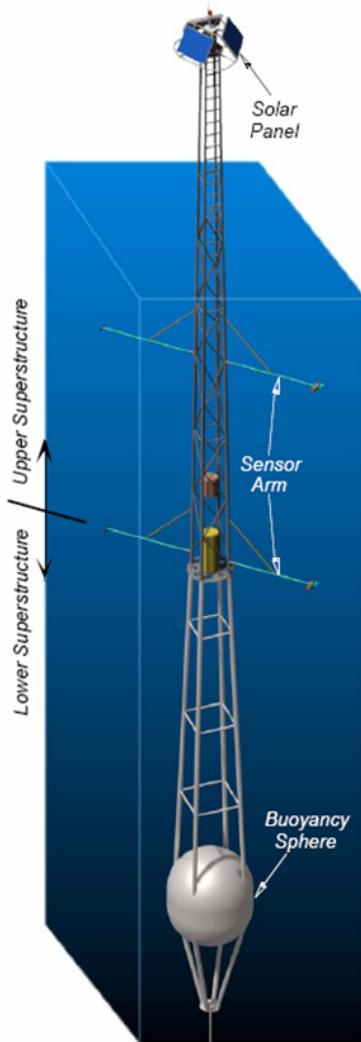
# Pelagos



Le sanctuaire PELAGOS est un espace maritime de 87500 km<sup>2</sup> faisant l'objet d'un accord entre l'Italie, Monaco et la France pour la protection des mammifères marins qui le fréquentent.

# Expérience sur bouée boussole

Bouée BOUSSOLE

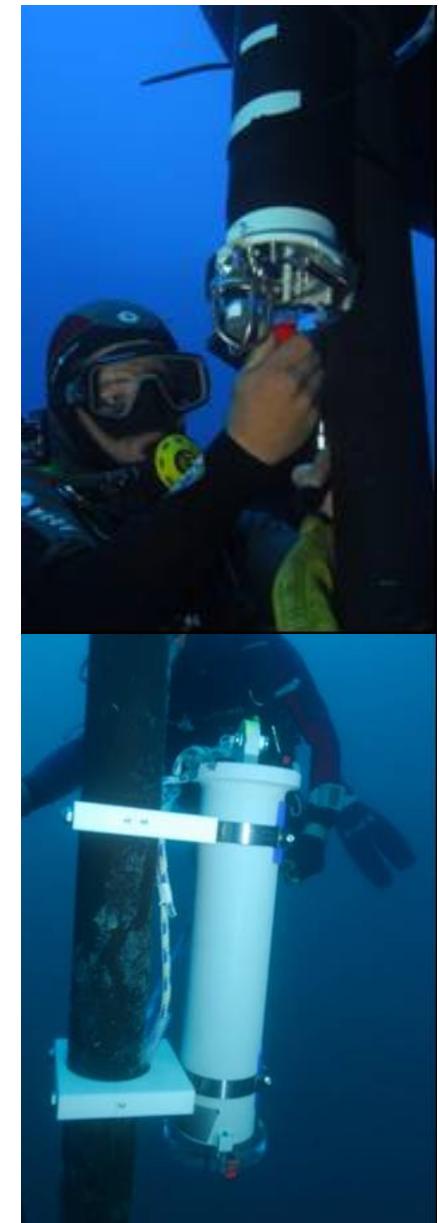


4 phases de déploiement :

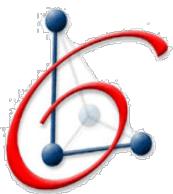
- du 15 octobre au 9 décembre 2008
- du 5 janvier au 2 mars 2009
- du 15 avril au 15 juin 2009
- du 16 juillet au 1 septembre 2009

Un hydrophone enregistre des données audio :

- 5 minutes tous les quarts d'heure
- 1 minute par déclenchement intempestif  
(dû à un fort signal acoustique)



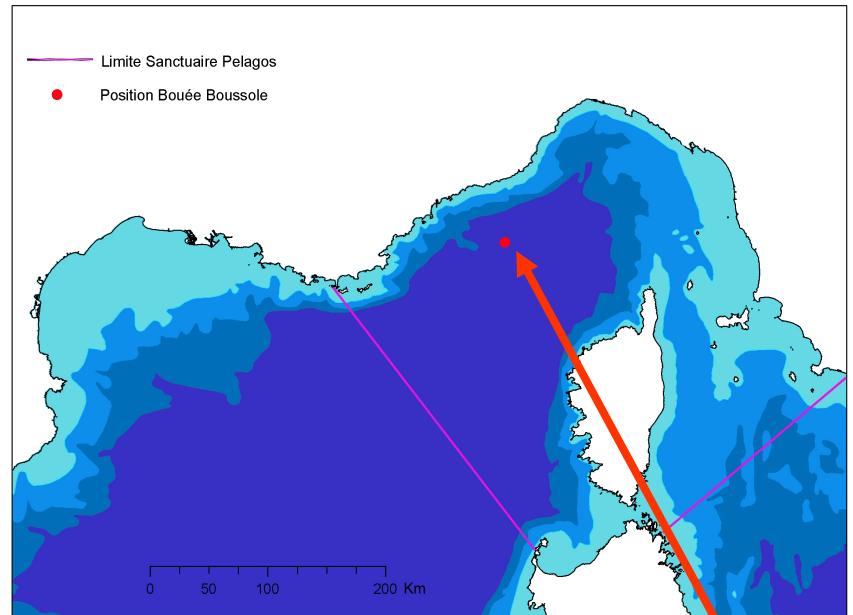
# Suivi acoustique 2008-2010 des populations de cétacés au nord du sanctuaire Pelagos



LSIS – NOA - MARINELAND

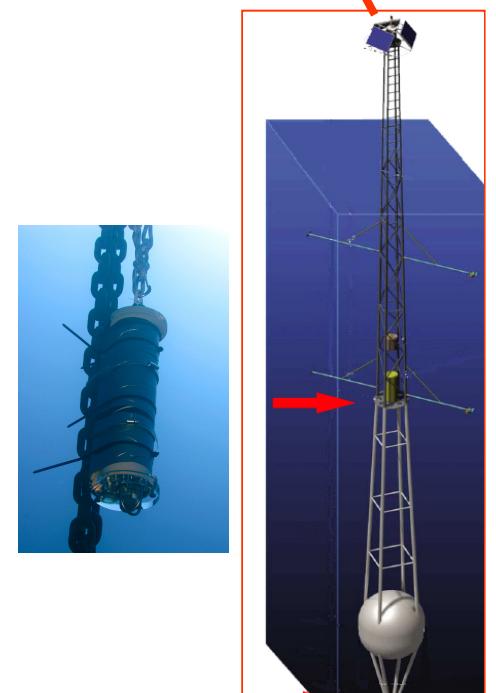
2008 - 2010 hydrophone autonome installé à 60 km au large de Nice

Cet équipement a détecté avec le système PIMC-DETECT du LSIS la présence de rorquals communs, de cachalots, de dauphins bleu et blanc,...



Oct. Nov. Dec. Jan. Fev. Mars Avril Mai Juin

Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Jun
1	1 phase I, j18	1 phase I, j48	1	1 Phase II, j28	1 Phase II, j56	1	1 Phase III, j17	1 Phase III, j48
2	2 phase I, j19	2 phase I, j49	2	2 Phase II, j29	2 Fin phase II, j57	2	2 Phase III, j18	2 Phase III, j49
3	3 phase I, j20	3 phase I, j50	3	3 Phase II, j30	3	3 Phase III, j19	3 Phase III, j50	
4	4 phase I, j21	4 phase I, j51	4	4 Phase II, j31	4	4 Phase III, j20	4 Transect Bateau	
5	5 phase I, j22	5 phase I, j52	5 Début phase II	5 Phase II, j32	5	5 Phase III, j21	5 Transect Bateau	
6	6 phase I, j23	6 phase I, j53	6 Phase II, j2	6 Phase II, j33	6	6 Phase III, j22	6 Phase III, j53	
7	7 phase I, j24	7 phase I, j54	7 Phase II, j3	7 Phase II, j34	7	7 Phase III, j23	7 Phase III, j54	
8	8 phase I, j25	8 phase I, j55	8 Phase II, j4	8 Phase II, j35	8	8 Phase III, j24	8 Transect Bateau	
9 M. Castellote à Antibes	9 phase I, j26	9 Fin phase I, j56	9 Phase II, j5	9 Phase II, j36	9	9 Phase III, j25	9 Phase III, j56	
10 M. Castellote à Antibes	10 phase I, j27	10	10 Phase II, j6	10 Phase II, j37	10	10 Phase III, j26	10 Phase III, j57	
11 M. Castellote à Antibes	11 phase I, j28	11	11 Phase II, j7	11 Phase II, j38	11	11 Phase III, j27	11 Phase III, j58	
12 M. Castellote à Antibes	12 phase I, j29	12	12 Phase II, j8	12 Phase II, j39	12	12 Phase III, j28	12 Phase III, j59	
13 M. Castellote à Antibes	13 phase I, j30	13	13 Phase II, j9	13 Phase II, j40	13	13 Phase III, j29	13 Phase III, j60	
14	14 phase I, j31	14	14 Phase II, j10	14 Phase II, j41	14	14 Phase III, j30	14 Phase III, j61	
15 Début phase I	15 phase I, j32	15	15 Phase II, j11	15 Phase II, j42	15 Début Phase III	15 Phase III, j31	15 Fin phase III, j62	
16 phase I, j2	16 phase I, j33	16	16 Phase II, j12	16 Phase II, j43	16 Phase III, j2	16 Phase III, j32	16	
17 phase I, j3	17 phase I, j34	17	17 Phase II, j13	17 Phase II, j44	17 Phase III, j3	17 Phase III, j33	17	
18 phase I, j4	18 phase I, j35	18	18 Phase II, j14	18 Phase II, j45	18 Phase III, j4	18 Phase III, j34	18	
19 phase I, j5	19 phase I, j36	19	19 Phase II, j15	19 Phase II, j46	19 Phase III, j5	19 Phase III, j35	19	
20 phase I, j6	20 phase I, j37	20	20 Phase II, j16	20 Phase II, j47	20 Phase III, j6	20 Phase III, j36	20	
21 phase I, j7	21 phase I, j38	21	21 Phase II, j17	21 Phase II, j48	21 Phase III, j7	21 Phase III, j37	21	
22 phase I, j8	22 phase I, j39	22	22 Phase II, j18	22 Phase II, j49	22 Phase III, j8	22 Phase III, j38	22	
23 phase I, j9	23 phase I, j40	23	23 Phase II, j19	23 Phase II, j50	23 Phase III, j9	23 Phase III, j39	23	
24 phase I, j10	24 phase I, j41	24	24 Phase II, j20	24 Phase II, j51	24 Phase III, j10	24 Phase III, j40	24	
25 phase I, j11	25 phase I, j42	25	25 Phase II, j21	25 Phase II, j52	25 Phase III, j11	25 Phase III, j41	25	
26 phase I, j12	26 phase I, j43	26	26 Phase II, j22	26 Phase II, j53	26 SURVOL 1	26	26	
27 phase I, j13	27 phase I, j44	27	27 Phase II, j23	27 Phase II, j54	27 Phase III, j13	27 Phase III, j43	27	
28 phase I, j14	28 phase I, j45	28	28 Phase II, j24	28 Phase II, j55	28 Phase III, j14	28 Phase III, j44	28	
29 phase I, j15	29 phase I, j46	29	29 Phase II, j25	29	29 Phase III, j15	29 Phase III, j45	29	
30 phase I, j16	30 phase I, j47	30	30 Phase II, j26	30	30 Phase III, j16	30 Phase III, j46	30	
31 phase I, j17			31 Phase II, j27	31	31 Phase III, j47			

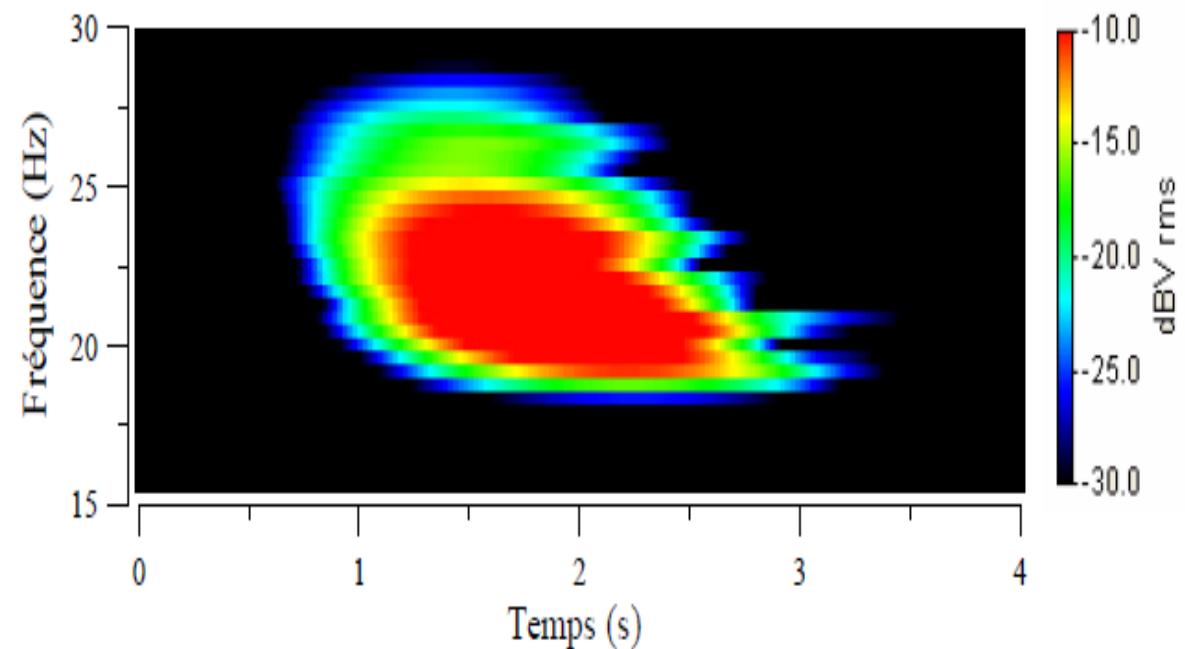


# B1) Suivi rorqual par détection spectrale

Rorqual commun

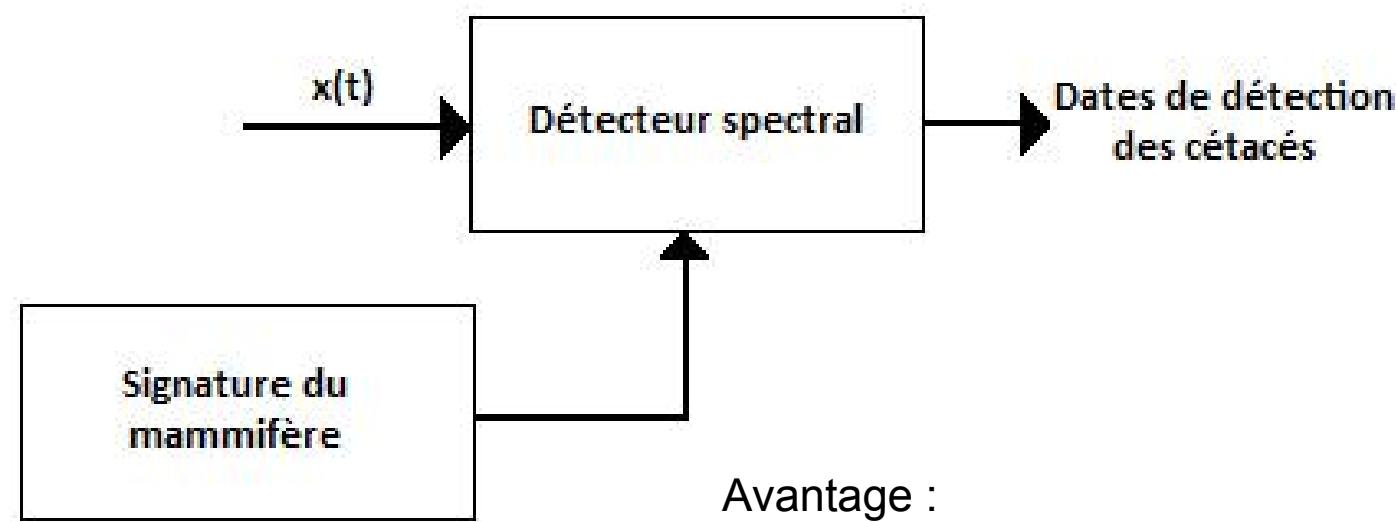


Le rorqual commun est le deuxième plus grand animal vivant sur la planète avec une longueur d'environ 20 mètres pour une masse aux alentours de 70 tonnes.



# Méthode de détection

Détecteur par spectrogramme de corrélation

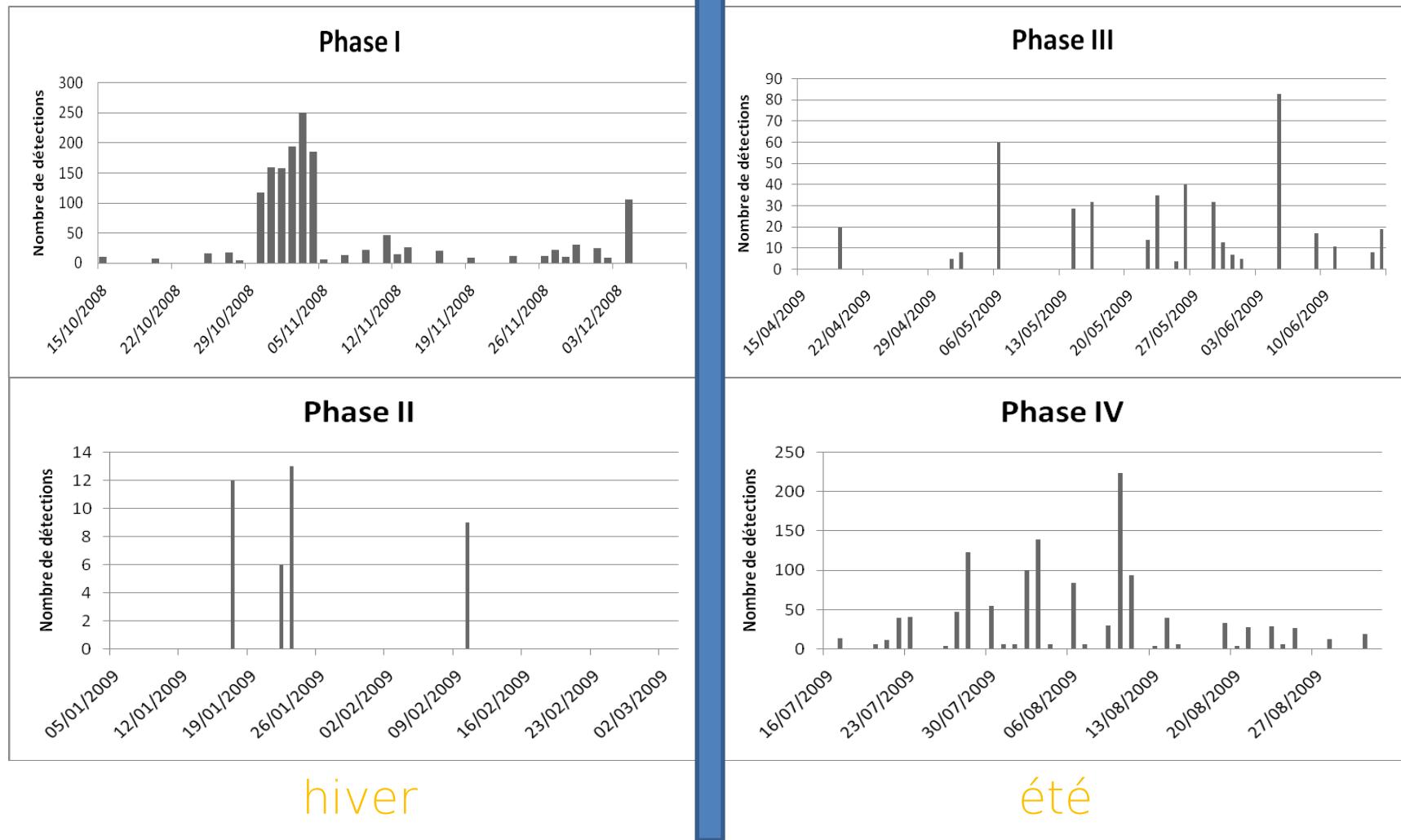


Avantage :  
Bonne qualité de détection  
Temps de calcul (7h30 / mois)

Inconvénient :  
Détection très dépendante de la signature

# Résultats

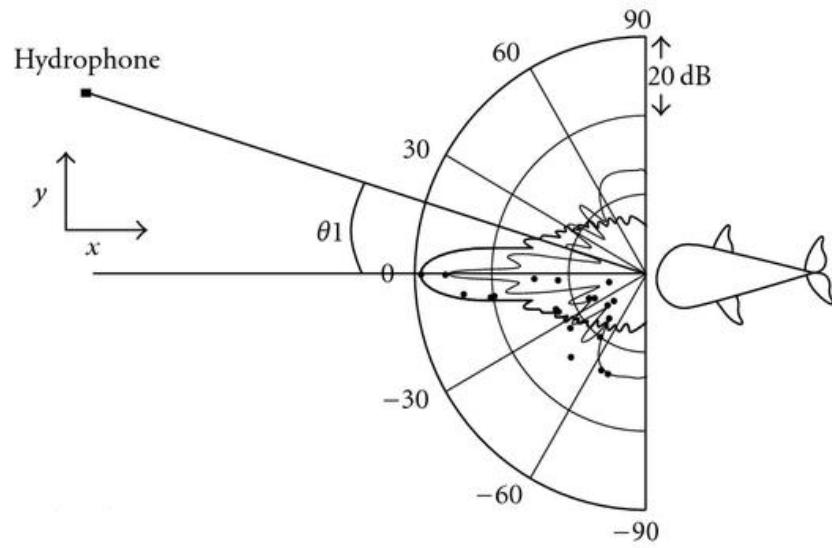
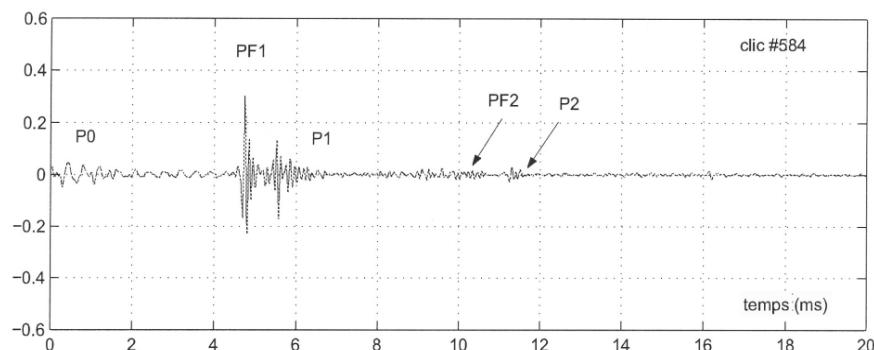
## Rorquals



## B2) Grand cachalot

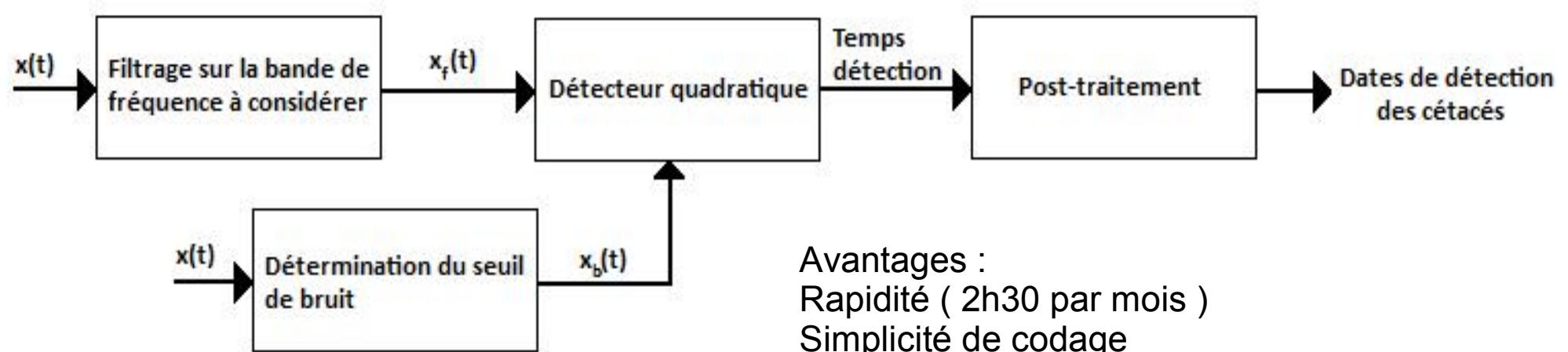


Le grand cachalot est le plus grand des odontocètes (cétacés à dents). C'est un carnivore de 10 à 17 mètres de long et peut peser jusqu'à 70 tonnes



# Détecteur quadratique de cachalot

Selon Parseval, l'énergie du signal temporel est égale à celle de la transformée de Fourier.



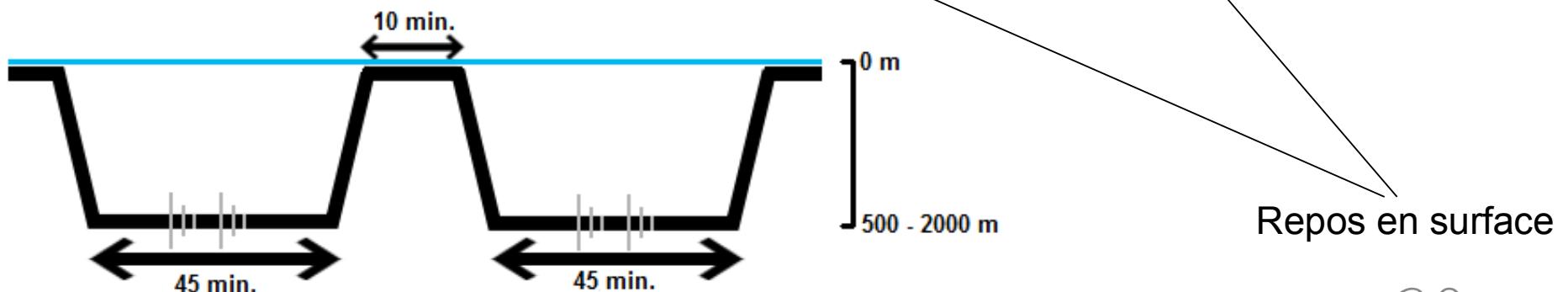
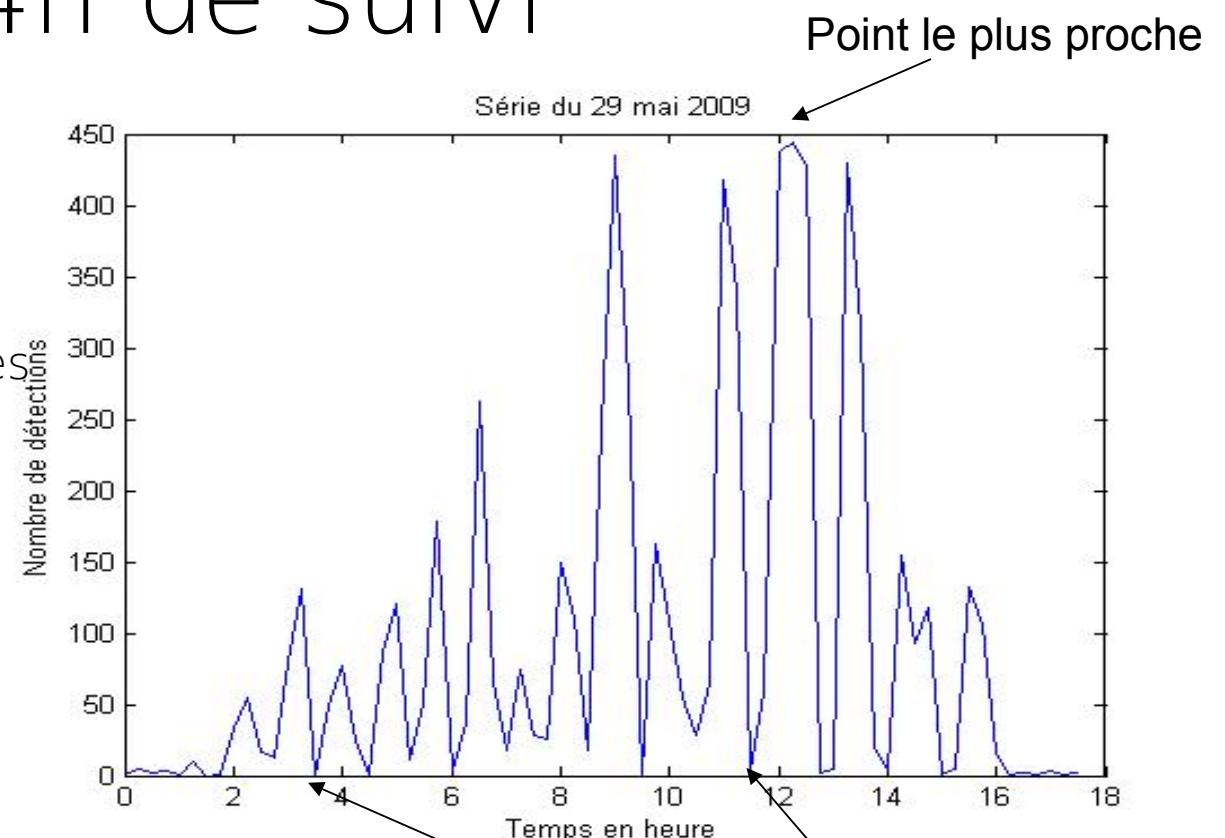
Avantages :  
Rapidité ( 2h30 par mois )  
Simplicité de codage

Inconvénient :  
Bruit anthropiques détectés (chaînes, bateaux, fortes intempéries...), filtrés par régression

Filtrage : passe-haut de 5000Hz  
Fenêtre temporelle : 40 ms

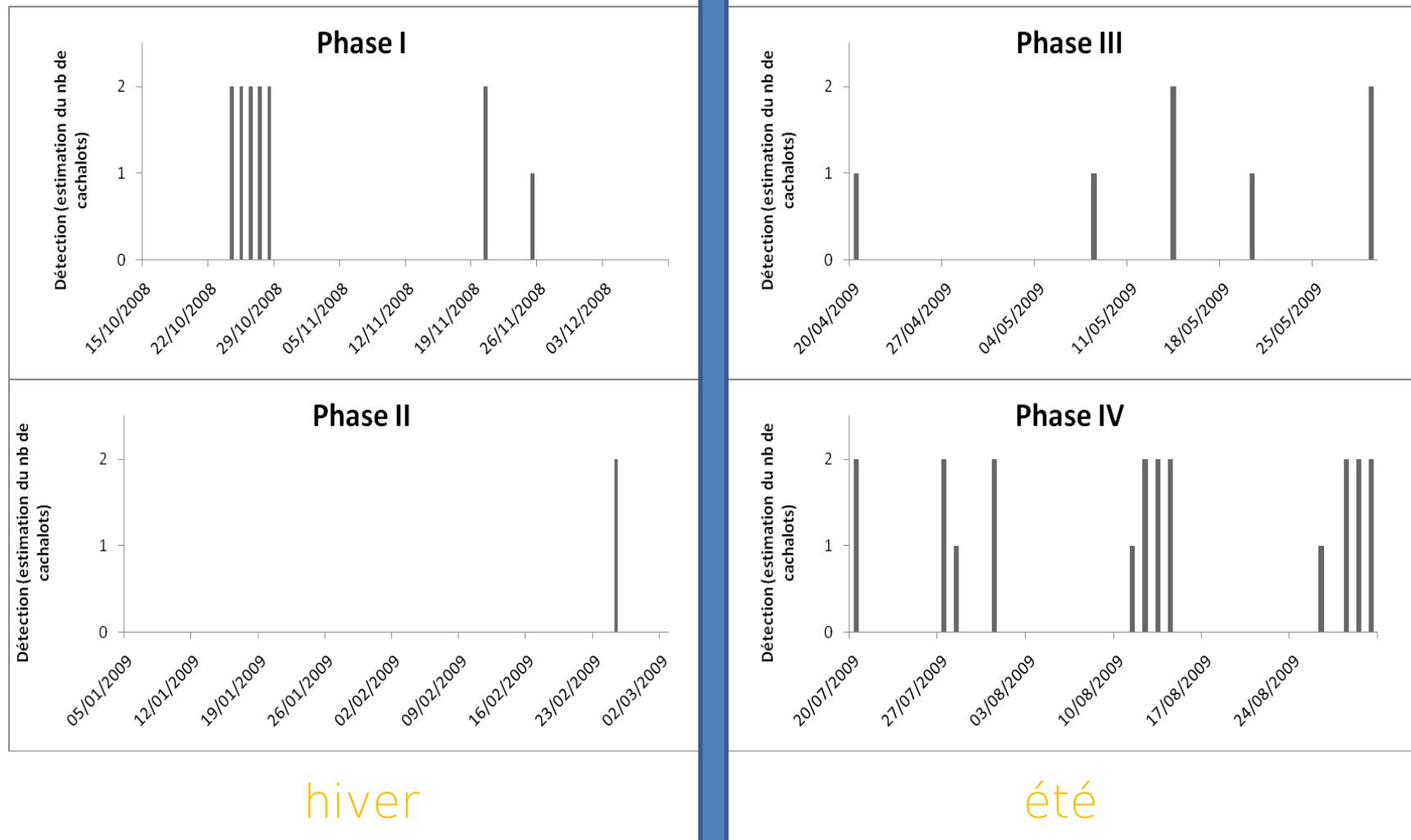
# Résultat de détection : 14h de suivi

Par le profil des détections,  
nous pouvons suivre le cycle des  
plongées du cachalot  
= 15 plongées en 14h

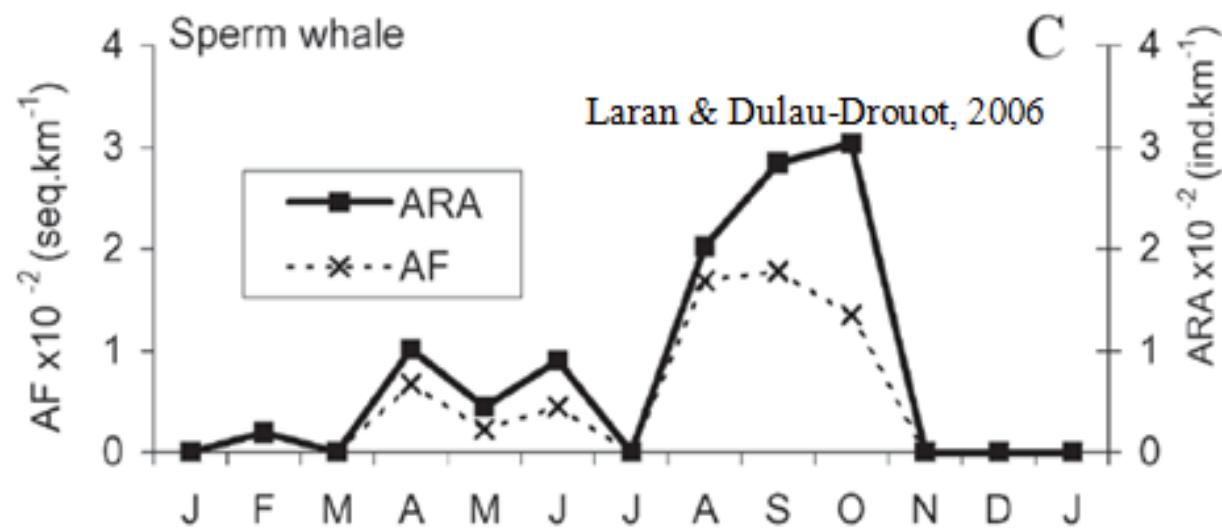
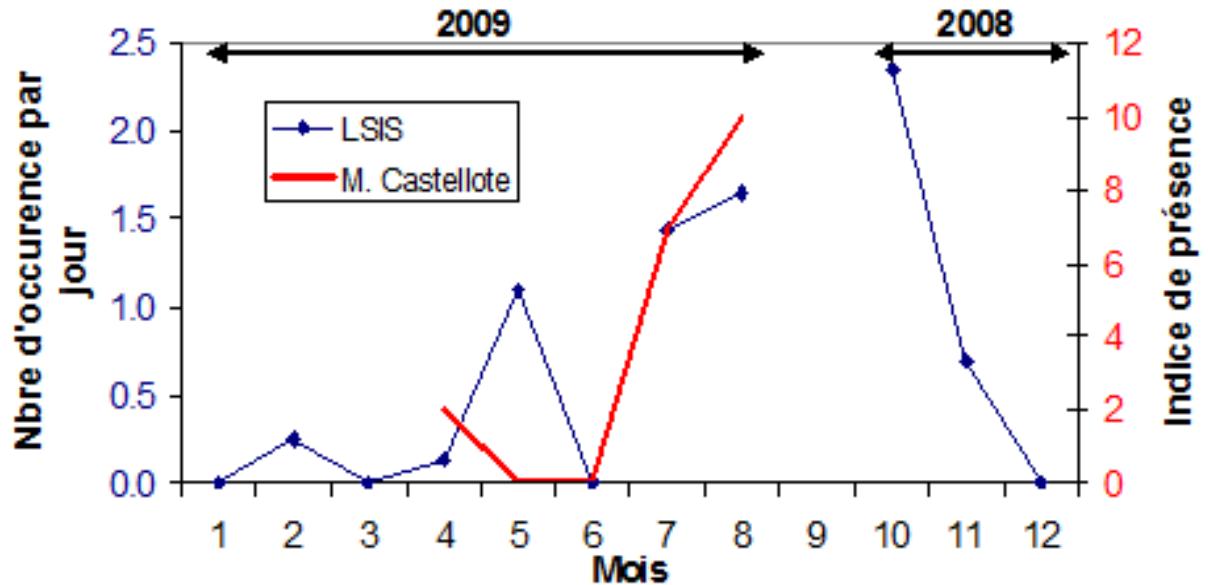


# Résultats des détections

Cachalots :



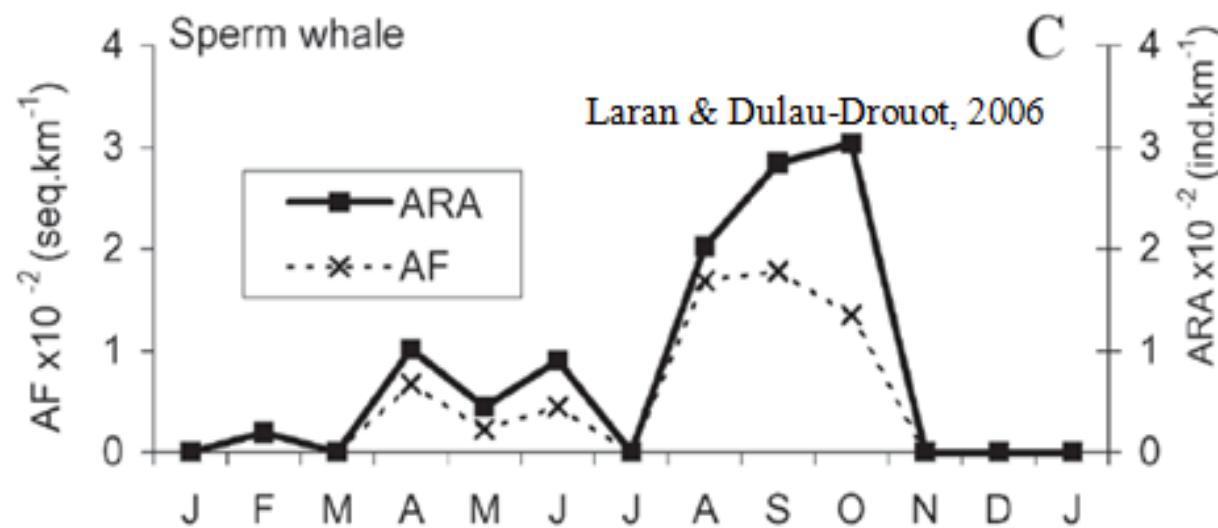
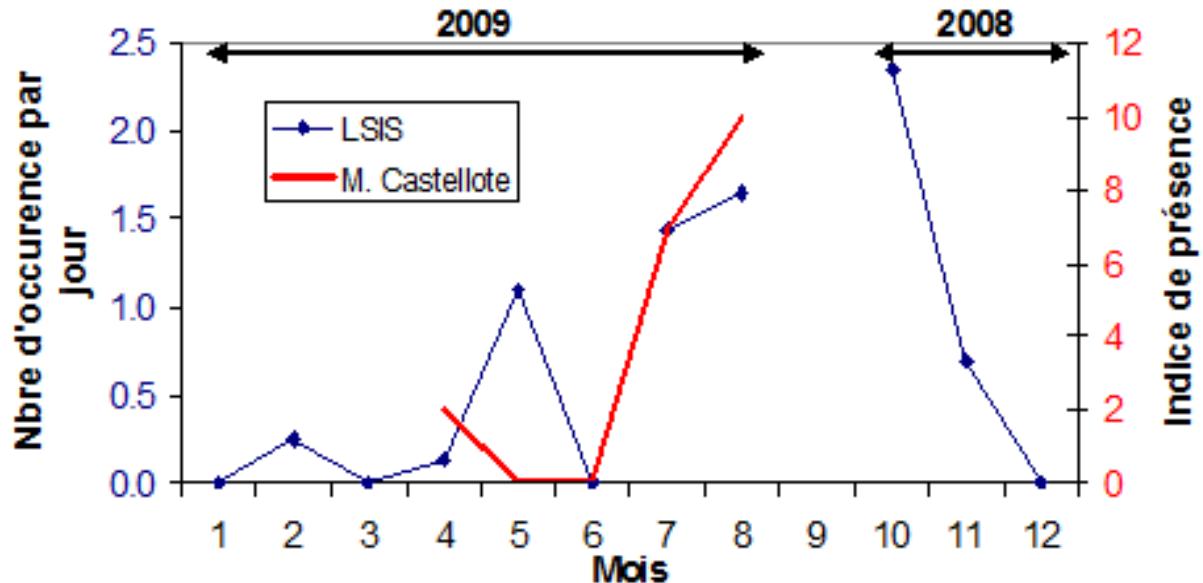
# Discussion sur densité population



Conclusion :

Bonne corrélation avec les études de référence en transect visuel (Laran et al.)

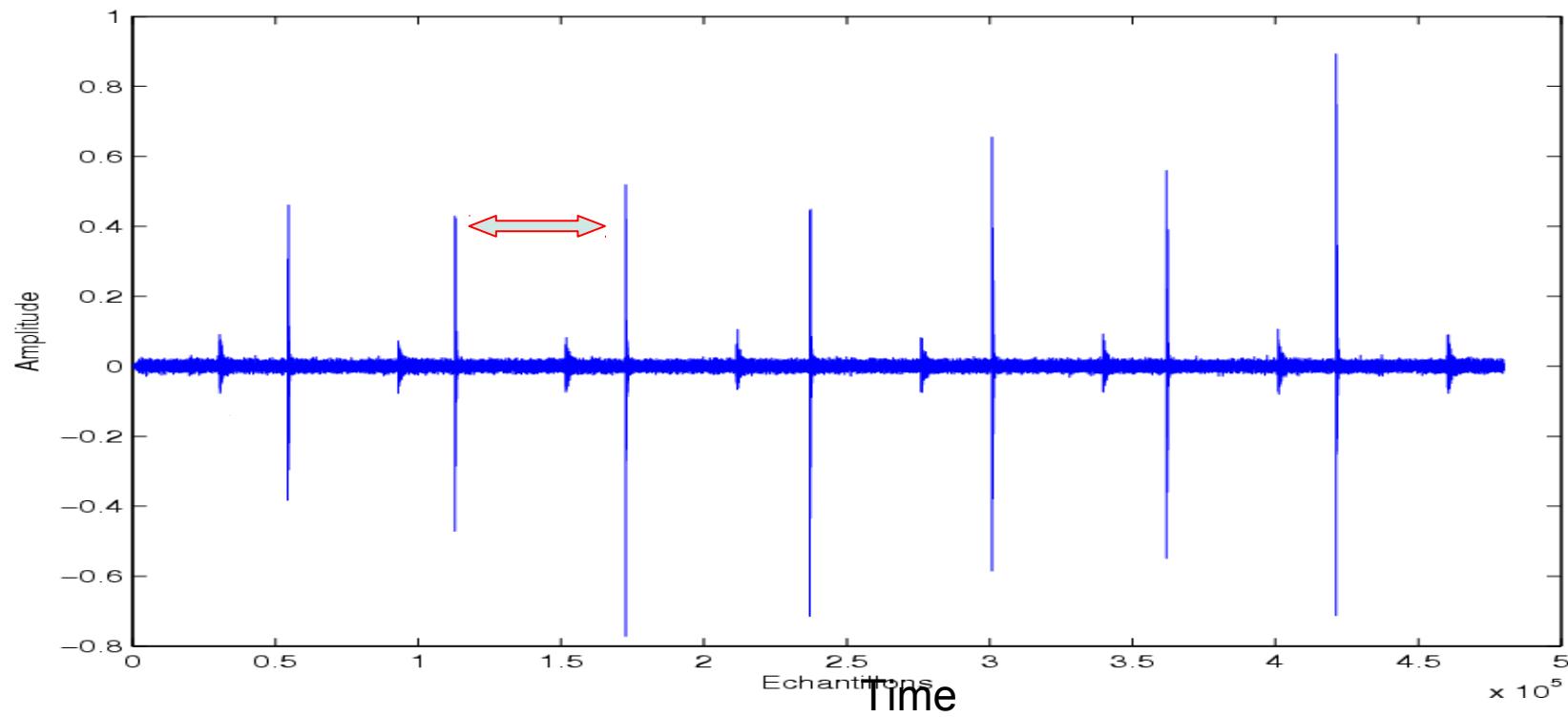
# Discussion sur densité population



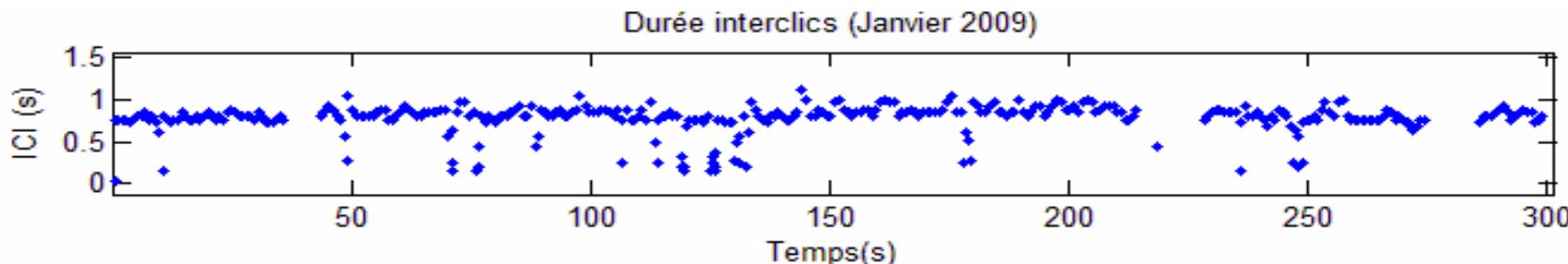
Conclusion :

Bonne corrélation avec les études de référence en transect visuel (Laran et al.)

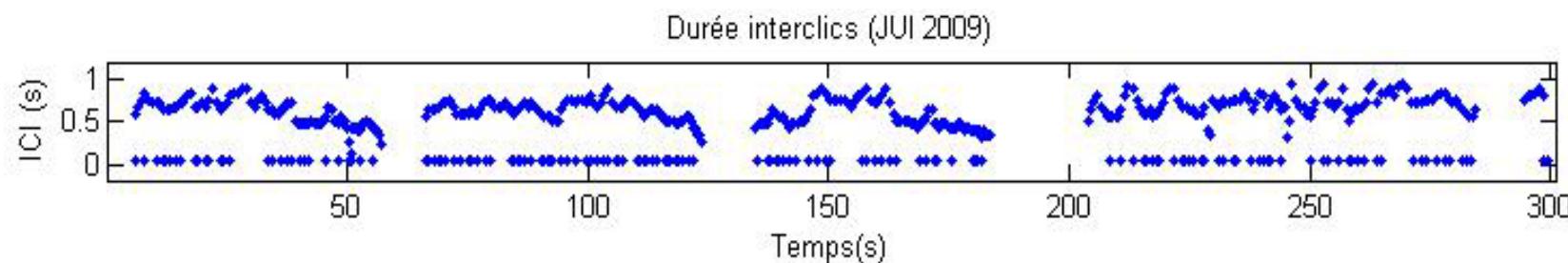
# Analyse de l'intervalle Inter-clic (ICI) du cachalot



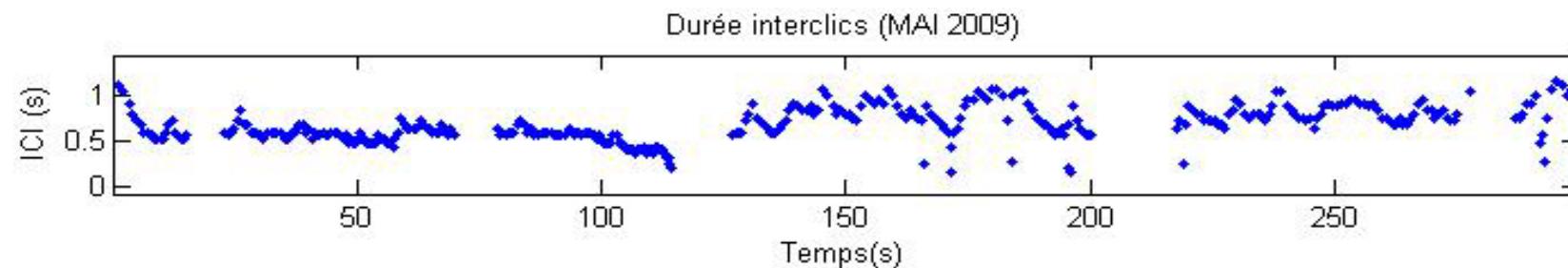
# Discussion sur comportement



Migration / absence de proies



Chasse



# Analyse du comportement de chasse

via intervalles Inter Cliques (ICI) du biosonar

( Bénard, Giraudeau, Glotin 2007 - AUTEC Bahamas )

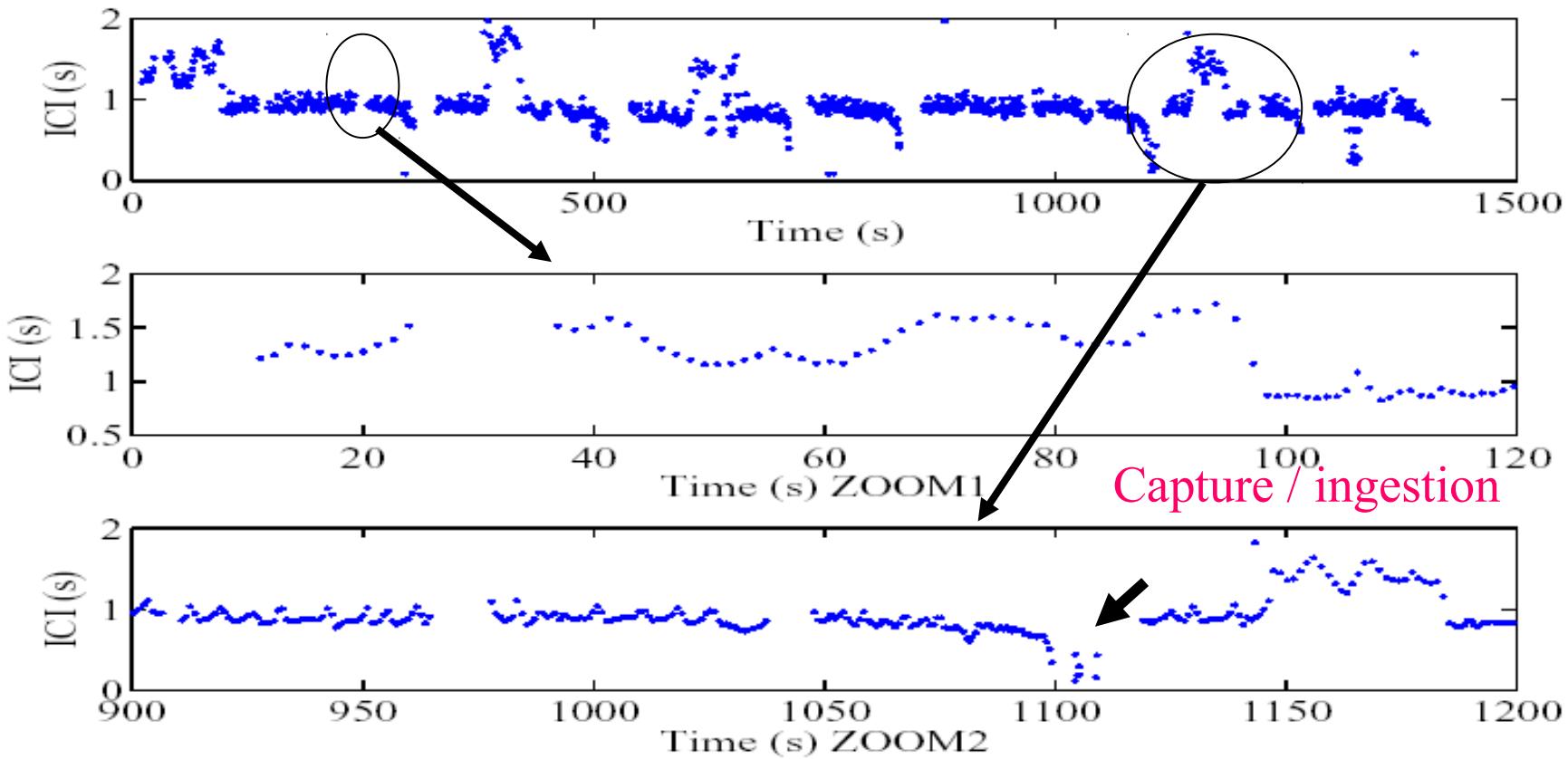
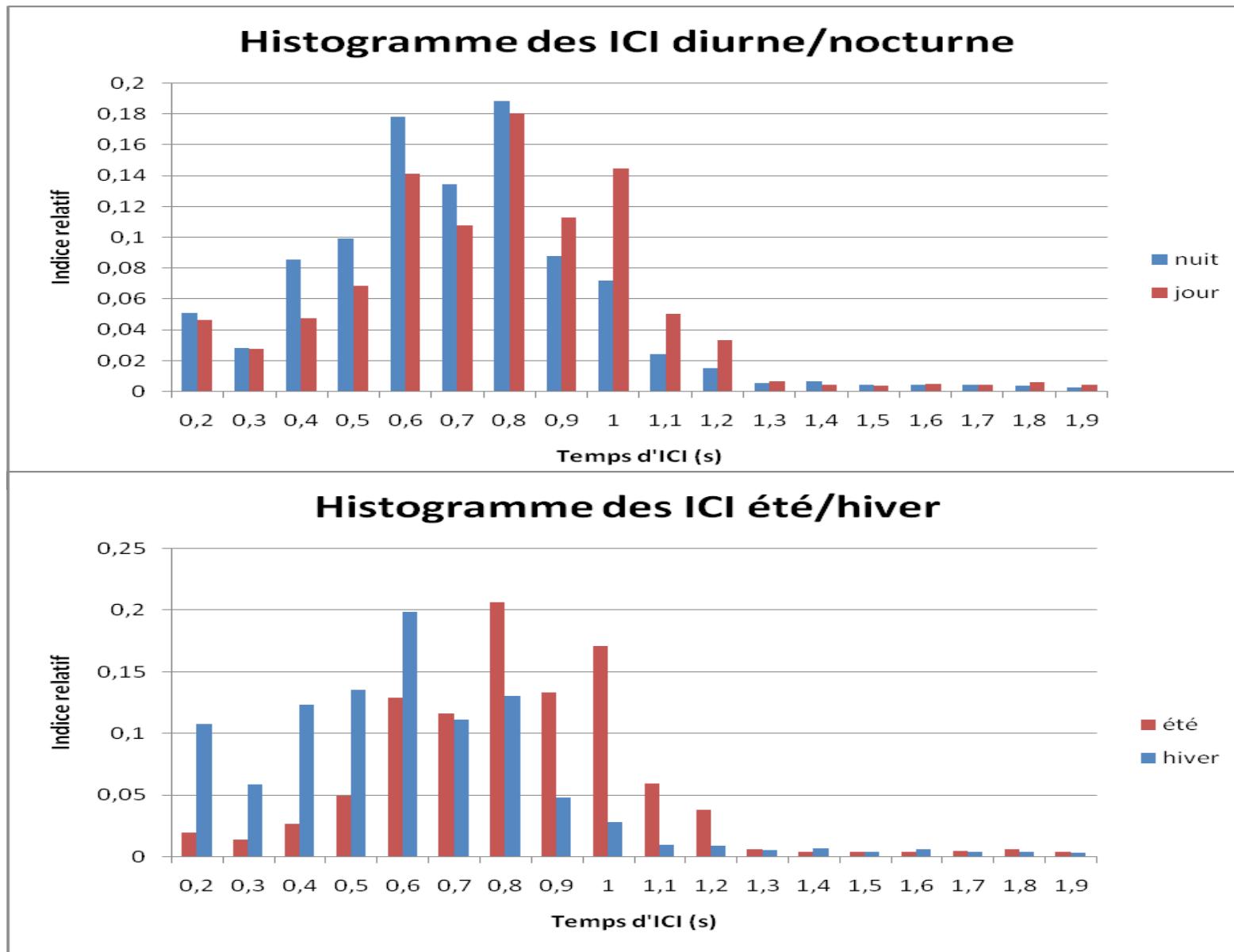


FIG. 3.11 – Intervalles inter-clics  $ICI(t)$  estimés sur le set 2. En haut sur 1400s, en bas deux zoom. On observe des modulations qui correspondent au comportement de prédation. Dans le zoom de 900 à 1200s, on observe un creak à 1100s, suivi de l'ingestion d'une proie (silence).

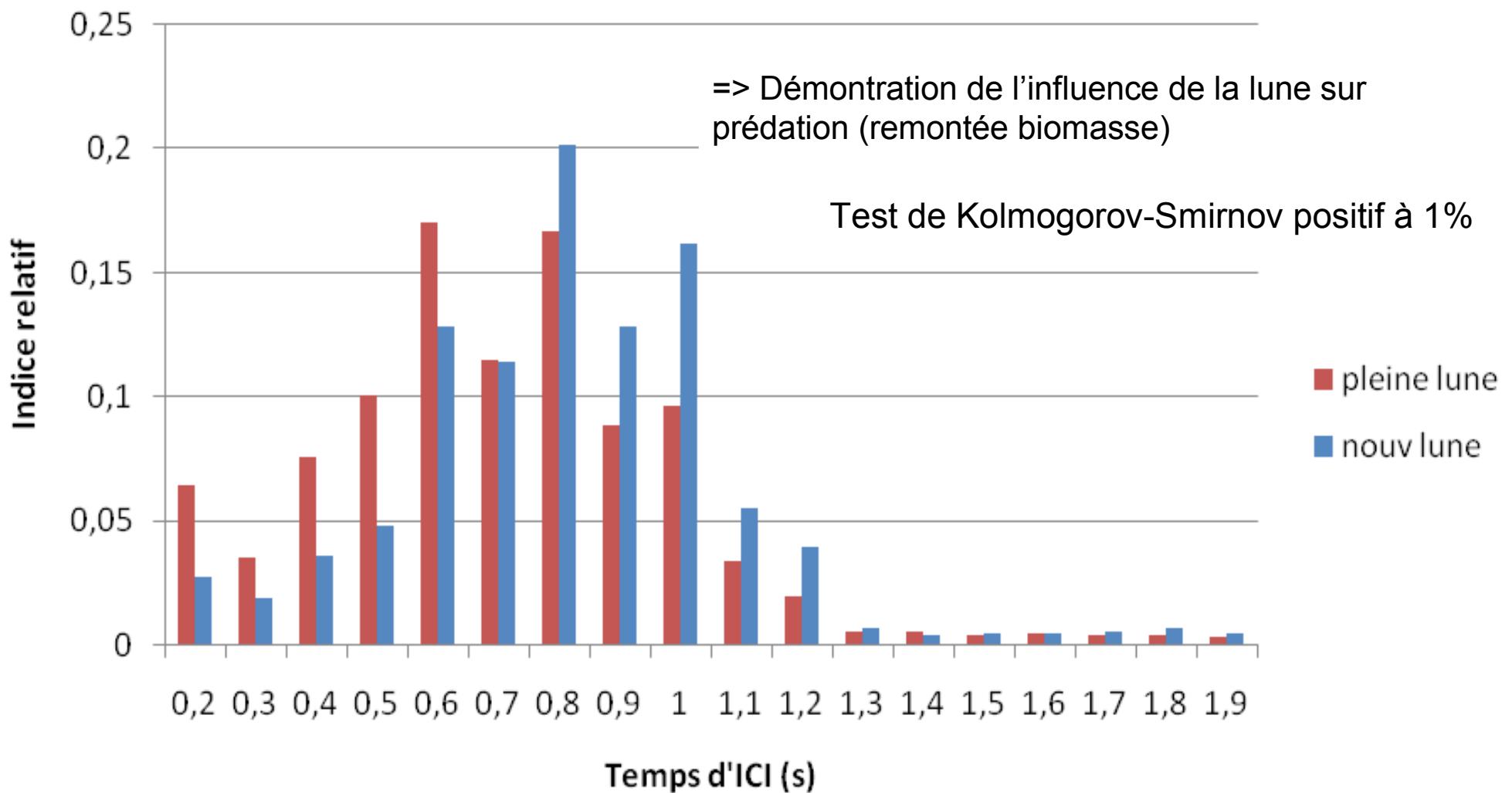
# Répartition des ICI par phases



# Résultat éthologique

(Monnin & Glotin 2010 – data Boussole, Monnin et al DCL2011)

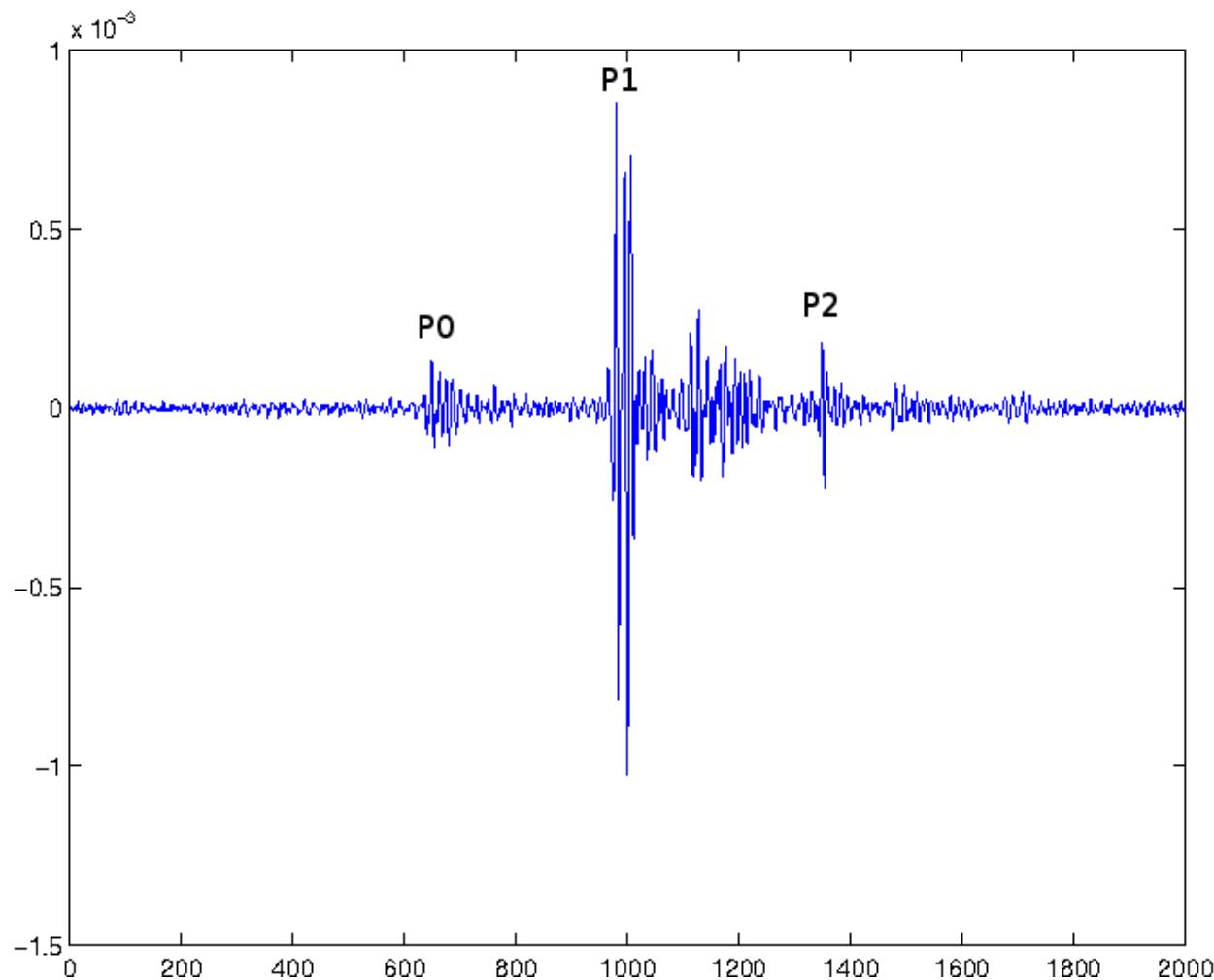
## Histogramme des ICI (Phase de lune)

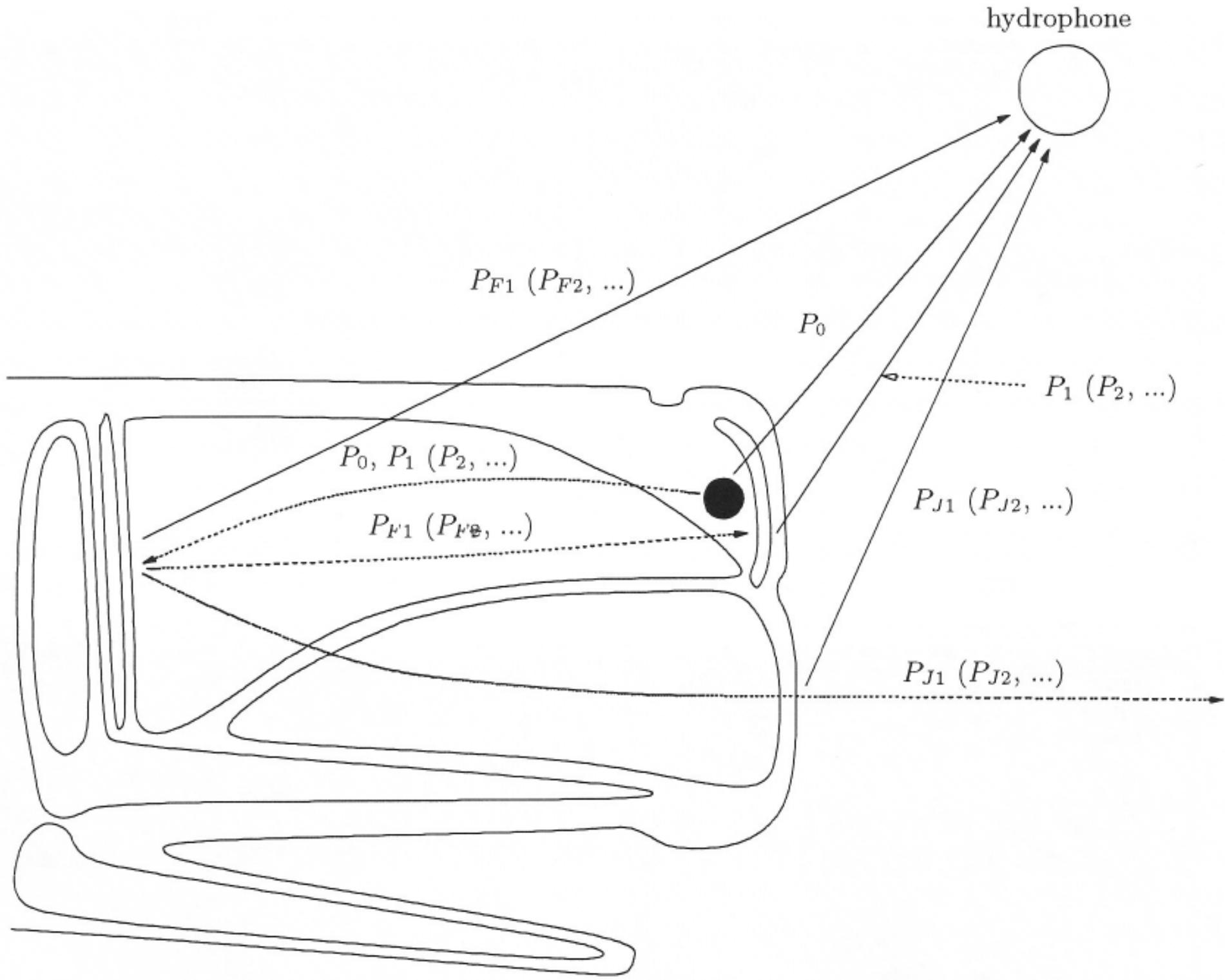


# Mesures INTRA CLIC

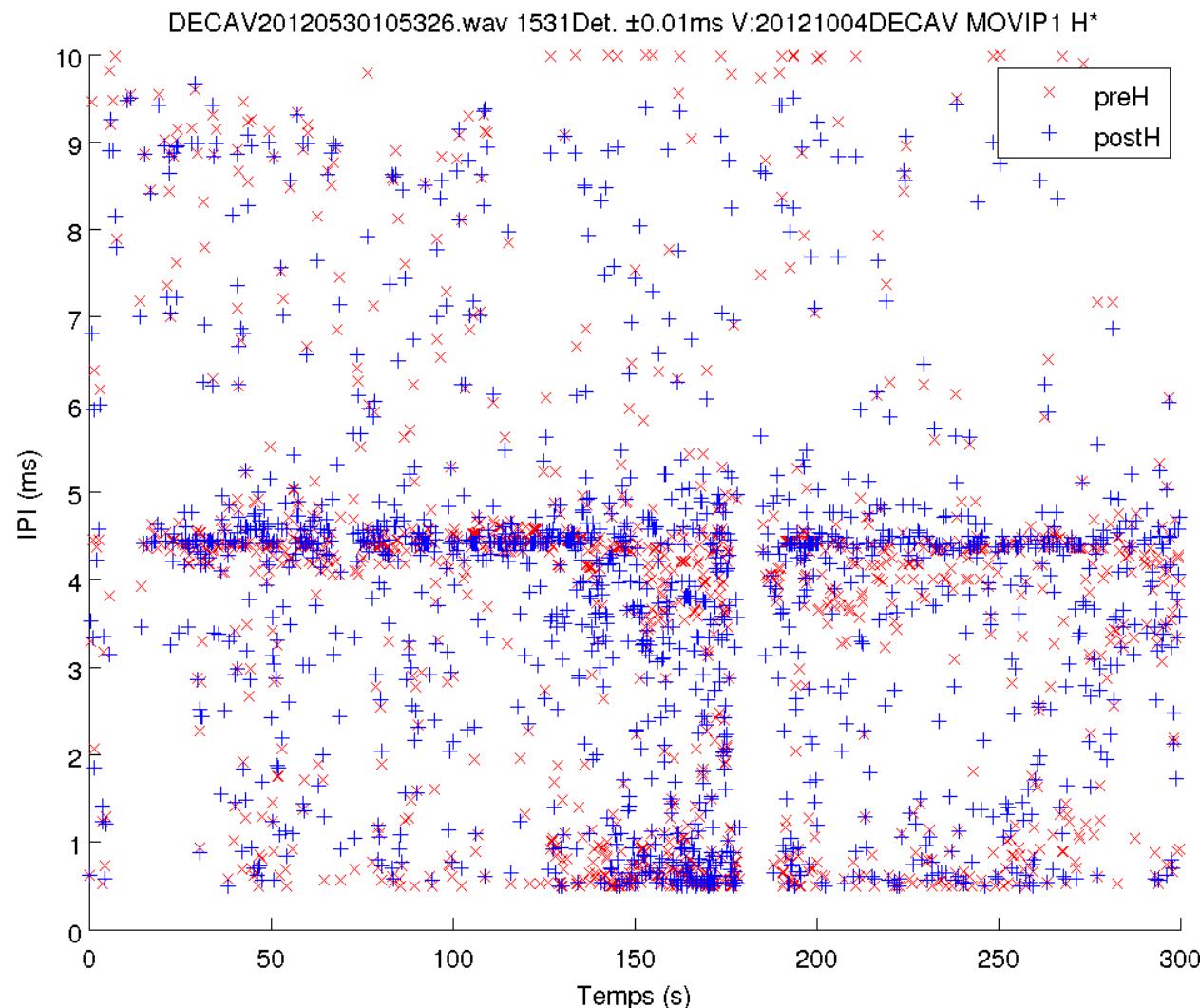
## Analyse de l'interval INTER-PULSE (IPI)

### *Thèse de Régis ABEILLE*

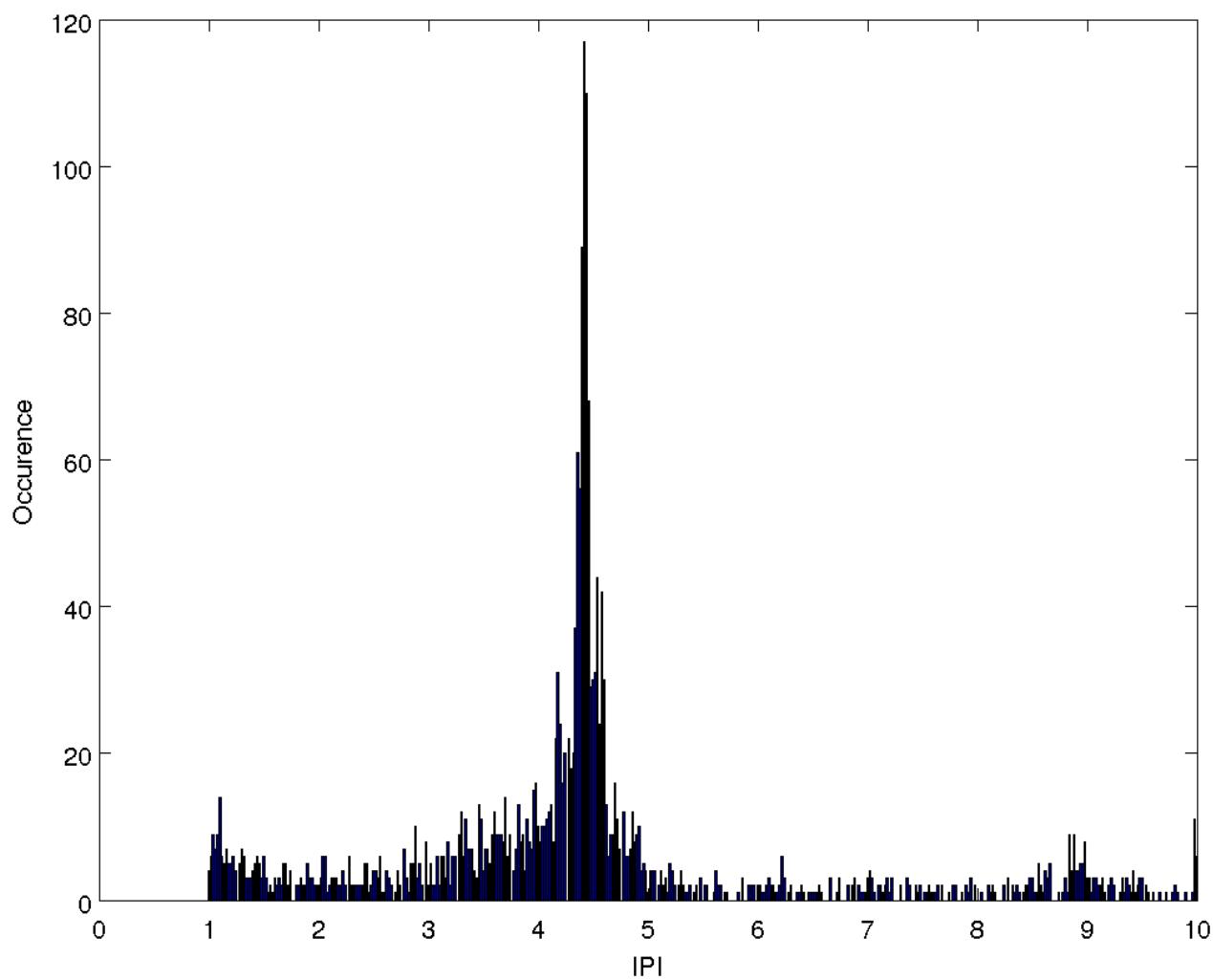


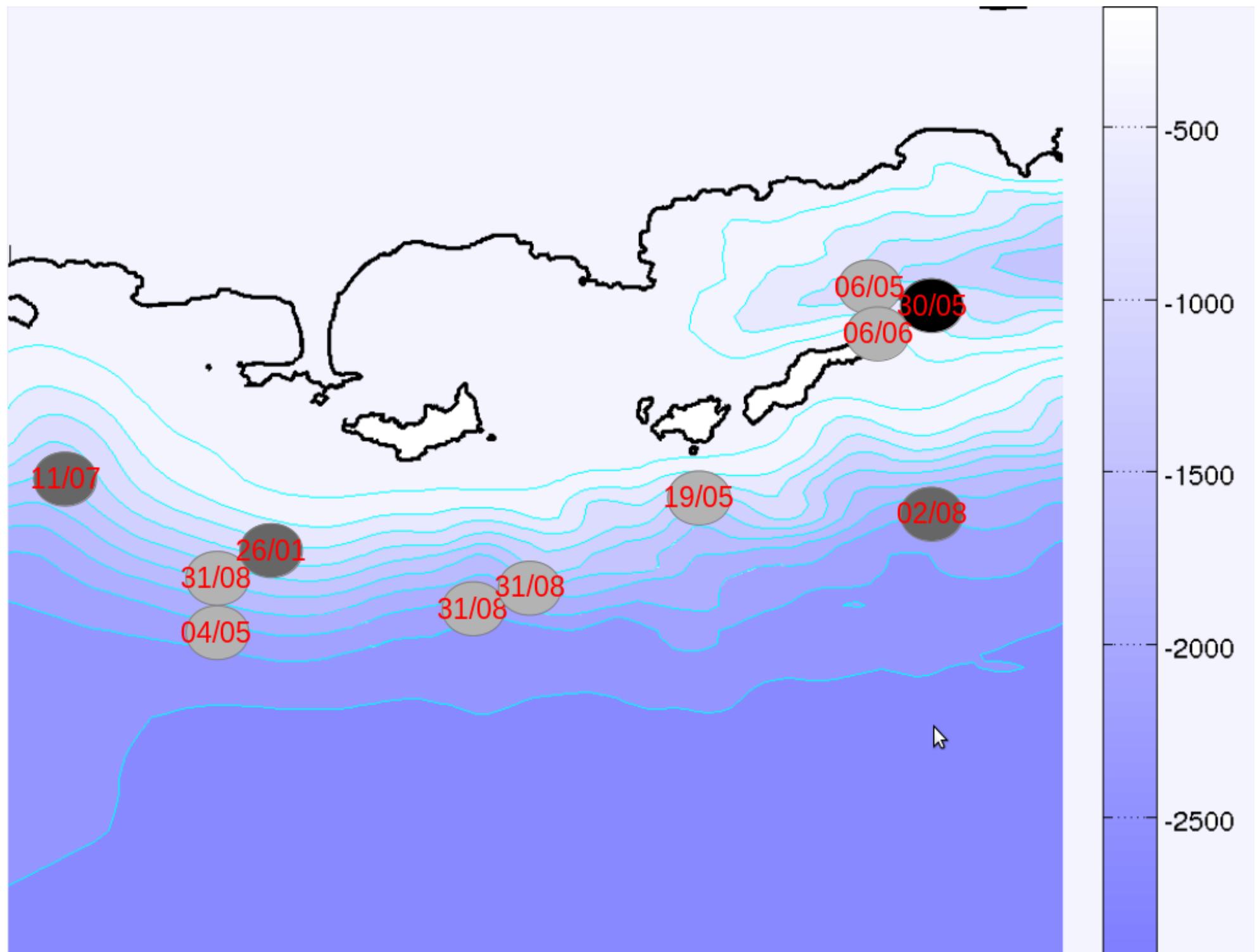


# Intervalle Inter Pulse (IPI)



DECAV20120530105326.wav 1531Det. ±0.01ms V:20121004DECAV MOVIP1 H\*

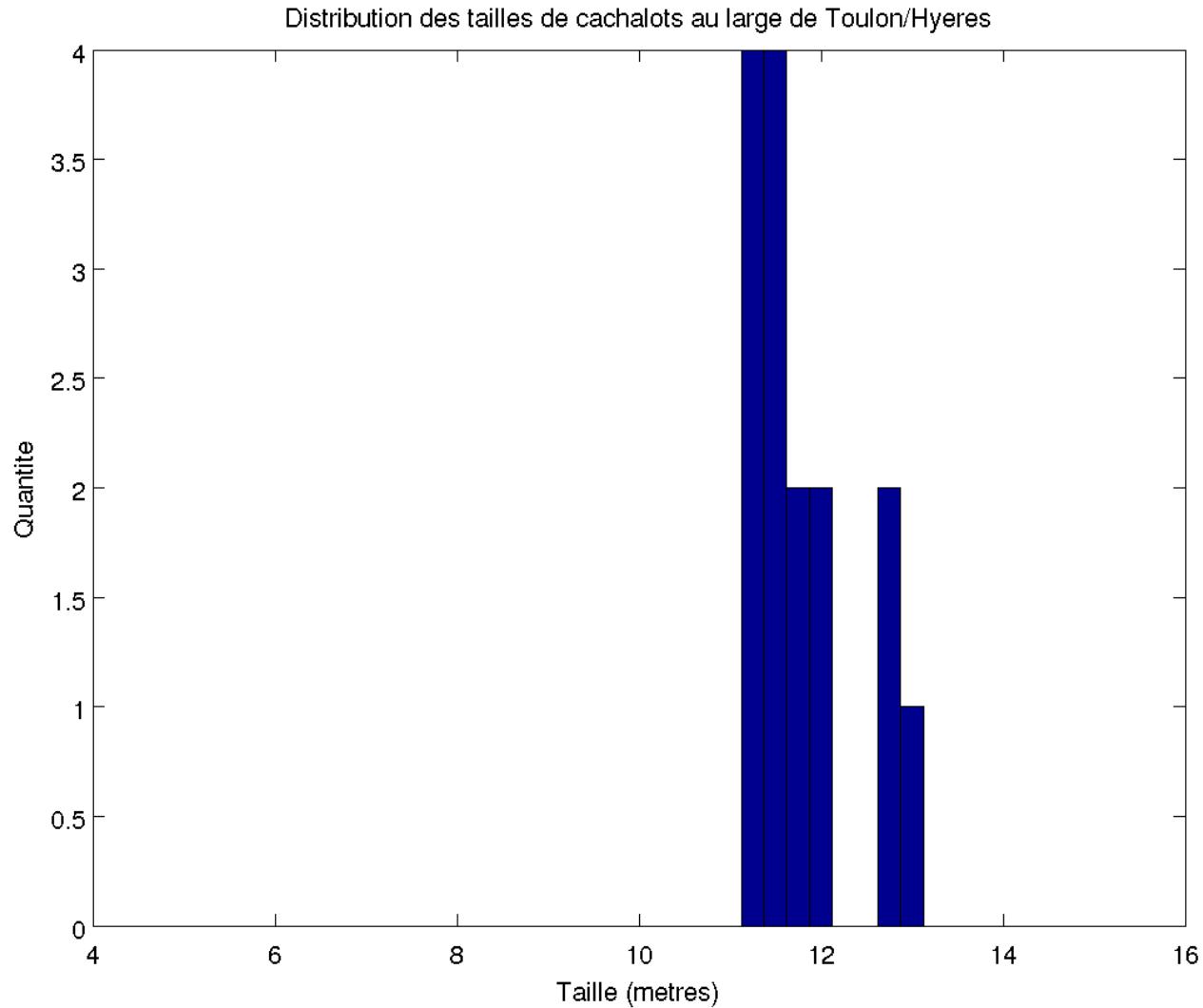




Date	Vus	Entendus	Taille (+/-25cm)	Horaire	Lieu
2011/05/06	0	2	11,88m	11h57	Tête du canyon des stoechades
2011/05/19	0	1	12,86m	10h49	4 km au Sud de Port-Cros
2011/06/07	0	0	-	-	-
2011/07/12	0	0	-	-	-
2011/07/28	0	0	-	-	-
2011/08/02	1	1	11,45m	9h45	8 km au Sud-Est du Levant
2011/08/31	0	1	-	-	7,5 km au Sud de Porquerolles
2011/09/16	0	0	-	-	-
2012/01/26	0	2	11,21m et 11,46m	10h47	9 km au Sud de Porquerolles
2012/03/16	0	0	-	-	-
2012/03/26	0	0	-	-	-
2012/05/04	0	1	-	-	15 km au Sud-Ouest de Porquerolles
2012/05/30	1	2	11,28m et 11,33m	10h53 et 11h27	Canyon des stoechades
2012/06/06	0	1	-	-	3 km à l'Est du Levant
2012/06/07	0	0	-	-	-
2012/06/15	0	0	-	-	-
2012/06/28	0	0	-	-	-
2012/07/10	1	2	11,85m	9h52	Large Cap sicié
2012/07/23	0	0	-	-	-
2012/08/02	0	2	11,90m et 11,74m	10h16	8km au Sud-Est du Levant
2012/08/23	0	1	-	-	-
2012/09/09	0	0	-	-	-
2012/09/16	0	0	-	-	-
2012/09/17	1	3	11.52m et 11.60m	14h04 et 14h09	Sud Cassis - Cap d'aigle
2012/09/23	0	1	12.93m	13h58	Sud Cassis - Cap d'aigle
2012/10/06	1	2	11.32 et 12.80m	17h23 et 17h56	Large Cap sicié

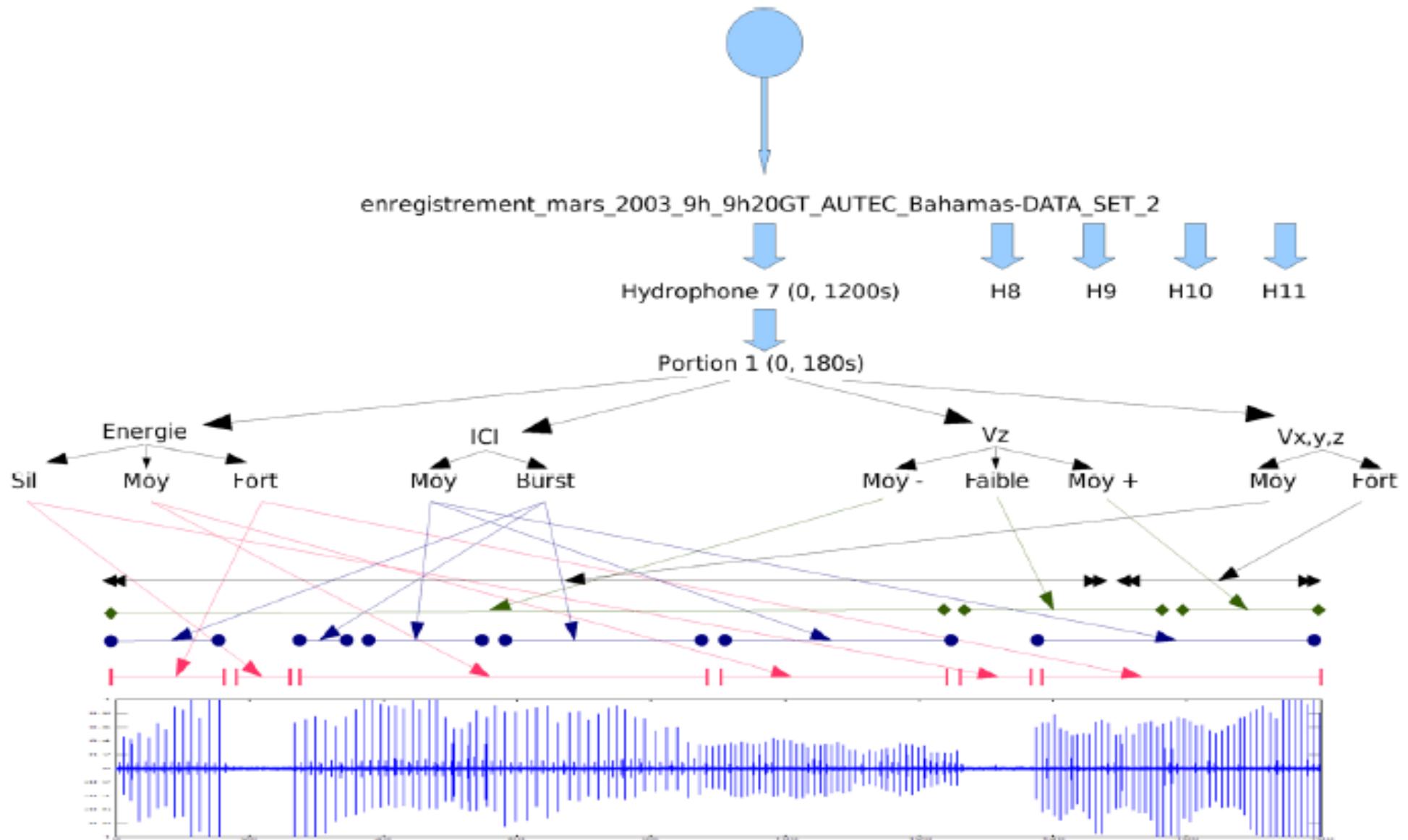
FIGURE 1.8 – Ce tableau résume les résultats obtenus pour chaque sorties en mer. Pour plus d'information se reporter à la page web DECAV donnée précédemment.

# Distribution des tailles des cachalots détectés



## BILAN

“Online Automatic Database Structuration” entraînement militaire, cétologie...



## C) Suivi 3D d'une pluralité de cétacés (quadri-phonique)

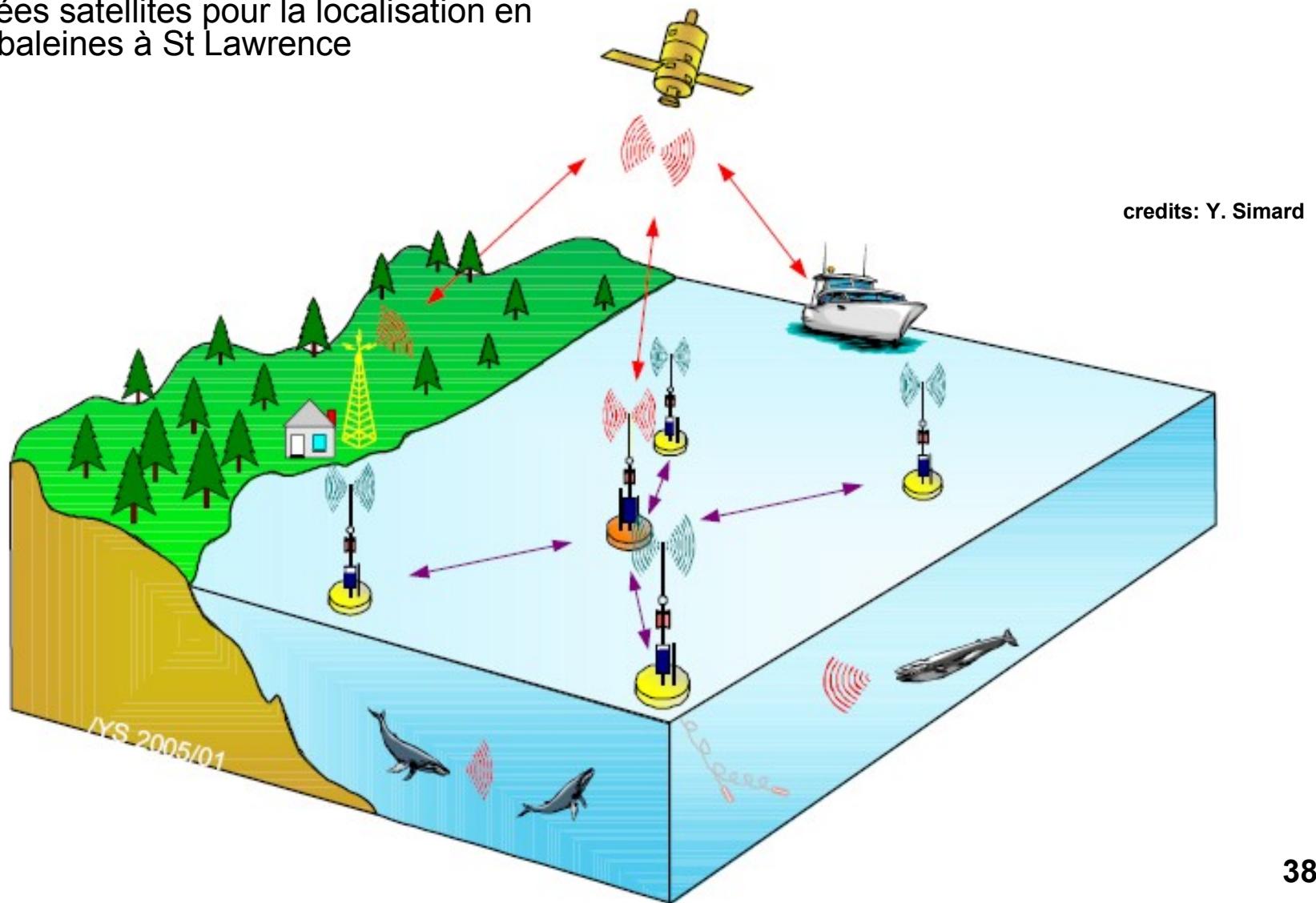
- ⇒ Reconstruction de scène 3D
- ⇒ Analyse du comportement de nage

# Réseau et observations acoustiques permanentes

## Installation civile

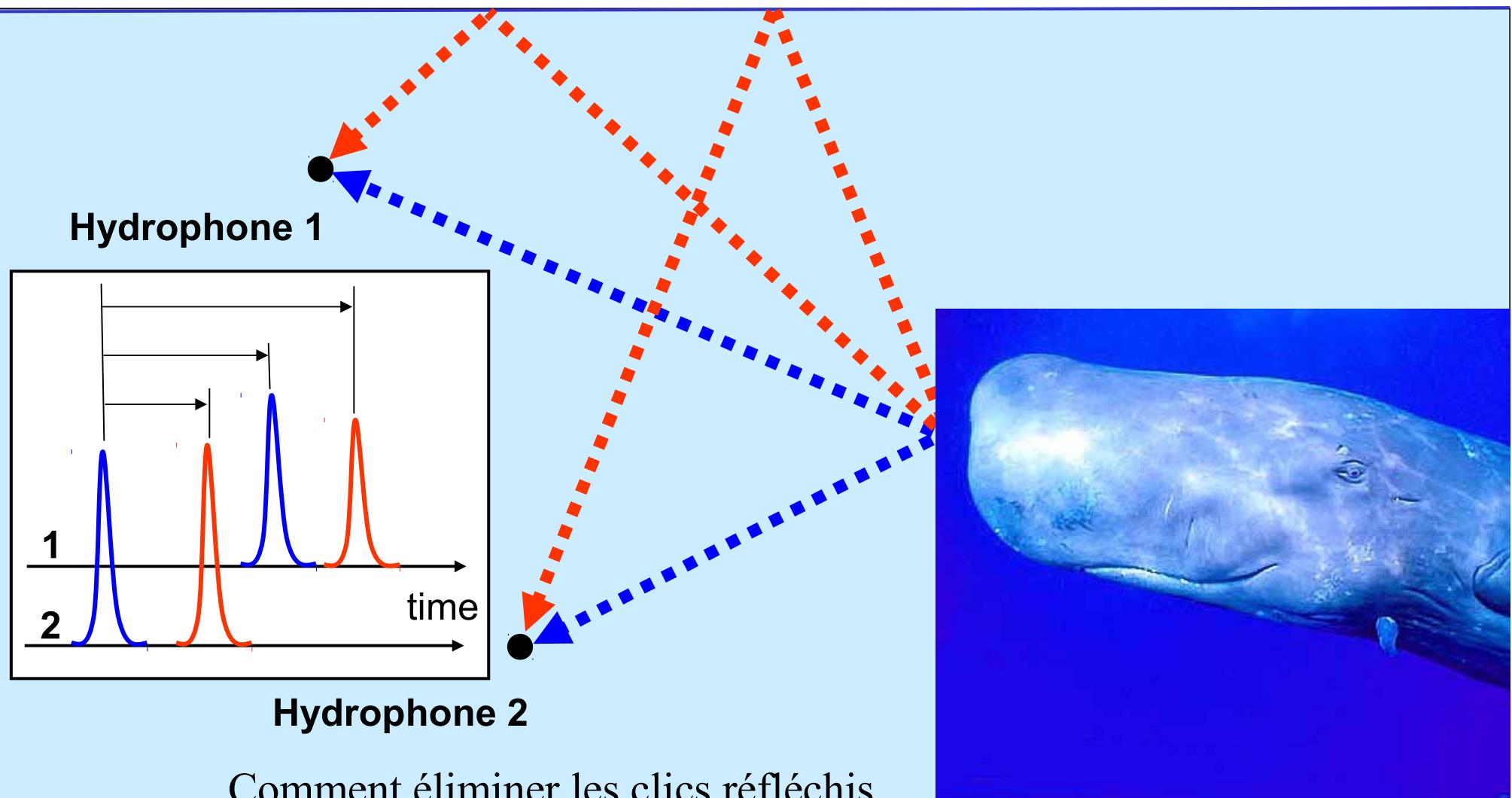
Par exemple:

Réseau de bouées satellites pour la localisation en temps réel des baleines à St Lawrence



# Estimation des délais d'arrivée (TDOA Time Delay of Arrival)

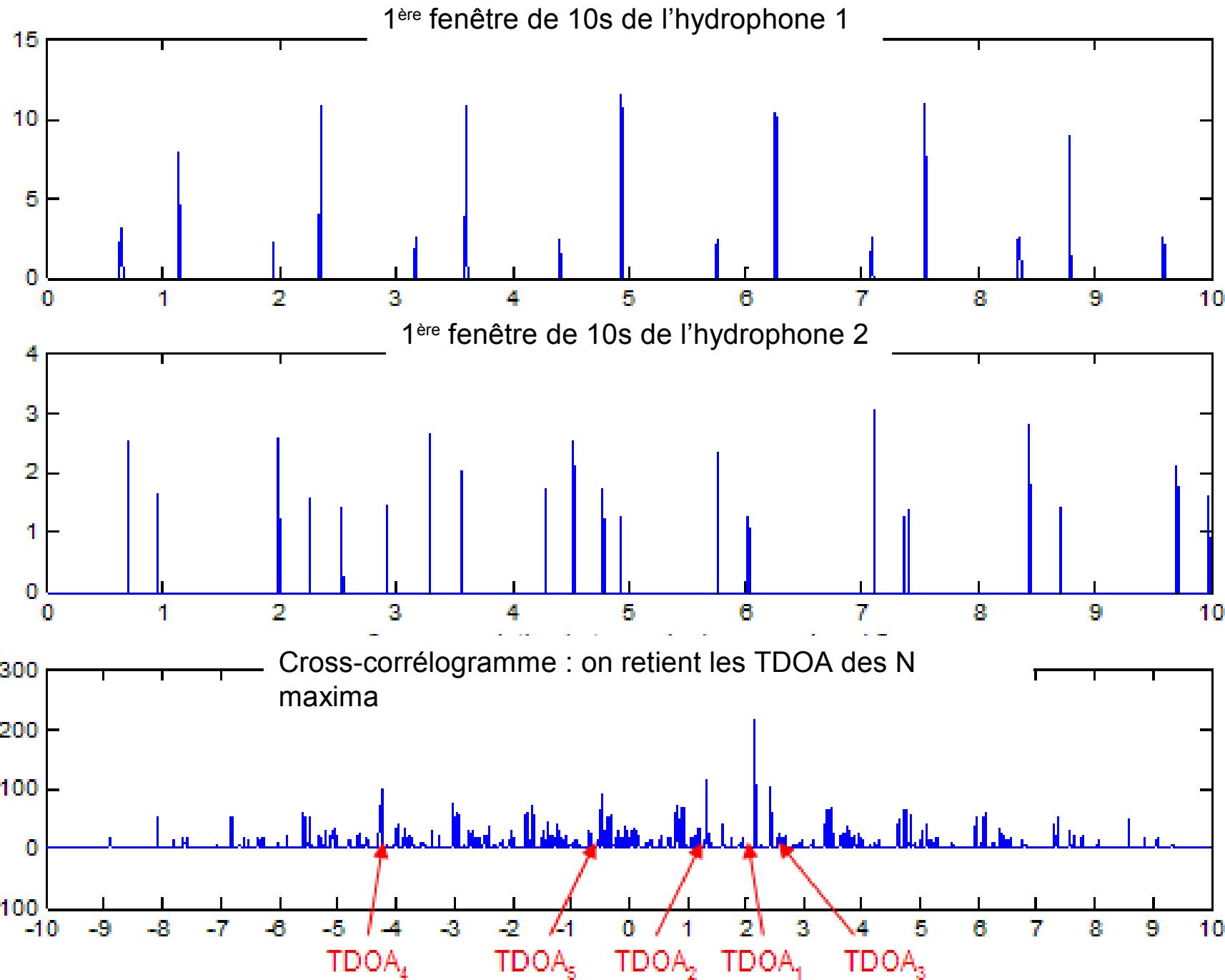
Combinatoire multi-réflexions (surface...) => clics directs + et indirects



Comment éliminer les clics réfléchis

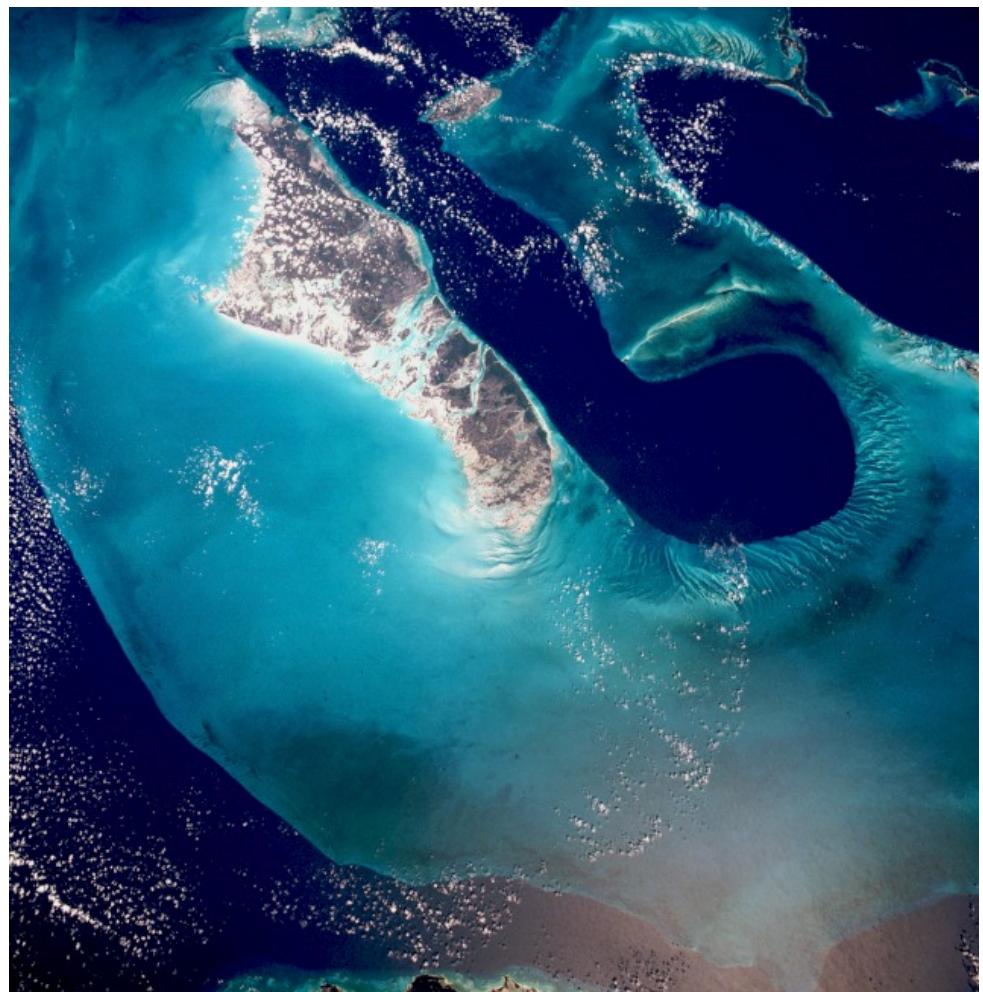
- Différence d'intensité
- Différence de forme...

# Filtrage des TDOA : brevet Glotin Giraudet Bénard 2007 (PCT 2009)



# C1) Application sur bases de l'AUTEC NATO

Données de Atlantic Undersea Test & Evaluation Center (AUTEC)  
enregistrées à Tongue Of The Ocean (TOTO)



*Satellite Image from NASA*

[slides de AUTEC ]

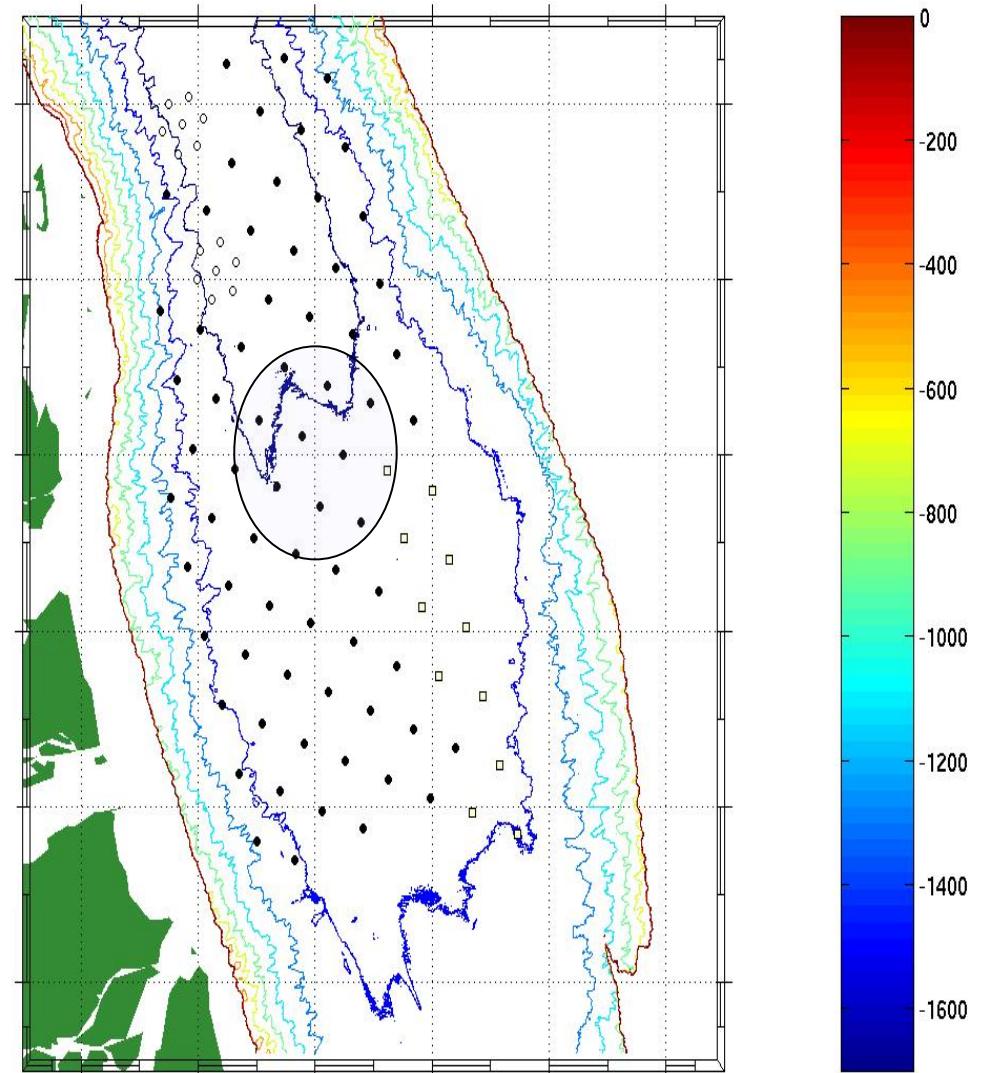
Glotin LSIS

## Hydrophones position

Hydro phone	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	10 658	-14 953	-1 530
2	12 788	-11 897	-1 556
3	14 318	-16 189	-1 553
4	8 672	-18 064	-1 361
5	12 007	-19 238	-1 522

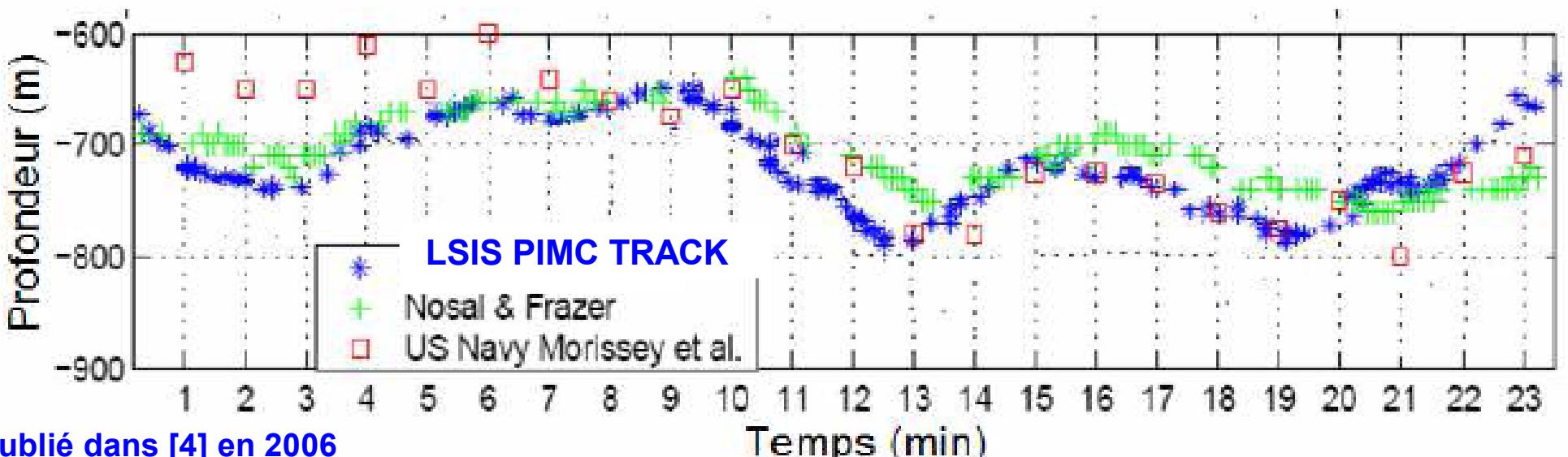
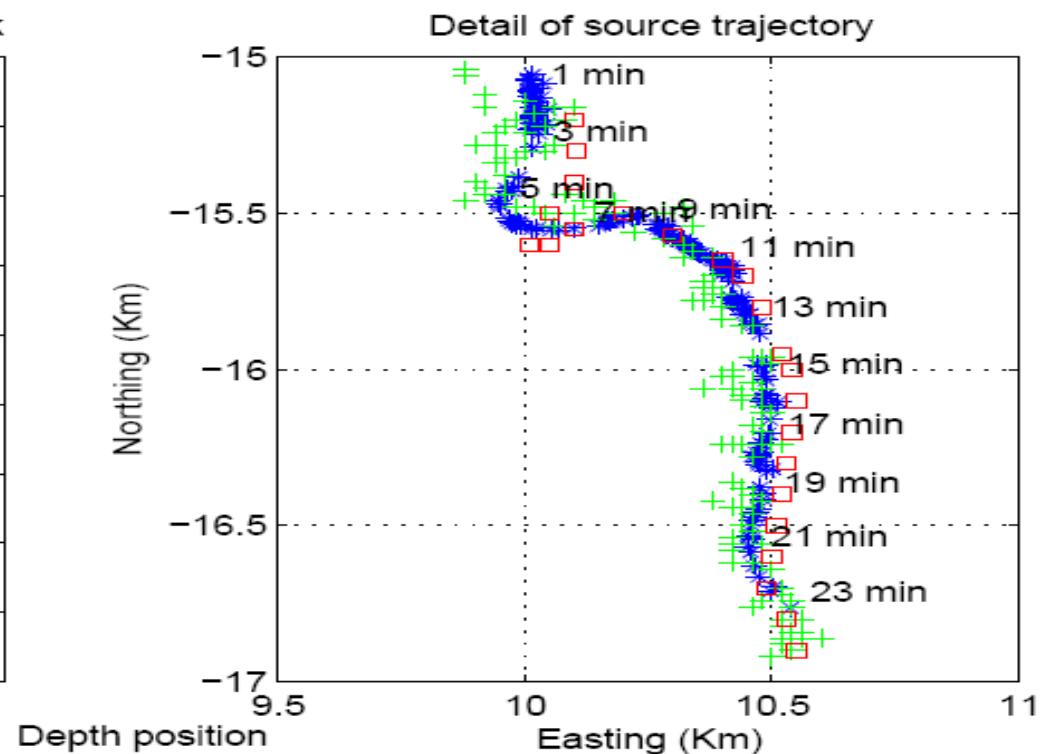
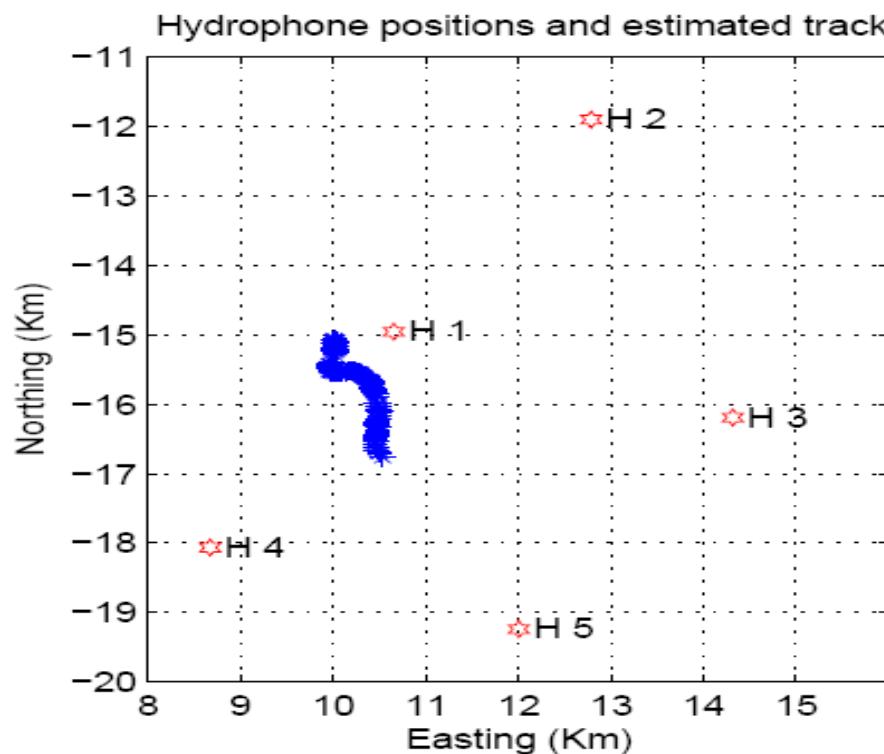
- 25 fichiers audio
- Total de 25 min
- Enregistré sur 5 hydrophones
- FS = 48 KHz (échantillonnage)
- Data set 2 du workshop DCL 2005

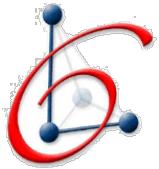
## Bathymetry of AUTEC Range



[carte de l'AUTEC ]

# RESULTATS PIMC (officiels MONACO2005, dataset à 1 baleine)





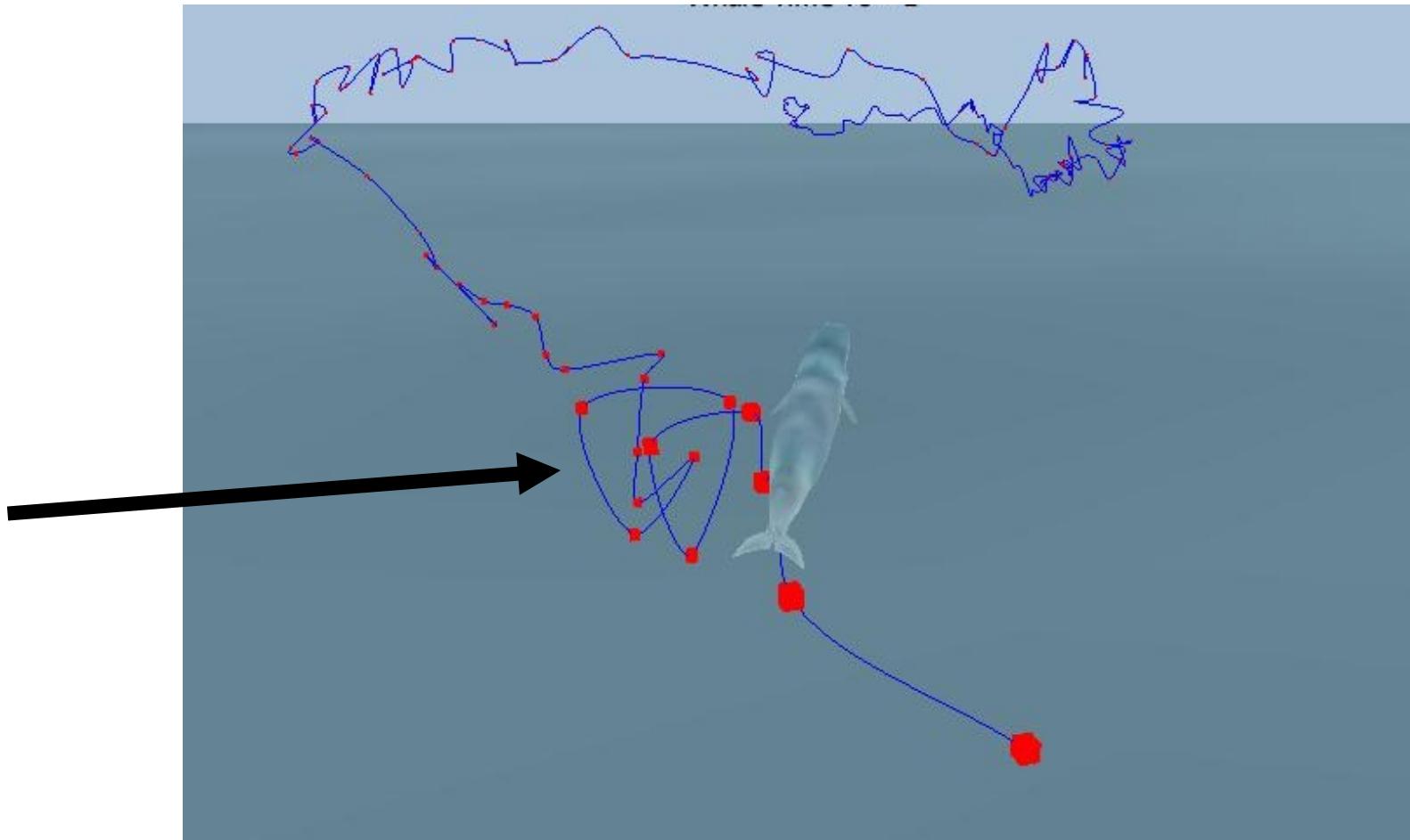
# Démonstrations en ligne

DEMO du système PIMC-multi-TRACK

(Trajectoires 3D en temps-réel)

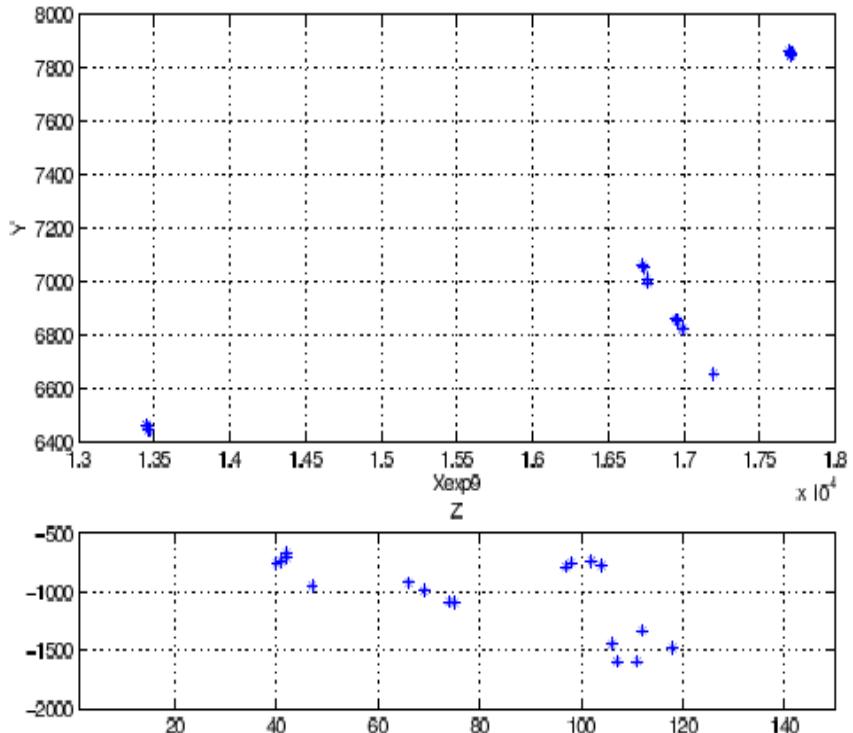
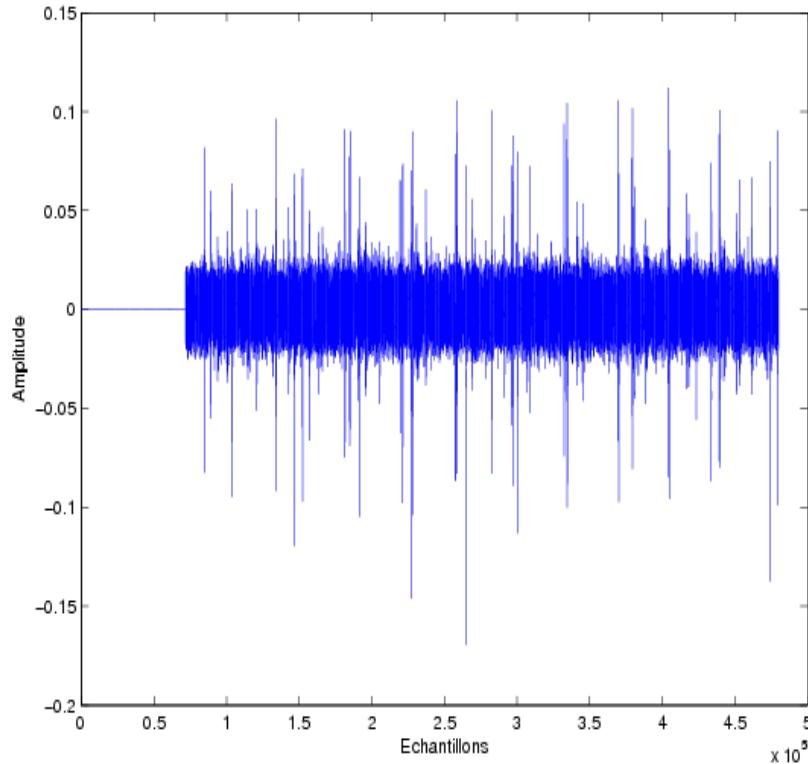
sur data AUTEC / Bahamas disponibles sur :

<http://glotin.univ-tln.fr/oncet>



# Sources multiples simultanées : Challenge Monaco 2005

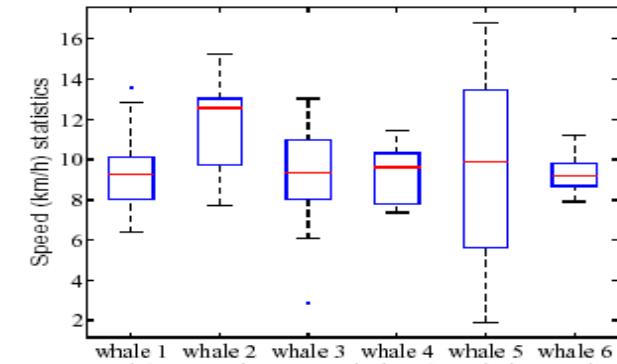
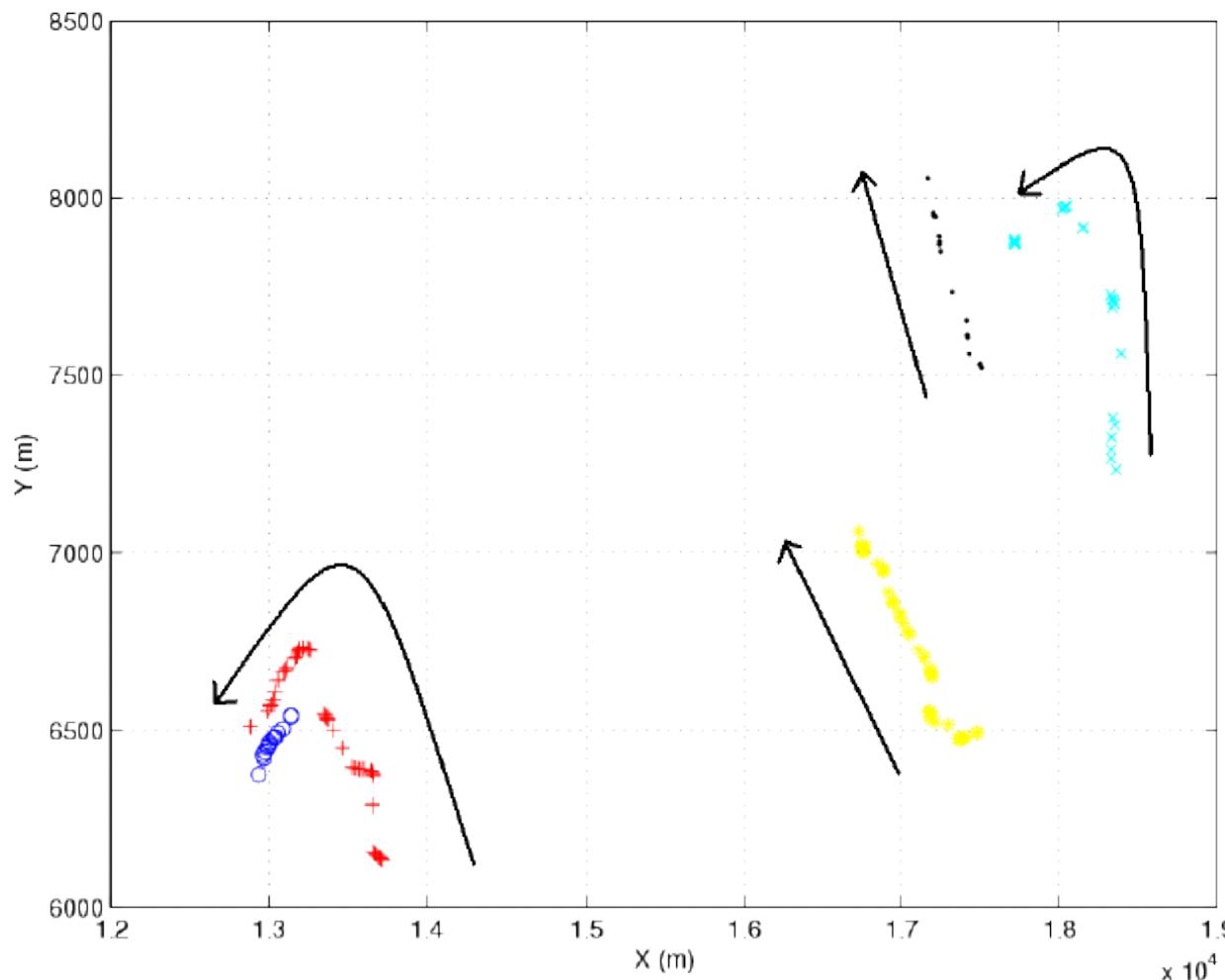
Etape 2005 : faibles résultats de localisation pour plusieurs cachalots



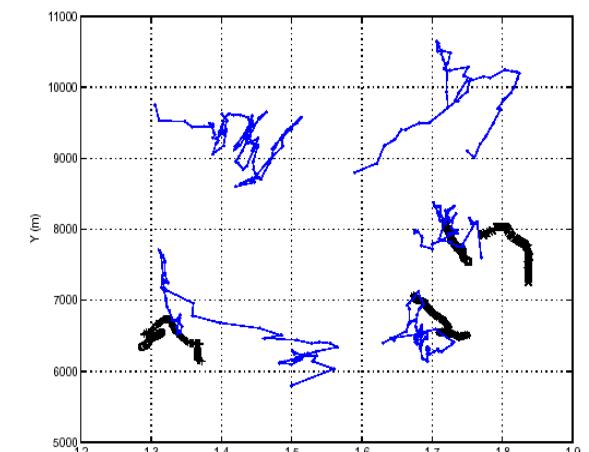
- Problème 1 : émissions multiples + bruit → clics plus difficilement identifiables
- Problème 2 : sources multiples (entre 3 et 6 baleines selon Dan Ellis, 11 pour l'US NAVY)
  - nb de TDOA à garder ?
  - séparation de sources avant localisation ?

# Résultats sur data set à plusieurs cachalots

## Etape 2006 : PIMC-DYNI comparés au SOEST Hawaï (abandon US Navy)



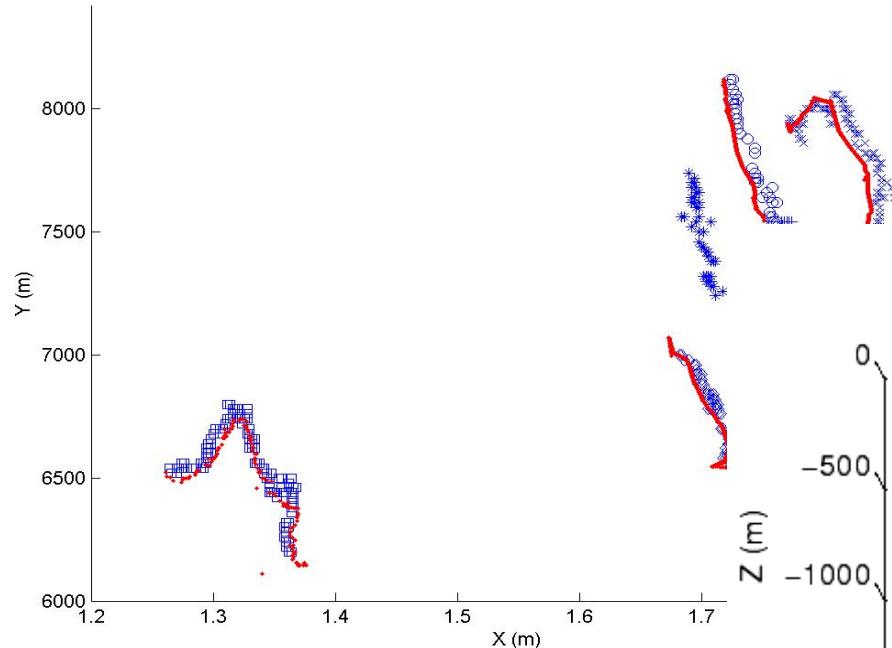
Vitesses obtenues cohérentes  
 $V \approx 10 \text{ km/h}$ .



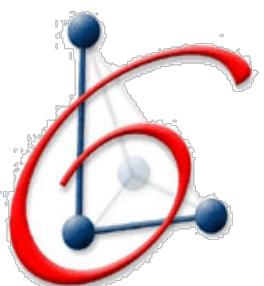
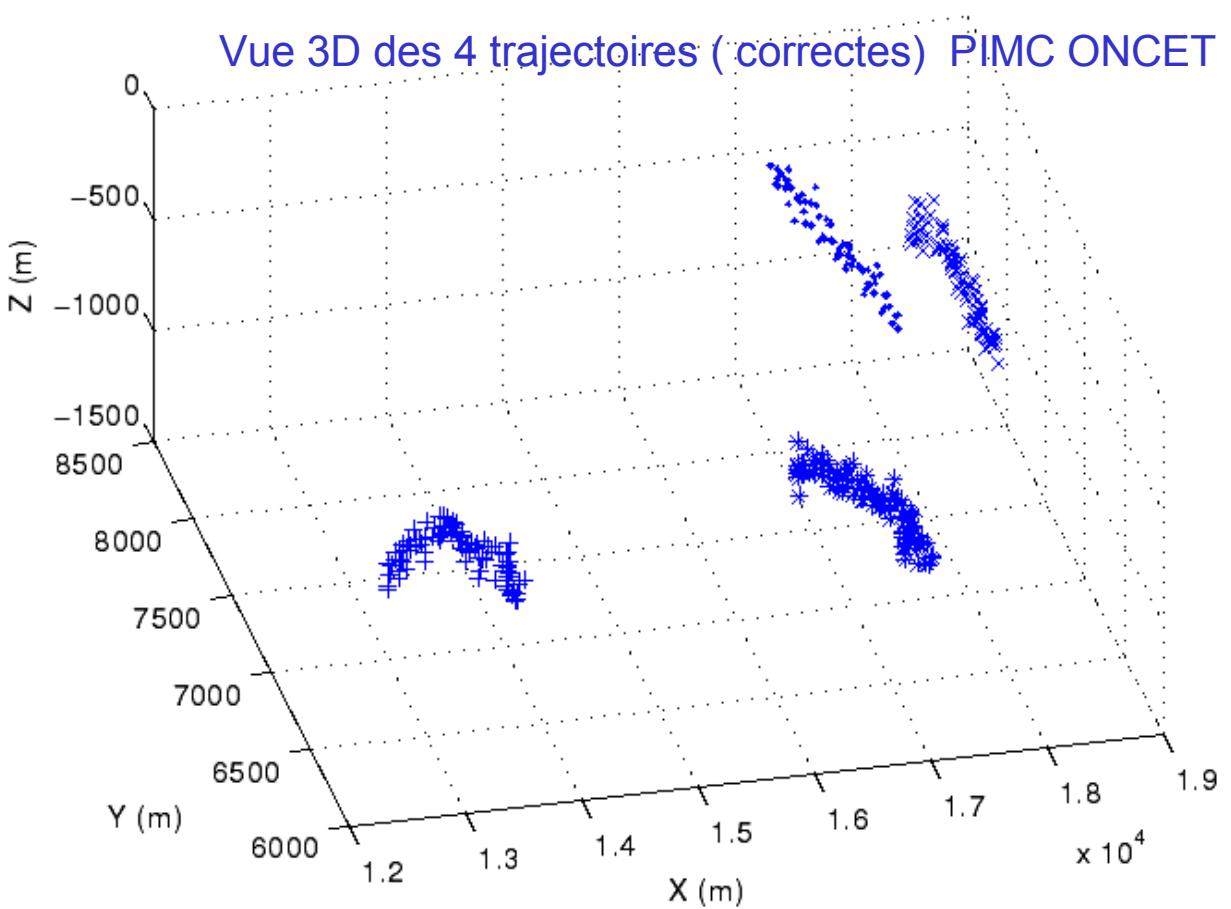
Droite : résultats LSIS en noir  
comparés au SOEST (Hawaï)  
en bleu ayant des  $V > 100 \text{ km/h}$

# 2009 : Nouveau modèle PIMC ONCET

PIMC-DYNI (rouge) versus  
SOEST Hawaï contenant des fausses détections)



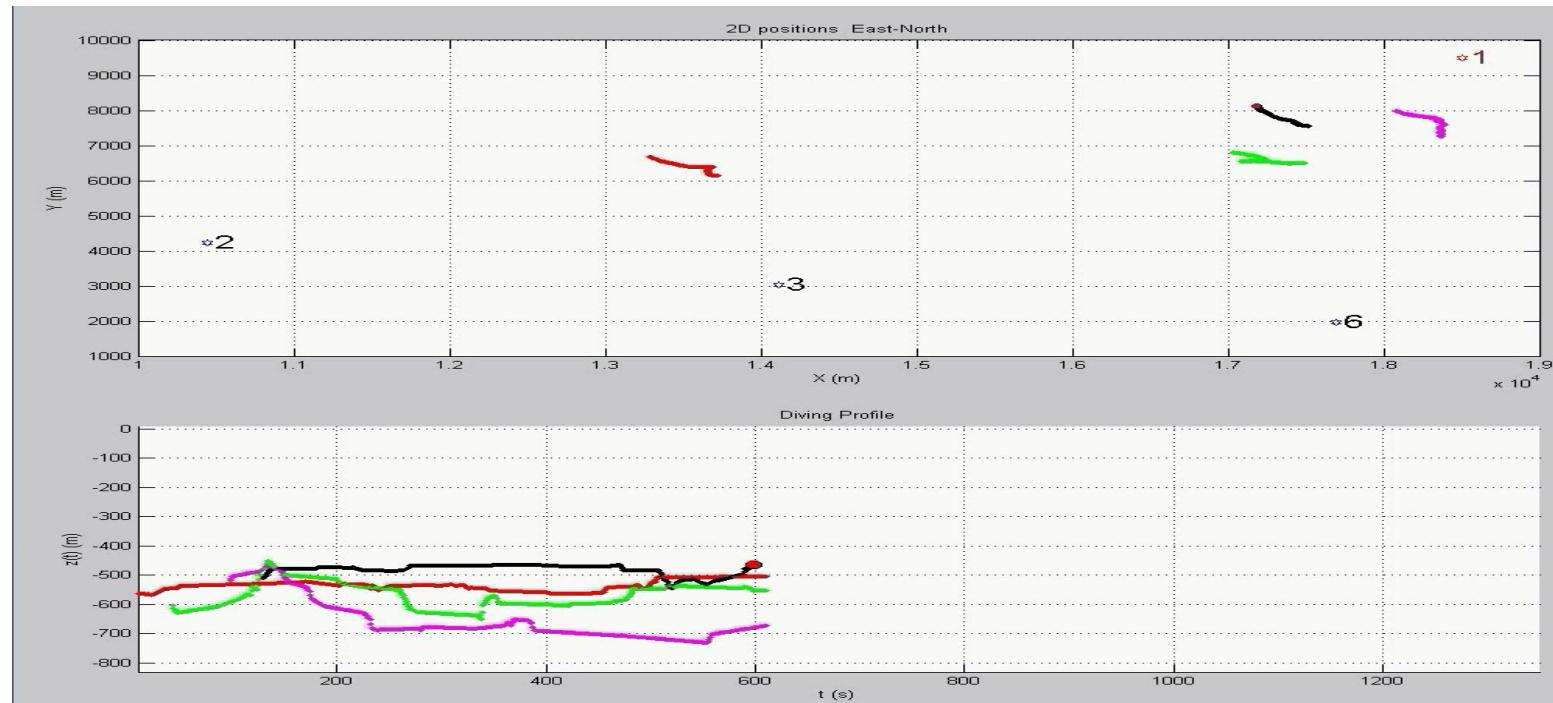
Vue 3D des 4 trajectoires (correctes) PIMC ONCET :



# Démonstrations en ligne

DEMO du système PIMC-multi-TRACK  
(Trajectoires 3D en temps-réel)  
sur data AUTEC / Bahamas disponibles sur :

<http://glotin.univ-tln.fr/oncet>

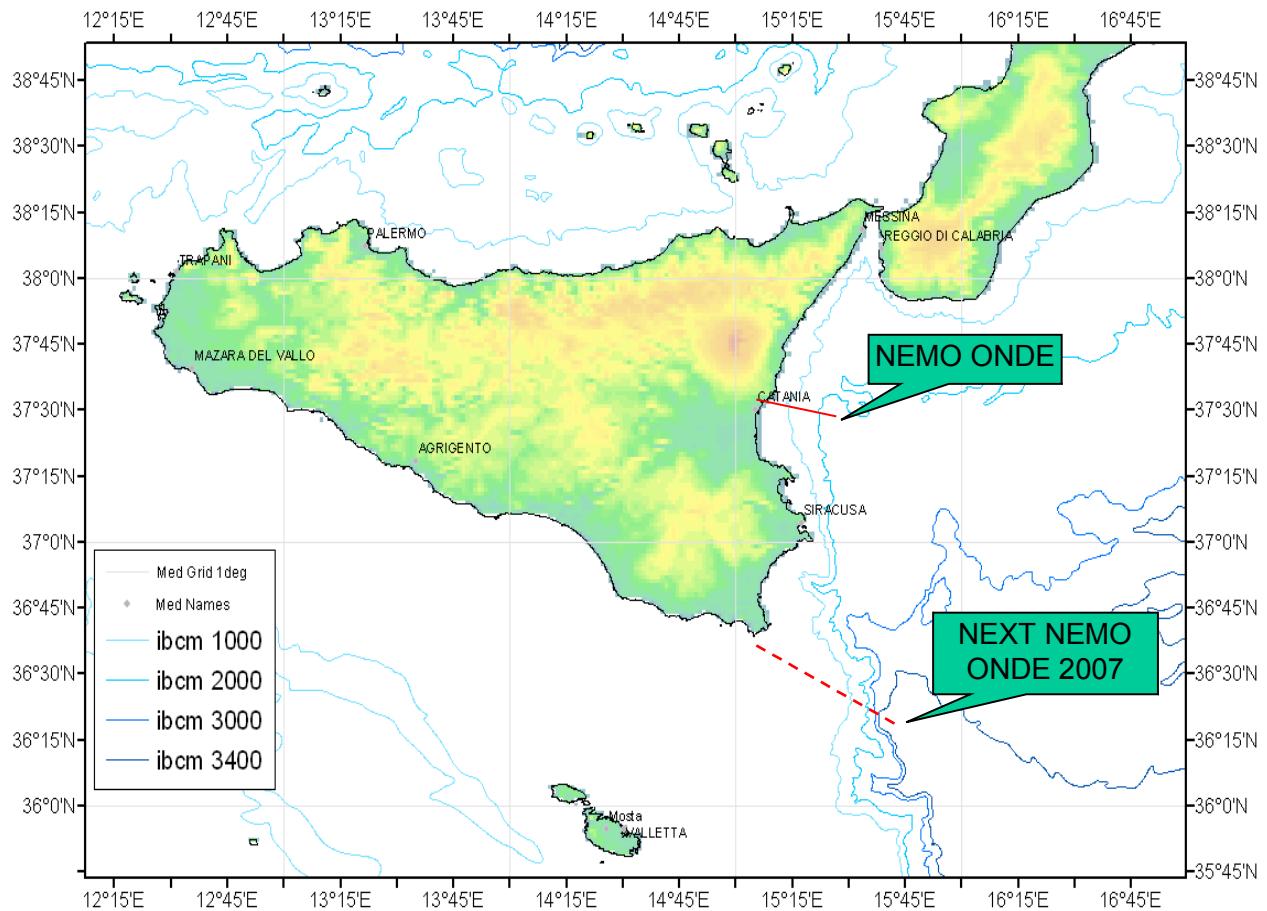


## **C2) Astrophysique et Ecologie**

- ANTARES (large Hyères)**
- NEutrino Mediterranean Observatory (NEMO)**

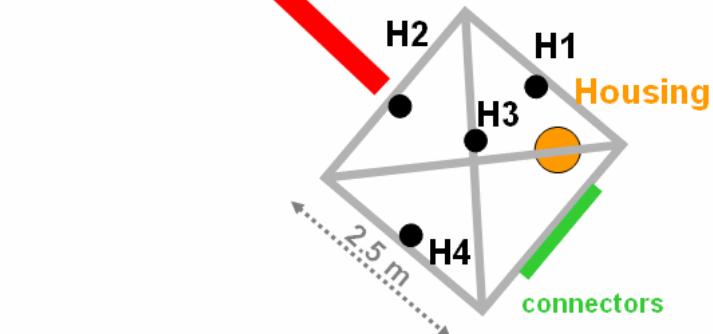
Résolution de Trajectographies Simultanées de cétacés  
en base courte (2m)

Lat: 37° 32.681' N Depth: 2050 m  
Long: 15° 23.773' E



Cable to shore

North

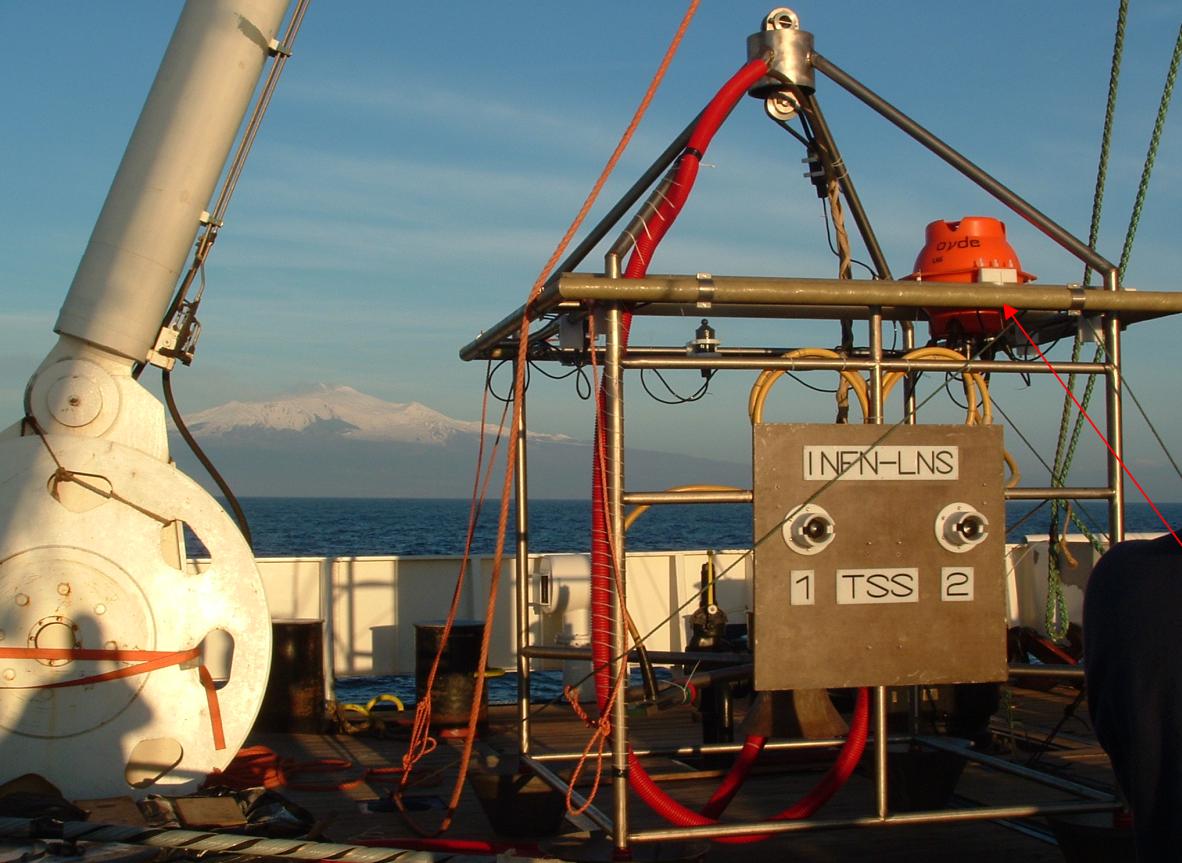


Height from seabed :  
H1, H2, H4: ~ 2.6 m H3: ~ 3.2 m

**Débuté 2000 – déployé 2005**

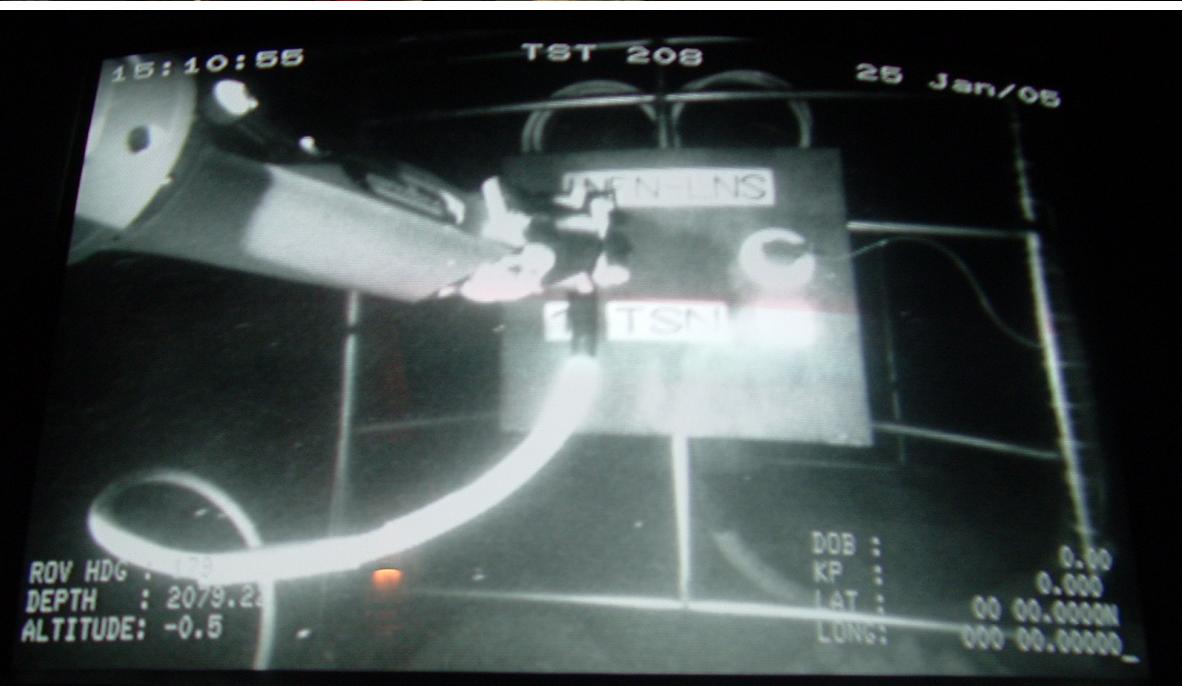
La plateforme multidisciplinaire acoustique NEMO ONDE est située à 25 km au large de Catania à 2050 m de profondeur. Il s'agit de l'une des premières d'une séries d'observatoires océanographiques sous-marins à grande profondeur reliés à la côte par câbles. Fe=96 kHz, 24 bits / 30 Hz–50 kHz / Passe-haut >1 kHz, 6 dB par octave sur 2 hydrophones.

Nous remercions le Prof. Migneco, Directeur du laboratoire INFN-LNS en Catania, qui nous a permis de rejoindre le projet pour l'étude des baleines et dauphins, Giorgio Riccobene, qui a toujours soutenu la partie biologique, IUAV University et G. Pavan (Pavi univ).



Module acoustique

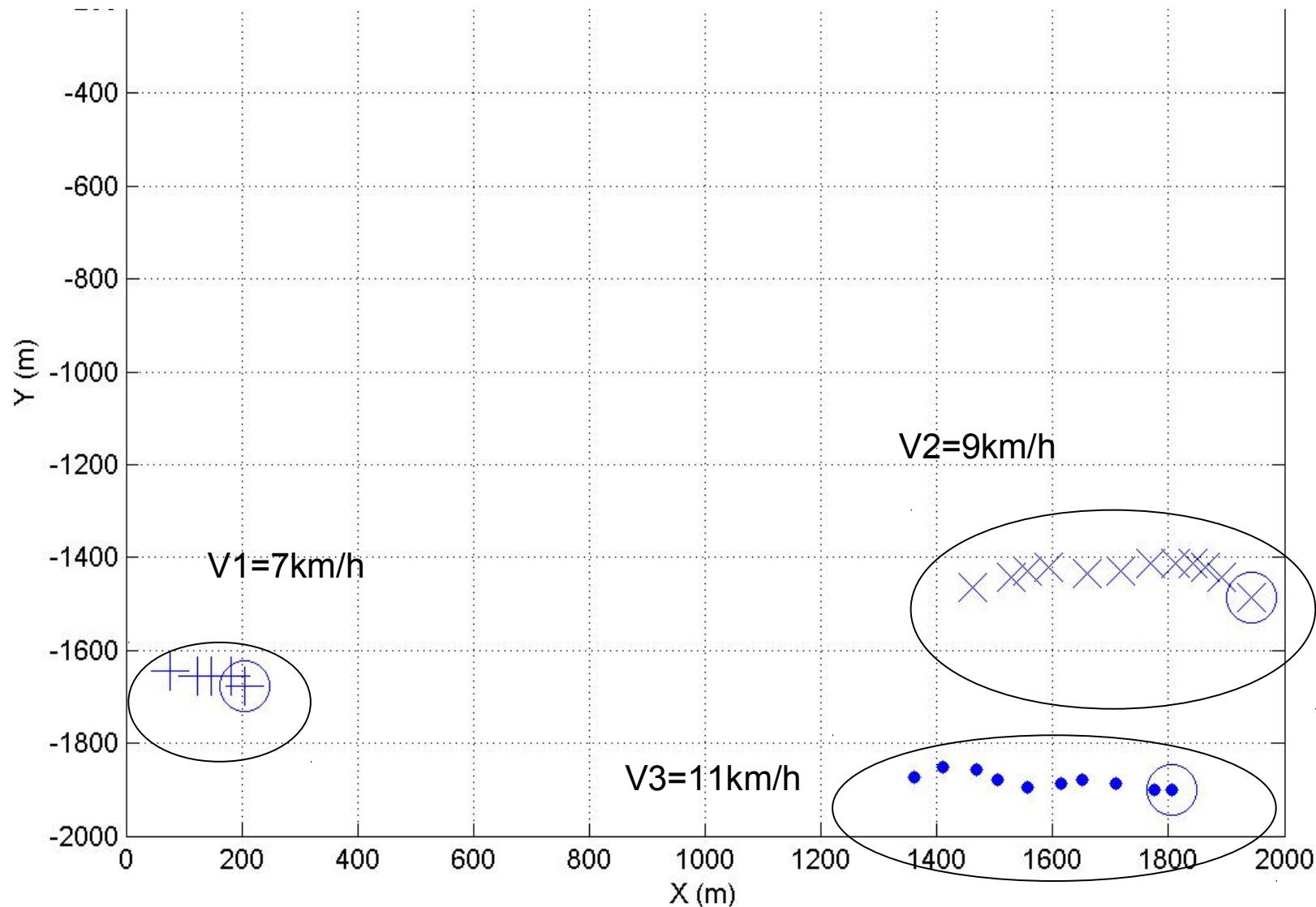
Hydrophones



Une fois déployé sur le plancher océanique, la frame est connectée au cable optique par un ROV (Remotely Operated Vehicle)

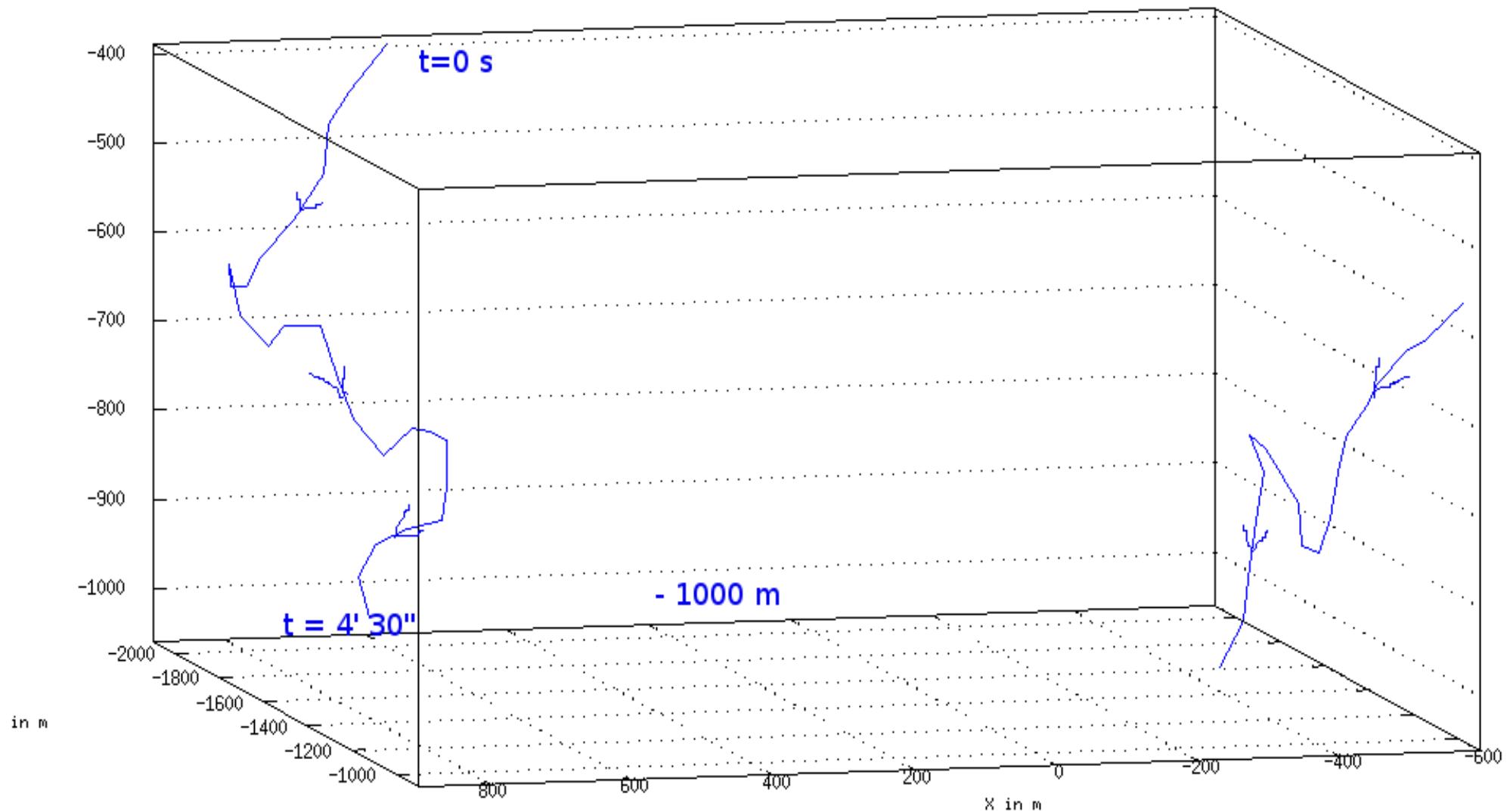
# Résultats de trajectographie 3D de cachalot par DYNI / ONCET (les seuls valides à notre connaissance)

Vue de dessus



- Direction Sud-Est

**ONCET résultats** : 15 août 2005 15h00, Sicile Est :  
2 baleines sondent en même temps,  
de -400 m jusqu'à -1000 m en moins de 5 min.  
( Avec la permission des responsables de NEMO)



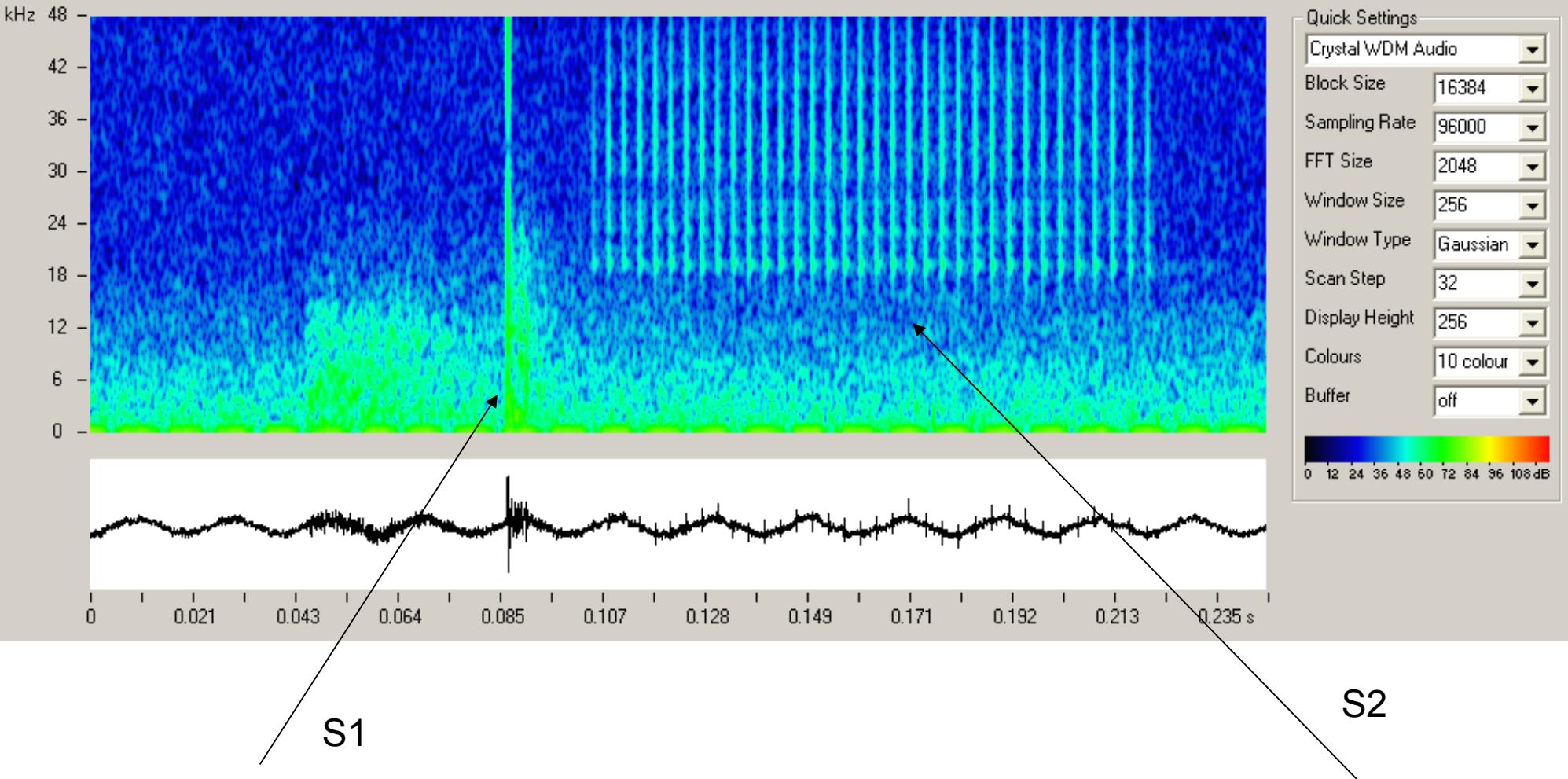
# NEMO : premières conclusions en terme de biopopulation en Méditerranée

- Les cachalots rentrent dans le rayon de détection plus souvent qu'espéré
- Ils se déplacent par petits groupes – Ils sont détectés pendant quelques heures.
- Les enregistrements sont pauvres en creaks – Sont-ils juste en transit ?
- Parfois émissions de signaux de socialisation (codas – souvent 3+1, chirrups, etc sont enregistrés
- Utiliser l'allure des clics (P0-P1-P2) pour accéder à l'orientation
- Traitement statistique sur la présence et mouvements quotidiens / saisonniers
- **Modélisation des Migrations**
- **Correlation avec le changement climatique**
- **Découverte de nouveaux sons biologiques...**

# Mise en évidence de signaux biologiques inconnus

E:\file\belli\dati\_fondo\_scheda2\_20050410\_090000\_20X\_3216.wav 56254kb 96000s/sec 2ch (L) Tot 00:02:30.011 16bit  
[pix 570 251 60] 190 ms 47062.5 Hz 24 dBRL F 00:00:19.882

RB



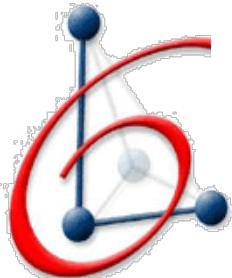
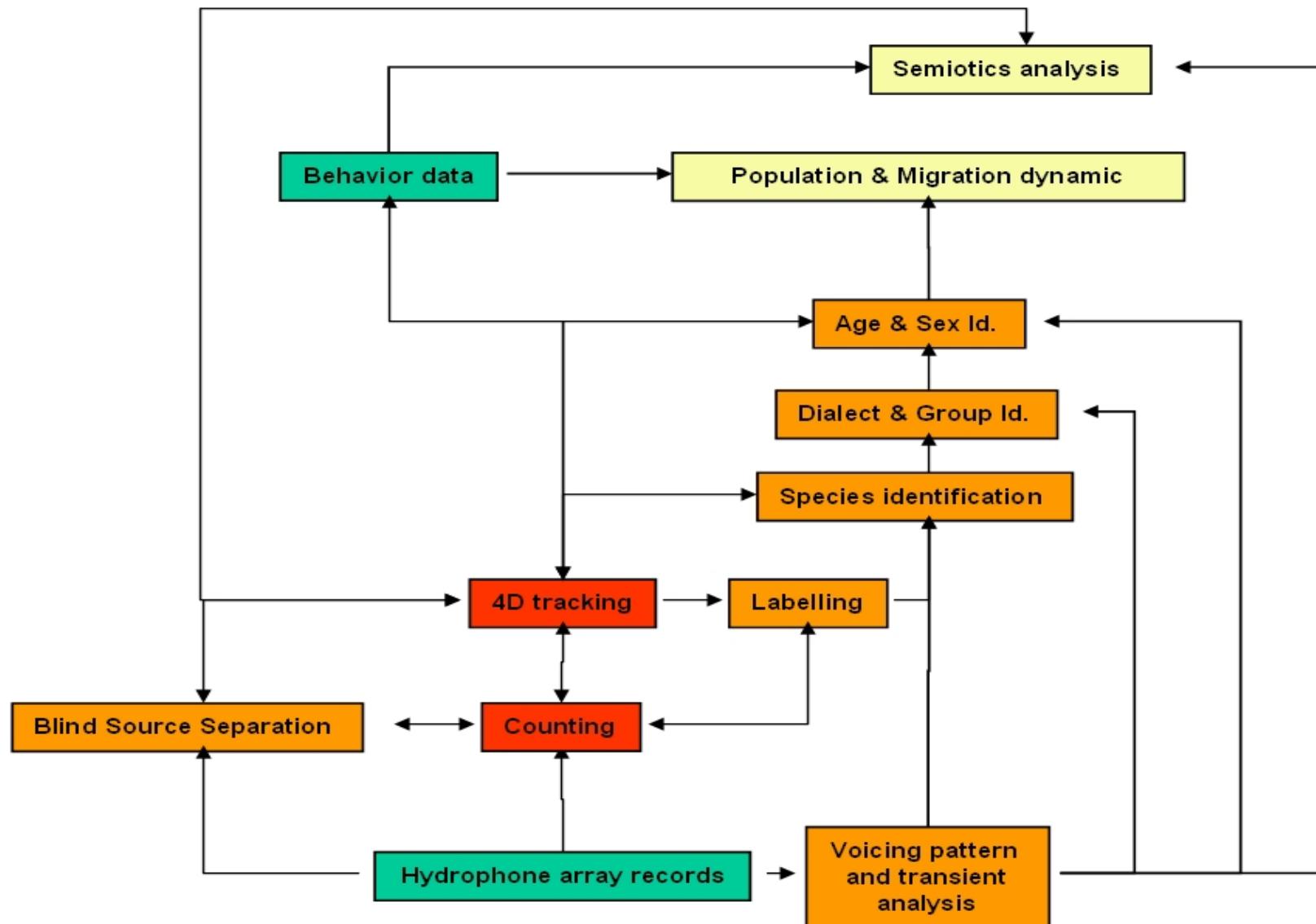
*Clic de cachalot (S1), suivi par une série de signaux d'origine inconnue (S2) : l'analyse des TDOA's sur les hydrophones montre que S2 n'est pas émis en même point que S1)*

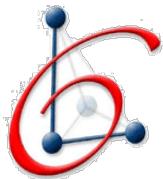
# D) Conclusion et perspectives

- Observations base courte ou longue gérées par ONCET
- Possibilité d'étiqueter et associer à chaque individu les émissions
- Analyse comportementale possible : vitesse, roulis, chasse, migration,...
- Coût énergétique des déplacements
- Possibilité d'analyser la composition des groupes
- Perspective vers une nouvelle biologie des populations des cétacés
- Veille de la chaîne trophique, veille toxicologique, climatique,...
- Rôle des réseaux sociaux, tech. Androïd
- Groupe de travail interdisciplinaire / formation et recrutement interdisciplinaire

# Projet global DYNI : localiser pour ségréger et intégrer

## Plateforme d'Intégration Multimodale pour l'écologie

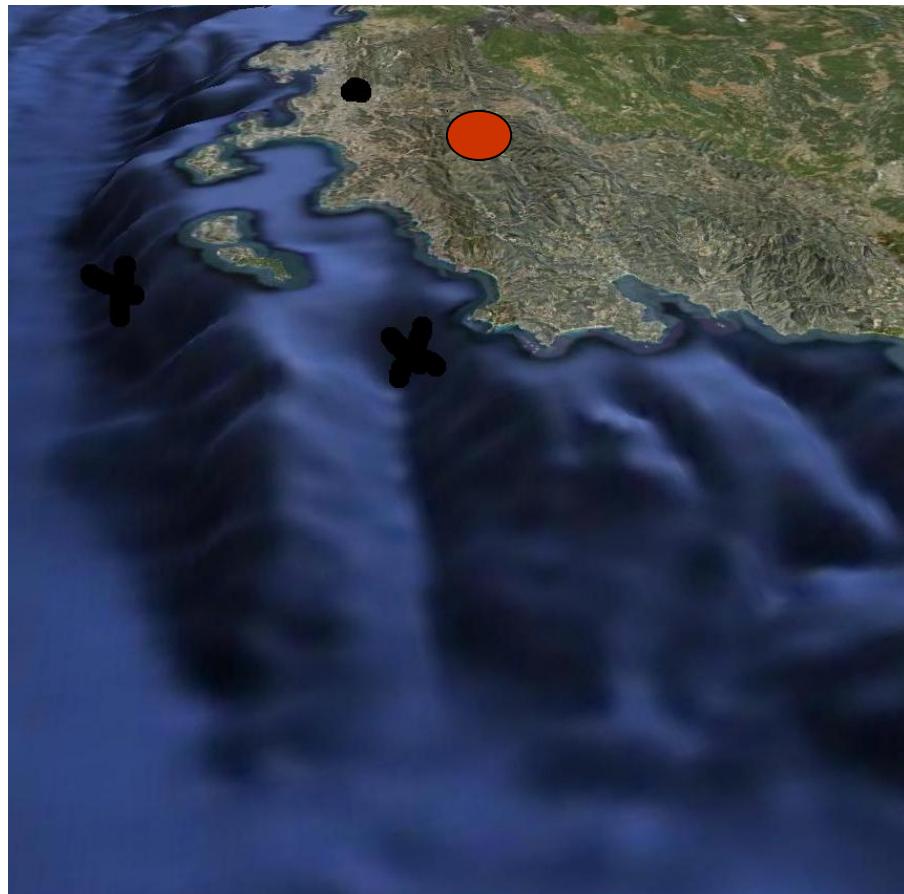




# Déploiement dans le Parc National de Port-Cros



## ONCET (USTV-LSIS) : Online Cetacean Tracking



# Bibliographie

Démonstration : <http://glotin.univ-tln.fr/oncet>

Projet DECAV 2010 – 12 en cours ;

Trois ANR déposées en 2012 : SOS Brume, Sound of the Sea, ONCET

- Glotin H., F. Bénard, P. Giraudet, Whale Cocktail Party : a Real Time tracking of multiple whales. Canadian Acoustics Int. Journal, Vol. 36, p. 139-145, Mar 2008.
- Giraudet P., H. Glotin Real-time 3D tracking of whales by echo-robust precise TDOA estimates with a widely-spaced hydrophone array. Int. Jour. Applied Acoustics, Elsevier Ed., Vol. 67, Issues 11-12, pp 1106-1117, Nov. 2006.
- Bénard, F, Glotin, H, Giraudet, P : Highly defined whale group tracking by passive acoustic Stochastic Matched Filter. Advances in Sound Localization Online Intech Book 2011 : <http://www.intechopen.com/articles/show/title/highly-defined-whale-group-tracking-by-passive-acoustic-stochastic-matched-filter>
- Bénard F., GLOTIN, CASTELLOTE, LARAN, LAMMERS "Passive acoustic monitoring in the Ligurian Sea" , 4th International Workshop on Detection, Classification and Localization of Marine Mammals using Passive Acoustics, 2009
- Bénard, H. Glotin, GIRAUDET P. "Whale 3D monitoring using astrophysic NEMO ONDE two meters wide platform with state optimal filtering by Rao-Blackwell Monte Carlo data association" , in : *Journal of Applied Acoustics*, Vol. 71 (2010), pp. 994-999, nov 2010
- Bénard, H. Glotin, "Automatic indexing and content analysis of whale recordings and XML representation" , in : *EURASIP Special Issue, Advances in Signal Processing for Maritime Applications*, Vol. 2010 (2010), pp. 8, 2010
- Bénard, H. Glotin, "WHALES LOCALIZATION USING a LARGE HYDROPHONE ARRAY: PERFORMANCE RELATIVE to CRAMER-RAO BOUNDS and CONFIDENCE REGIONS" , in : *Springer-Verlag, e-Business and Telecommunications*, sep 2009
- PACE F., BENARD F., GLOTIN H., ADAM O., WHITE P. "Automatic clustering of humpback whale songs for subunits sequence analyses" in *Internat. Journal of Applied Acoustics*, 2010
- GLOTIN H., GIRAUDET P., CAUDAL F., BREVET international : *Procédé de trajectographie en temps réel de plusieurs cétacés par acoustique passive*, Institut National de la Propriété Intellectuelle, INPI, 2007. numéro 07/06162, étendu PCT 2009 USA, Canada, Australie, Nouvelle Zélande, Europe.
- Laran S., M. Castellote, F. Caudal, A. Monnin & H. Glotin, *Suivi par acoustique passive des cétacés au nord du sanctuaire*. Rapport de recherche du Parc National de Port Cros, 2009, 80 p
- Lelandais, F. Glotin, H., "Mallat's Matching Pursuit of sperm whale clicks in real-time using Daubechies 15 wavelets", in: New Trends for Environmental Monitoring Using Passive Systems, 2008 ISBN: 978-1-4244-2815-1, DOI 10.1109/PASSIVE.2008.4786977