

B O M B Y X

BOuée Multimodale pour la Biodiversité et l'océanophYsique

Un premier bilan

Hervé Glotin ^(a,b,e), Gilles Rougier ^(c,d), Vincent Rey ^(c,d), Anne Molcard ^(c,d)

- a) Aix Marseille Université, CNRS, ENSAM, LSIS UMR 7296, 13397 Marseille, France*
 - b) Université de Toulon, CNRS, LSIS UMR 7296, 83957 La Garde, France*
 - c) Aix Marseille Université, CNRS/INSU, IRD, MIO, UMR 7294, 13288 Marseille, France*
 - d) Université de Toulon, CNRS/INSU, IRD, MIO, UMR 7294, 83957 La Garde, France*
 - e) Institut universitaire de France, 75005 Paris, France*
- contact : glotin@univ-tln.fr*

Résumé

Du fait de la richesse des côtes Toulonnaises en terme de biodiversité, Bombyx dans sa version préliminaire a été imaginée par H. Glotin en 2010 pour mettre en place une première station permanente de l'université de Toulon au large du Parc National de Port-Cros et intensifier les programmes de recherches bioacoustiques en lien avec le sanctuaire international des cétacés (PELAGOS). Bombyx avait fait l'objet d'une première demande de finance à la fondation de Monaco sans être retenue. Le projet a alors évolué en sollicitant une équipe du MIO pour que Bombyx devienne une plateforme non pas uniquement bioacoustique, mais multimodale permettant l'élaboration de modèles originaux par mesures jointes acoustiques visuelles et courantométriques. La collaboration entre LSIS et MIO est alors née, et le projet a été financé en 2012 par plusieurs parties dont TPM qui y joue un rôle central. La mise en place d'une telle plateforme, la première du genre à notre connaissance pour un tel budget, était un défi. Et les premières mesures des trois instruments : hydrophone, courantomètre et caméra ont été prises en 2014. Le bilan dressé dans ce rapport est très positif, et nous précisons les évolutions et perspectives de ce projet à moyen et long terme.

1) Bilan construction et pose de Bombyx

La structure de Bombyx a été réfléchi pour permettre des évolutions de ces équipements permettant des acquisitions multimodales jointes inédites : hydrophones en stéréophonie, courantomètre, et caméra vidéo. Il en est ressorti après plusieurs études notamment en lien avec le CREDAM (PME La Seyne) une géométrie en parallépipède rectangle (cf Fig1 haut), permettant l'assemblage rationnel des instruments. Le tout est posé sur une structure avec flotteurs qui est fixé par une ancre posée 300 mètres plus bas (cf Fig1 bas).

L'ensemble du dispositif (ancre de plusieurs centaine de kg, flotteurs, cadre avec instrument a été mis à l'eau le 16 Juillet 2014 sur un point également longuement réfléchi d'après relevés bioacoustiques et courantométriques (resp. entre 2012-2013 par H. Glotin et 2013 par G. Rougier).

La position effective et fixe de Bombyx est donc :

42°56.201 N et 6° 19.052 E (mesure GPS sur bateau bateau amarré sur la cage)

42° 56.205 N et 6° 19.066 E (mesure au sondeur à deux reprises).

C'est un point à quelques miles au sud de l'île de Port-Cros, hot spot de biodiversité notamment.

Bombyx est effectivement immergée à -25m (ce qui est la profondeur nominale, théoriquement définie par les calculs de G. Rougier). Environ 300 mètres de drisse la rattache au fond. Ceci représente une certaine prouesse technique.

Une vidéo de Bomby est en ligne sur internet : <http://sabiiod.univ-tln.fr/media/bombyx2.mp4> et <http://sabiiod.univ-tln.fr/tv.html>; et les photos de la bouée posée sont données ci-après figure 1.

A l'issue de cette mise à l'eau, plusieurs échanges ont eu lieu sur la mise en place des opérations de maintenance de Bombyx.

La participation du Parc est essentielle et actée par la direction du PNPC qui a fortement soutenu le projet par la mise à disposition de son équipe de plongeur.

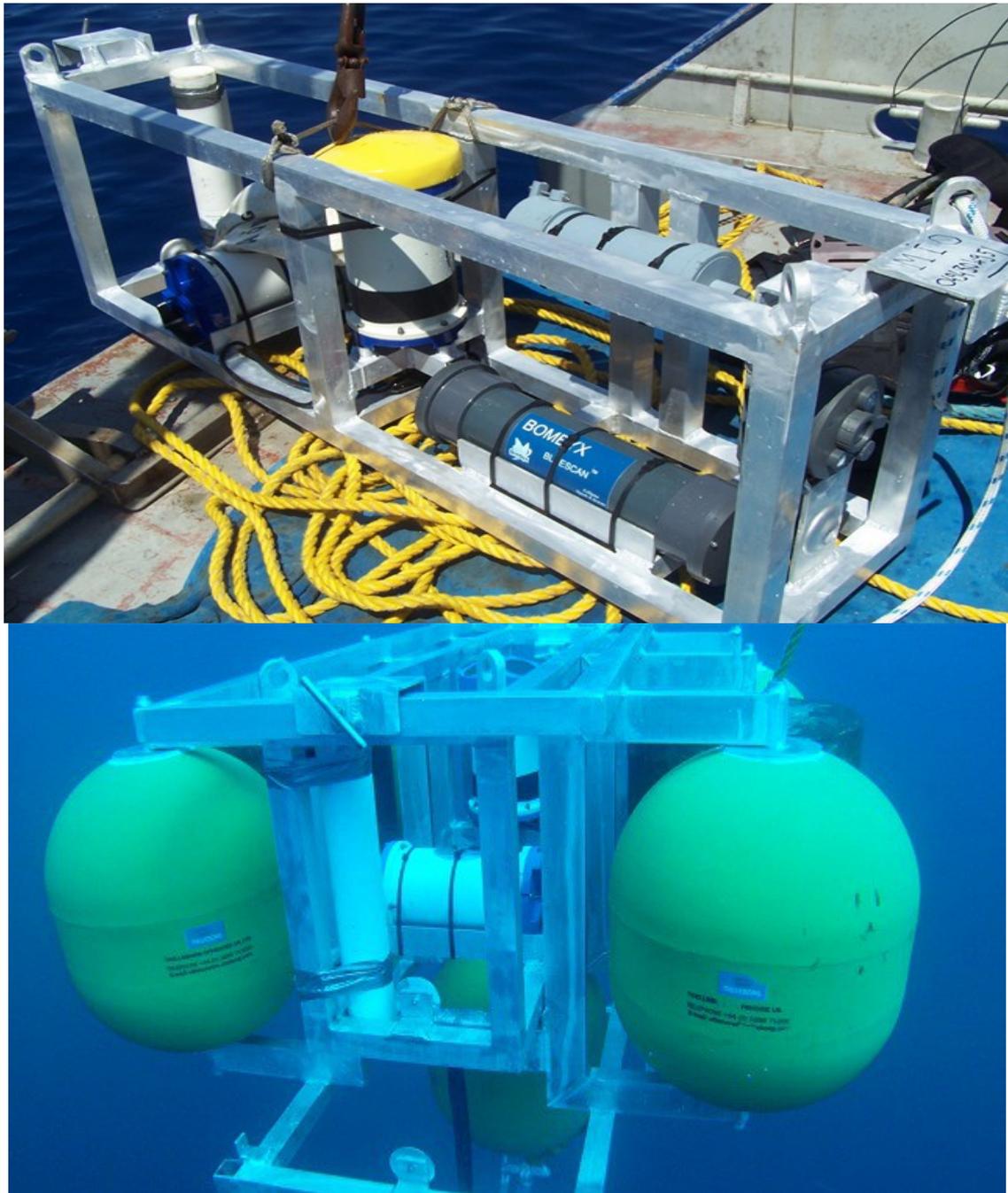


Figure 1 : Photos de Bombyx avant immersion équipée de ses instruments (haut), et vue générale in situ une fois posée (bas).

L'expérience sur la première année d'exploitation montre que les interventions demanderont plus de temps (1/2 ou 1 journée) et seront plus techniquement complexes que prévu. Tout le monde s'accorde malgré tout sur le fait que le projet est exceptionnel au niveau scientifique.

Il nous faudra rajouter des moyens de maintenance annuelle. La surveillance et le contrôle de la bouée sont des points indispensables pour maintenir le système à l'eau pendant une longue période. Les conditions sont difficiles :

1. Compte tenu du courant (zone d'intérêt pour hydrologie et mesures abyssales bioacoustiques) et du non balisage de surface, le *repérage de la structure* avant intervention est primordial.
2. Une fois repérée et balisée, le bateau peut s'amarrer sur le mouillage et faciliter la suite du travail. La remontée vers la surface du panier avec des parachutes ne pose pas de problème particulier, par contre la *remontée à bord du panier* est problématique du point de vue de son poids et de son encombrement.

Du fait de la nécessité à simplifier les rotations des plongeurs, nous avons modifié la nacelle centrale fin 2014 pour y adapter un système de panier individuel instrument par instrument.

Au printemps 2015 la nacelle est en fonction avec ces adaptations, avec ADCP et enregistrement stéréophonique notamment en lien avec l'industriel OSEAN (PME le Pradet) qui est très intéressé à utiliser BOMBYX comme plateforme de démonstration et de collaboration scientifique. Un projet de collaboration est envisagé avec cette PME autour de Bombyx sur le volet bioacoustique.

2) Résultats Acoustiques, thèse soutenue et travaux en cours

Bombyx s'avère extrêmement efficace pour l'observation de la faune de type cétacés comme les cachalots (cf Fig 2), au comportement peu connu mais au risque important de collision avec les bâtiments de surface.



Figure 2: Cachalot (13mètre, 40 tonnes) partant en sonde au sud de Port Cros, crédit JM Prévot Univ Toulon. Chaque année deux à trois individus sont tués et endommagent les navires rentrant sur Toulon ou Marseille

Nous donnons un exemple de signaux de cette faune abondante enregistrée par Bombyx (Fig. 3 et 4).

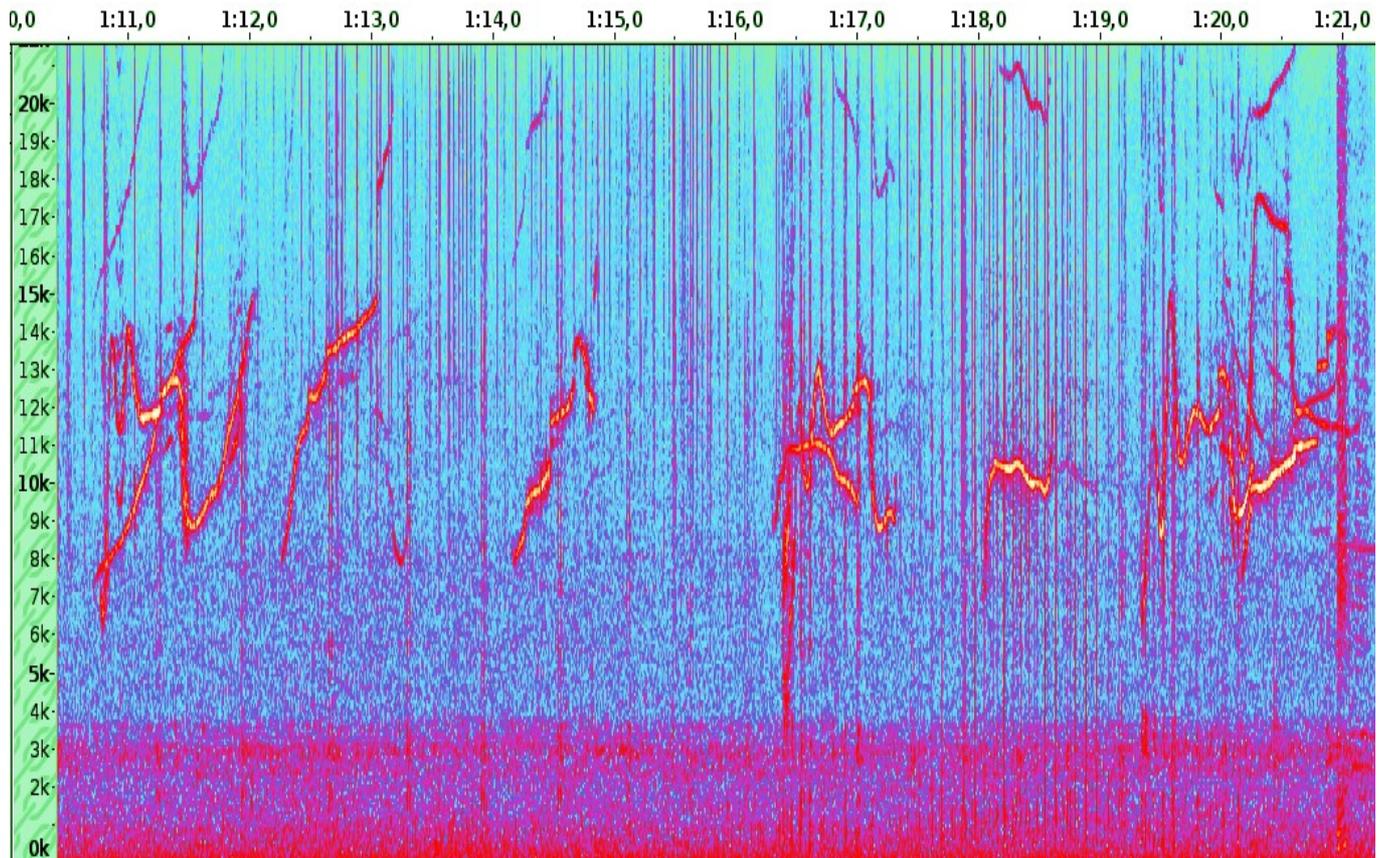


Figure 3 : Spectrogramme d'un enregistrement de Bombyx, montrant sur 20 secondes les entrelacements de sifflement de dauphin bleu blanc, de leurs clics rapprochés, plus des clics de cachalot (un par seconde environ dès 5kHz)

Les signaux de Bombyx sont notamment utilisés, après la thèse de Yann Doh qui a estimé des distances de passage, par une étudiante de master 2 de trajectographie à l'UMR IM2NP, et par la direction du CNRS dans l'organisation de la journée de l'OCEAN en juin 2015, voir par exemple ce lien qui est le signal analysé en Fig. 3. :

https://soundcloud.com/cnrs_officiel/quiz-question-n8/s-s5feD

Yann DOH a effet soutenu sa thèse en décembre 2014, avec un chapitre entier consacré à l'analyse des signaux bioacoustiques de Bombyx. Nous avons notamment démontré grâce à Bombyx la faisabilité d'estimer la distance de passage des cachalots au large de Port-Cros. Ainsi sur ce spectre des clics résumés sur 36h d'enregistrement de Bombyx donné figure 3 montre le suivi en continu d'un cachalot. Nos estimations montrent (cf thèse Y. Doh sur <http://sabiiod.org>) l'approche à 2.5 km de Bombyx, et la détection au delà de 5km de cet animal. Il en résultera dans les travaux suivants une précision sur la densité de population de cette espèce sur Toulon, et potentiellement une aide à l'évitement de collision avec les ferries.

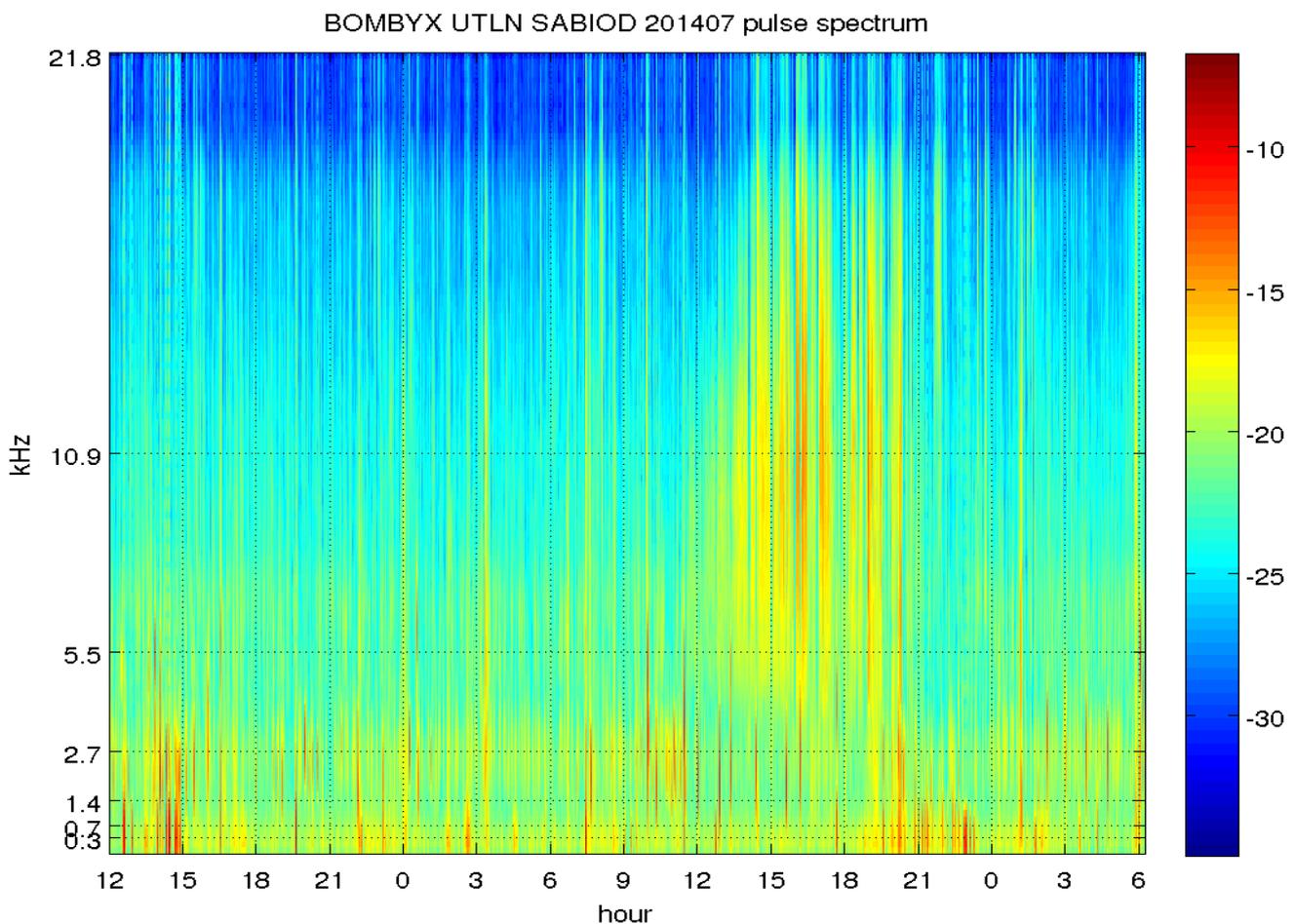


Figure 4 : Spectre résumé des clics les plus intenses sur 36 d'enregistrement de Bombyx. On voit clairement les clics de cachalot apparaître vers 12h du second jour, et disparaître vers 21h. Il aura donc été détecté durant 9h en continu.

Publications sur ce thème :

Nous donnons en annexe 1 le résumé de la thèse de Y. DOH. Des détails sont disponibles notamment les diapositives de son exposé.

Un séminaire a été produit par H. Glotin sur ces résultats dans SERENADE GipsaLab devant experts DGA Toulon Mourillon

Un article revue A (JASA USA) est en cours de soumission.

3) Résultats en courantologie

3.1 Mesures préliminaires à la pose de Bombyx

La pression d'utilisation de certains instruments prévus sur le mouillage Bombyx (caisson hydrophone, caméra) étant limitée à 50 mètres, il est important d'assurer une parfaite verticalité du mouillage afin qu'il ne plonge pas au-delà de cette limite sous l'influence du courant et entraîne la destruction de ces instruments.

Pour cela une bonne connaissance préalable des conditions de courant sur la zone est cruciale pour modéliser précisément le comportement du mouillage au point choisi au Sud de Port Cros. Il a donc été proposé de faire un mouillage de quelques mois (période d'hiver 2013) d'un profileur de courant acoustique (adcp) pour avoir des indications concrètes sur le profil de courant et cela avant de prendre une décision pour le mouillage final. Ce mouillage courantométrique est classiquement constitué d'un ADCP 300Khz d'une flottabilité (bouée permettant d'intégrer l'ADCP) ainsi que d'un largeur acoustique empruntés à l'Institut Méditerranéen d'Océanologie (MIO) de Marseille.

Compte tenu de ses caractéristiques techniques, un ADCP situé à environ 100 mètres au dessus du fond, disposant d'une portée maximum de 150 mètres, devait permettre de caractériser les courants à partir de 15 mètres sous la surface jusqu'à 100 mètres de profondeur environ.

Le mouillage a été mis en place au point Bombyx le 29 Novembre 2013 par la société IxBlue de La Ciotat à bord de leur navire le GG9. Il a été relevé le 6 Mars 2014 par le MIO à bord du N/o Téthys II de l'Institut National des Sciences de l'Univers (INSU). Les données recueillies sont de très bonne qualité.

L'ADCP a permis d'obtenir des profils de courant toutes les 30 minutes pendant plus de trois mois dans la couche de 18 à 140 mètres sous la surface.

Le MIO a traité les données ADCP de Bombyx, et a publié d'excellents résultats dans EGU 2015. Nous donnons ci-dessous le poster de cet exposé, et en annexe son résumé.

Il s'avère que les courants mesurés sont très intéressants pour la compréhension du courant Ligure qui constitue l'essentiel des courants des côtes Toulonnaise et Provençales en général. Les connaissances sur l'évolution du trait de côte et sur les blooms planctoniques en découlent notamment.

Les résultats (Fig. 5) montrent que le courant est majoritairement dirigé de l'Est vers l'Ouest (direction du courant portant vers le 260°) avec des vitesses pouvant atteindre 90cm/sec près de la surface. Nous avons les caractéristiques du courant nord qui passe par ce point. Trois couches de courant sont identifiables.

- 80cms/sec de 25m jusqu'à 100m.
- 70cms/sec de 100m à 150 m .
- 40cm/sec de 150m au fond..

De nouveaux calculs de mouillage prenant en compte les données acquises suivant ces trois couches ont été effectués. Les résultats de ces simulations nous

ont permis de mettre à jour le cahier des charges de la ligne de mouillage pour une immersion sur un fond de 300 mètres prenant en compte ces profils de courants :

- Tête de mouillage située en permanence entre 20 et 30 mètres de profondeur pour le profil de courant proposé et l'accessibilité plongeur.
- Flottabilité de tête > 400 Kg.
- Lest 1 T

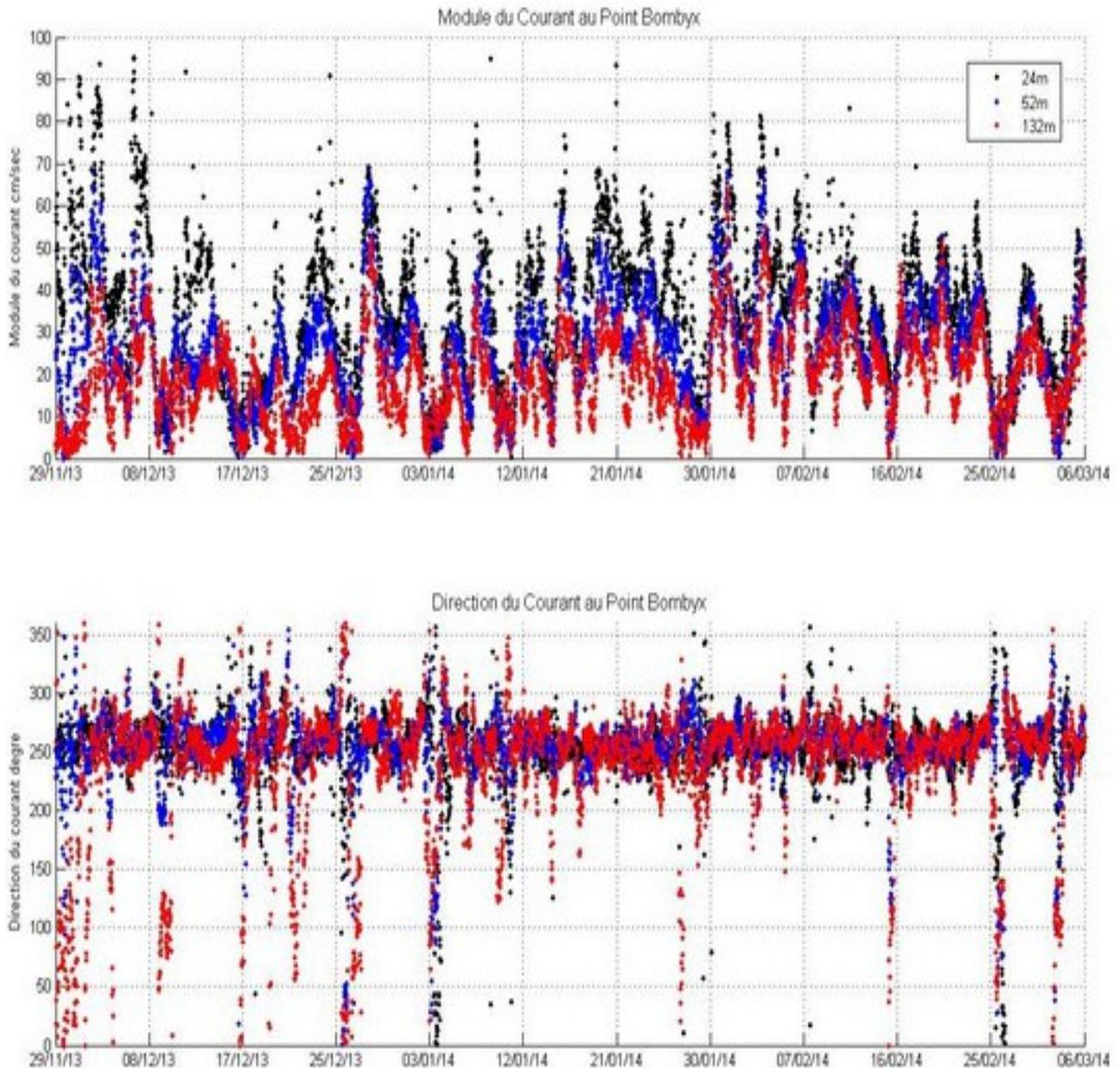


Figure 5 : résultat vitesse (haut) et orientation courant (bas) montrant les fortes variation de vitesse, mais stabilité de l'orientation (courant Ligure), d'après Rougier et al. 2014

3.2 Mesures long terme

La suite des mesures de BOMBYX a permis au MIO de publier dans EGU [Geophysical Research Vol. 17, EGU2015 2015 EGU General Assembly 2015 Rougier, Molcard, Rey] dont nous donnons le poster fig 6, et le résumé en annexe.

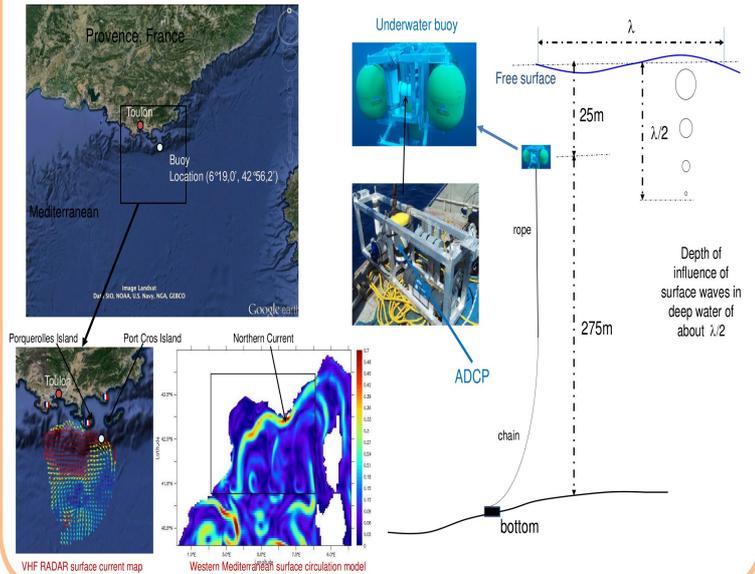
1. CONTEXT

In the context of the hydrodynamics study along the French Mediterranean coast, a current profiler was deployed near Toulon at the south of the "Port Cros" island in the framework of the BOMBYX program in collaboration with the French National Park of Port Cros. This coastal zone is characterized by a steep slope, the water depth varying from tens meters to several thousand meters over few kilometers from the coast. An ambient current, the "Northern Current", coming from the Ligurian sea (area of Genoa, Italy) and following the coast up to Toulon, is present all over the year. Its mean surface velocity is of about 0.30 m/s, its flow rate of about 1.5 Sv. The Laboratory M.I.O has been involved for many years in the study of the NC, through both numerical approaches and field measurements. The region is exposed to two dominating winds: the Mistral, coming from West-North-West, and Eastern winds. Both generate swell and/or wind waves in either following or opposing current conditions with respect to the Northern Current.

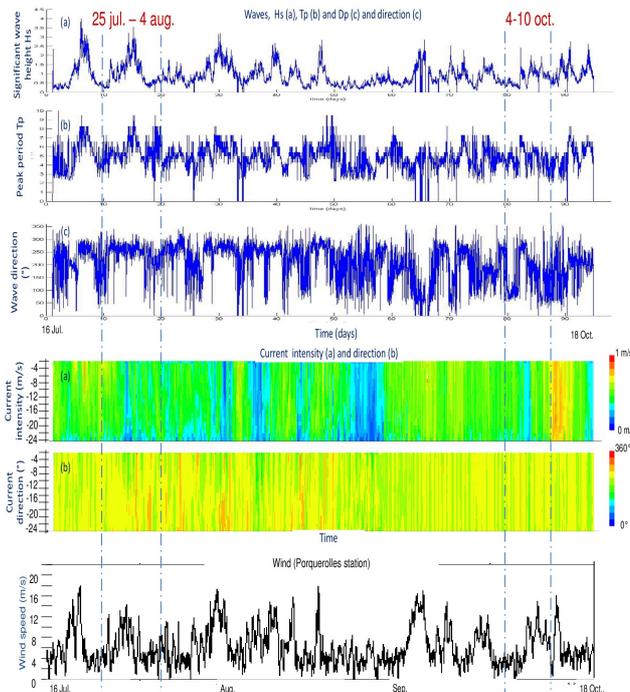
A current profiler equipped with a wave tracking system (ACPD workhorse from RDI) was deployed from July, 16th to October, 18th 2014 in deep water conditions (water depth of about 300m). The mooring system allowed the ADCP to measure the current profile from the sea surface down to 25m depth, which corresponds more or less to the depth of influence of waves of periods in the range 6-8s (wavelength in the range 56-100m) and the wave characteristics (Energy spectrum, Significant wave height, Peak period, Wave direction at the peak period).

Two specific events are presented in the following. The NC behavior is found to be correlated to the wave conditions. More detailed analyses including both the NC and wind variability at larger scale are in progress.

2. STUDY AREA AND INSTRUMENTATION



4. WAVE, CURRENT & WIND DATA



4. SPECIFIC EVENTS

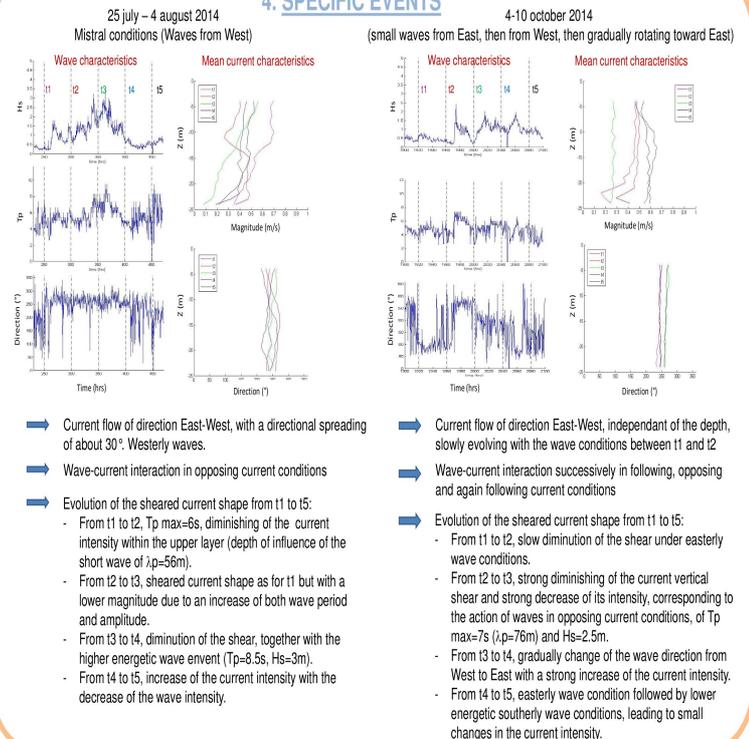


Figure 6: poster MIO 2015 en courantologie d'après BOMBYX, dans EGU 2015

4) Résultats vidéo

Les vidéos enregistrées / séquences d'images sur plusieurs semaines, montrent le passage régulier de plusieurs bancs de poissons, et de méduses. Un détecteur embarqué de forme a été rajouté et sera utilisé in situ pour compresser le volume d'acquisition.

Dès lors, un master 2 et ou ingénieur pourrait travailler sur des comptages automatiques des espèces photographiées.

Des images exemples seront mises en lignes avec les sons de Bombyx sur une page web spécifique pour BOMBYX (page préliminaire : <http://glotin.univ-tln.fr/BOMBYX>) avec annonce précise de ses financeurs.

5) Travaux en cours et perspectives

Une collaboration en UMR IM2NPet LSIS s'est ouverte sur un projet de MASTER 2 trajectographie sur les données bioacoustiques de Bombyx. L'étudiante pourra candidater sur la bourse de thèse qui a été obtenue pour IM2NP sur ce projet de détection acoustique sous marine dans l'ED 548 mer et science. Cette thèse débutera en sept. 2015 sous la direction de C. Jauffret.

Un master 2 de l'école ParisTech Agro et du master informatique de Paris Dauphine est venu faire spécifiquement sur master 2 recherche dans l'équipe de Dyni du LSIS, espérant également suivre une thèse sur le sujet bioacoustique (en recherche de financement).

Les données de Bombyx servent aux enseignements du master Biomar M1 et l'année prochaine M2, et au module traitement du signal / bioacoustique du master Physique de l'Environnement.

Un FUI est en cours de rédaction (dépot pour septembre 2015) avec DCNS, Osean, SemanticTS, MicrodB et le LSIS, avec un volet sur la surveillance de la faune dans la zone par bioacoustique. Bombyx jouera un rôle particulier dans ce projet.

Enfin le projet VAMOS du ministère de l'Environnement et du PNPC, piloté par H. Glotin sur 2015-16-17, a pour vocation de lier les mesures bioacoustiques de Bombyx avec les observations de drones aériens et photographies depuis bateaux pour la construction de lois allométriques sur certains cétacés probablement endémiques, et donc aux lois atypiques.

L'ENSTA Brest est intéressée pour collaboration sur un protocole bioacoustique sur Bombyx.

Le protocole camera de Bombyx pourrait permettre une mise en évidence les traces acoustiques des espèces de poissons de la zone.

Enfin, l'analyse conjointe ADCP et hydrophone va être ouverte en septembre 2015 avec H. Glotin et V. Rey sur les données de la session en cours (relèvement en septembre 2015).

Etant donné le fort courant sur zone (il peut atteindre 1.8 noeuds), le LSIS a lancé un projet de **mini-hydrolienne** à fixer comme un petit module sur Bombyx. Le but est d'alimenter les instruments pour atteindre des autonomies au delà des 3 mois actuels, et potentiellement transmettre en ligne par 3G les informations de détection de cétacés (ce qui requiert cette énergie). Nous cherchons un financement pour lancer ce projet.

Les perspectives de Bombyx sont nombreuses, on comprend le potentiel de cette approche interdisciplinaire. Bombyx est la première plateforme de l'UTLN aussi proche des abysses, et offre un excellent compromis entre effort de maintenance et richesse des observations d'espèces ou de phénomènes courantologiques méconnus de cette zone si atypique qui est la plus étroite entre le continent et la fosse abyssale de la côte Nord Ouest Méditerranée.

6. Remerciements

Nous remercions TPM pour avoir financé BOMBYX, sans TPM ce projet ne pourrait pas exister.

Nous remercions l'IUF également pour son cofinancement, ainsi que CG83.

Notre remercions toute l'équipe du PNPC mobilisée autour de H. Bergère.

Nous remercions nos partenaires industriels : CREDAM, Ixsurvey, PMS, OSEAN...

Nous remercions les acteurs réguliers sur les N actions nécessaires durant les mois de mise au point de Bombyx, G. Rougier pour la partie bouée, et aussi J.-M. Prevot du dpt informatique UTLN pour la mise au point du système d'enregistrement BOMBYX / SABIOD.

ANNEXE 1

Résumé thèse de Y. Doh, soutenue le 19 déc. 2013

Director: Pr. Hervé GLOTIN, univ Toulon
co-director: Pr. Olivier ADAM, Univ Paris 6
co-supervisor: PhD Joseph RAZIK, univ Toulon
industrial co-supervisor: PhD Gilles Nolibe
Laboratory : UMR CNRS LSIS Toulon.

A new intra-spectral monohydrophone range estimator and bioacoustic sparse coding for scaled submarine biodiversity

Acoustic waves show low dispersion due to the underwater propagation, compared to the propagation in the air. Some species of cetaceans communicate at long distance, others use their sound production for orientation. The goal of the scientific area called bioacoustics is to study animal species based on the analysis of their emitted sound. Their sounds can be used to detect, to classify and to locate the cetaceans. Recordings can be done with a passive acoustic array of multiple hydrophones, but this method is expensive and difficult to deploy. Thus, in order to scale this approach, we propose in this Phd thesis several original single hydrophone models to analyze these stationary or transient signals.

Firstly, we provide a new theoretical model to estimate the distance between the impulsive source (ex. biosonar of the cetacean) and the hydrophone. Our model, the Intra Spectral ATtenuation (ISAT), is based on the spectral signal alteration due to the underwater acoustic propagation, especially the differences in different frequency bands. We also approximated ISAT by an artificial neural network. Both models are validated on clicks emitted by sperm whales (*Physeter macrocephalus*) recorded by our [sonobuoy BOMBYX](#) and our data- acquisition system DECAV developed in collaboration with the National Park of Port-Cros (France) and the Pelagos sanctuary for the protection of marine mammals in the Mediterranean sea (France). The error (RMSE) measures on the recordings of the NATO test center in the Bahamas are about 600 meters, promising further real applications.

Secondly, we worked on the variations of the cetacean vocalizations using the sparse coding method. The encoding of the cepstrums by unsupervised learning of a dictionary shows bigrammic time changes of the songs of humpback whales (*Megaptera novaeangliae*). We validate this model on signals recorded in the Ste Marie Channel (Madagascar) between 2008 and 2014, through our network of hydrophones BAOBAB which is the first passive acoustic array deployed in the Indian Ocean. Our models are part of the Scaled Bioacoustics project (SABIOD, MI CNRS) and open perspectives for temporal and spatial scaling of bioacoustics.

Keywords:

underwater acoustics ; bioacoustics ; transient signals ; stationary signals ; large scaling ; single hydrophone ; source-receiver range estimation ; sparse coding ; humpback whale ; sperm whale ; Pelagos ; PNPC ; Madagascar.

ANNEXE 2
Résumé de EGU 2015

Geophysical Research Abstracts Vol. 17, EGU2015-PREVIEW, 2015 EGU General Assembly 2015 © Author(s) 2015. CC Attribution 3.0 License.

Rougier, Molcard, Rey

Université du Sud Toulon Var, CNRS MIO, La Garde Cedex, France (rey@univ-tln.fr)

**Wave-current interactions in deep water conditions:
field measurements and analyses**

The study of wave - current interaction has drawn interest in oceanography, ocean engineering, maritime navigation and for tides or waves power device design.

In the context of the hydrodynamics study along the French Mediterranean coast, a current profiler was deployed near Toulon at the south of the "Port Cros" island. This coastal zone is characterized by a steep slope, the water depth varying from tens meters to several thousand meters over few kilometers from the coast. An ambient current, the "Northern Current", coming from the Ligurian sea (area of Genoa, Italy) and following the coast up to Toulon, is present all over the year. Its mean surface velocity is of about 0.30 m/s, its flow rate of about 1.5 Sv. The region is exposed to two dominating winds: the Mistral, coming from North-West, and Eastern winds. Both generate swell and/or wind waves in either following or opposing current conditions with respect to the Northern Current.

A current profiler equipped with a wave tracking system (ACPD workhorse from RDI) was deployed from July to October 2014 in deep water conditions (depth of about 500m). The mooring system allowed the ADCP to measure the current profile from the sea surface down to 25m depth, which corresponds more or less to the depth of influence of waves of periods up to 10s.

The collected data include energetic wave conditions in either following or opposing current conditions. The current intensity and its vertical profiles have shown a significant temporal variability according to the meteorological conditions. Effects of the wave conditions on the current properties are discussed.

ACKNOWLEDGEMENTS : This work was supported by the program BOMBYX (TPM IUF UTLN) and the ANR grant No ANR-13-ASTR-0007

Rapport 13 pages, validé par l'équipe Bombyx, printemps 2015

Signature : le responsable du projet Pr H. Glotin

