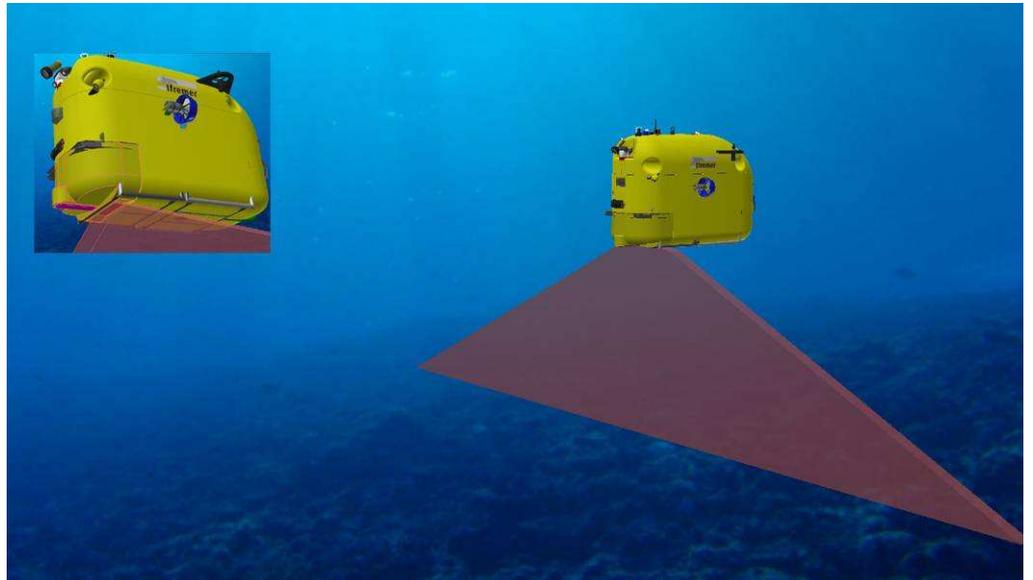


Laboratoire Environnement Ressources (LER)
Provence Azur Corse (PAC)
Ifremer – 83500 La Seyne sur Mer

M-C. FABRI, LER / PAC, Marie.Claire.Fabri@ifremer.fr
B. LOUBRIEU, GM / CTDI, Benoit.Loubieu@ifremer.fr
S. DUPRE, GM / LGG, Stephanie.Dupre@ifremer.fr
J. OPDERBECKE, SM / PRAO, Jan.Opderbecke@ifremer.fr
X. LURTON, NSE / AS, Xavier.Lurton@ifremer.fr

Jan 2014- RST.ODE / LER-PAC / 14- 03

Choix du type de charge acoustique potentielle pour le H-ROV



Fiche documentaire

Numéro d'identification du rapport : Diffusion : libre : <input checked="" type="checkbox"/> restreinte : <input type="checkbox"/> interdite : <input type="checkbox"/>		date de publication : Février 2014
Validé par : Adresse électronique :		nombre de pages : 25 bibliographie : Oui illustration(s) : Oui langue du rapport : Français
Titre de l'article: Bilan préalable au choix de la charge acoustique du H-ROV		
Rapport intermédiaire <input type="checkbox"/> Rapport définitif <input checked="" type="checkbox"/>		
Auteur(s) principal(aux) : Marie-Claire FABRI Benoit LOUBRIEU Stéphanie DUPRE Jan OPDERBECKE Xavier LURTON	Organisme / Direction / Service, laboratoire Ifremer Toulon, LER / PAC Ifremer Brest, GM / CTDI Ifremer Brest, GM / LGG Ifremer Toulon, SM / PRAO Ifremer Brest, NSE / AS	
Cadre de la recherche : H-ROV		
Destinataire :		
Résumé Ce document a pour objectif de préparer une réunion sur le choix du type de charge utile "Acoustique" pour le H-ROV. Ce document s'intéresse à la charge utile "cartographie acoustique". Il est réalisé avec l'objectif de préparer une réunion du groupe de travail scientifique du H-ROV. Il propose un bilan des différentes charges utiles acoustiques embarquables sur un engin sous-marin, ainsi que leur avantages et leurs inconvénients au regard des caractéristiques techniques du H-ROV. Au final un SONDEUR MULTIFAISCEAUX a été le choix considéré comme étant le plus adapté à l'environnement probable d'exploration du HROV (milieu à fort relief) ainsi qu'à ses caractéristiques techniques (autonomie réduite). Lors de l'intégration sur le SKID "Acoustique", il faudra envisager la possibilité d'une charge acoustique complémentaire (sondeur de sédiment ECHOES 5000 IXSea des AUV 3000) qui permettra l'acquisition de données sur les milieux sédimentaires si besoin.		
Mots-clés H-ROV; cartographie acoustique		

TABLE DES MATIERES

1. CONCEPT GENERAL DU SYSTEME H-ROV (SPECS TECHNIQUES 23/11/2012)	7
1.1. LE MODE ROV	7
1.2. LE MODE AUV	7
1.3. FONCTIONNALITES D'ENSEMBLE	8
1.4. CHARGES UTILES	8
2. ENONCE DU BESOIN CONCERNANT LA CHARGE UTILE ACOUSTIQUE	8
2.1. CARTOGRAPHIE HAUTE RESOLUTION	8
3. BILAN DES PRECEDENTES REUNIONS CONCERNANT LA CHARGE ACOUSTIQUE	9
3.1. REUNION DU 17/11/2011 A BREST	9
3.2. REUNION DU 18/12/2012 A BREST	9
3.3. REUNION DU 04/04/2013 VISOCONFERENCE BREST-TOULON	9
3.4. REUNION DU 09/10/2013 REVUE DE CONCEPTION H-ROV A TOULON	10
4. REVUE DES DIFFERENTS TYPES DE CHARGE ACOUSTIQUE ENVISAGEABLES	11
4.1. QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE	11
4.2. LES SONDEURS MULTIFAISCEAUX	12
<i>SMF et topographie du fond (Cuvelier et al., 2012)</i>	12
<i>SMF et retrodiffusion du fond (Micallef et al., 2012)</i>	13
<i>SMF et topographie de parois verticales (Huvenne et al., 2011)</i>	14
<i>SMF et détection de bulles de gaz dans la colonne d'eau (Dupre et al., In preparation)</i>	15
4.3. LES ENGINES TRACTES : SONARS A BALAYAGE LATERAL OU SIDESCAN SONARS (SSS) OU INTERFEROMETRES ..	16
<i>SSS et interprétations des habitats (Vertino et al., 2010)</i>	17
<i>SSS et impact de chalutage (Roberts et al., 2006)</i>	17
<i>SSS et Faciès de volcans de boues ainsi que détection de bulles de gaz (Dupre et al., 2010)</i>	18
4.4. LES SONDEURS DE SEDIMENTS	19
<i>Sondeur de sédiment sur AUV</i>	20
4.5. RECAPITULATIF	21
5. COMPTE-RENDU DE LA REUNION DU 13 FEVRIER 2014: QUEL TYPE DE SONDEUR ACOUSTIQUE POUR LE HROV?	24
6. REFERENCES	25

1. Concept général du système H-ROV (specs techniques 23/11/2012)

Le système HROV est un engin sous-marin d'intervention, d'inspection et de survey offrant des possibilités de déploiement en mode télé-opéré (ROV) ou autonome (AUV), avec des coûts d'exploitation les plus faibles possibles, notamment grâce à une mise en œuvre à partir de navires côtiers sans positionnement dynamique tel que le TETHYS II, l'EUROPE ou la THALIA. Cela implique une mise en œuvre par une équipe réduite, avec des surfaces ponts faibles et des moyens de manutentions très limités.

Il s'agit donc d'un système hybride. L'énergie est stockée sous forme de batterie dans l'engin, lui permettant un déploiement sans câble pour le mode autonome. Ainsi, il peut être déployé suivant plusieurs modes.

1.1. Le mode ROV

Il s'agit du mode nominal d'intervention. C'est le mode obligatoirement utilisé pour le travail au point fixe nécessitant de la télémanipulation.

Le H-ROV est télé-opéré grâce à une liaison par fibre optique depuis la surface, via un lest dépresseur permettant le découplage entre le navire et le véhicule, avec une gestion de laisse spécifique, permettant la compensation de l'absence de positionnement dynamique du navire, et qui comprend :

- Une laisse fine, appelée laisse véhicule, déployée depuis le véhicule à l'aide d'un TMS à tension constante
- Une laisse « résistante », appelée laisse cage/lest, déployée depuis la cage à l'aide d'un TMS directement depuis le lest dépresseur (pas de TMS)
- Un élément flottant, appelé flotteur assurant la liaison entre ces 2 laisses.

1.2. Le mode AUV

Dans ce mode, il n'y a pas de contrôle du véhicule en temps réel par un opérateur en surface ; le HROV fonctionne de façon autonome sans liaison physique avec le navire de surface. La communication est assurée uniquement par acoustique ; elle permettra d'assurer le suivi de la mission, la remontée de données scientifiques (en cohérence avec le débit de la communication), la reconfiguration de la mission. Ce n'est pas le mode nominal sur les navires côtiers mais il est nécessaire en mode dégradé du mode ROV, pour la sécurité. Il est également fonctionnellement utilisable en cas de besoin d'optimisation des opérations ou de l'engagement du navire (ce qui est plus probable sur les navires hauturiers). Dans ce cadre, quand le relief du fond le permet, ce mode sera plutôt choisi pour les missions de cartographie optique ou acoustique haute résolution.

Aujourd'hui, la technologie accessible est acoustique, mais la prospective technologique promet des évolutions des performances avec rupture possible avec l'émergence des lasers pulsés pour le haut débit courte distance multidirectionnel. Le mode AUV pourra évoluer vers un mode AUV supervisé, où les capacités de pilotage et les missions réalisables seront à définir selon la performance de la communication.

De façon à optimiser le débit de communication, le modem « surface » pourra être intégré au lest dépresseur.

1.3. Fonctionnalités d'ensemble

L'engin HROV doit pouvoir être déployé à partir de navires côtiers ne disposant pas de capacité de positionnement dynamique. Cela implique des contraintes fortes en termes d'encombrement pont, de manutention et de personnel disponible (mise en œuvre par une équipe réduite de 2 à 3 personnes, hors équipes navire et scientifique) ; les navires pris en compte lors des études de conception sont l'EUROPE, le TETHYS II et la THALIA.

Pour répondre aux besoins liés aux missions d'inspection et d'intervention, le véhicule HROV doit être apte à la navigation très près du fond avec des capacités de positionnement dynamique près du fond. En outre, il devra être adapté au travail sur de forte pente, notamment en termes d'architecture de propulsion, de positionnement et de géo-référencement (mesure d'altitude et de vitesse par Loch Doppler adapté aux fortes pentes), et de configuration de charge utile.

1.4. Charges utiles

Le système doit être aisément reconfigurable en termes de charge utile de façon à élargir son usage et optimiser son taux d'utilisation. On distingue 3 charges utiles nécessaires pour répondre aux missions actuellement envisagées :

- Charges utiles *télémanipulation et prélèvement* permettant la mise en œuvre de bras télémanipulateurs avec possibilité de mise en œuvre d'outillages légers, de prélèvement et de dépose de matériel (compensation de la pesée). La capacité d'emport du véhicule sera limitée, elle pourra néanmoins être complétée par l'utilisation d'un ascenseur compatible avec le déploiement du HROV.
- Charge utile *optique* permettant les missions d'inspection et de cartographie optique, notamment à l'aide d'un appareil photo numérique sur orienteur pour le travail sur pente. Cette charge utile pourra être couplée à des éléments de charge utile *télémanipulation* pour répondre aux besoins de missions d'inspection nécessitant des moyens d'intervention.
- Charge utile **acoustique** constituée d'un sondeur acoustique permettant la cartographie haute résolution.

2. Enoncé du besoin concernant la charge utile acoustique

On distingue 3 types de mission, l'inspection locale (optique), la cartographie (acoustique) et le travail au point fixe (optique et prélèvements). Au cours d'une même plongée, il peut être intéressant de combiner plusieurs types de mission ; c'est le cas notamment de la surveillance des écosystèmes qui nécessite à la fois des moyens d'inspection et de travail au point fixe.

De fait le système possèdera in fine des capacités d'intervention typiques de ROVs de classe II compatibles avec l'intervention légère sur de l'instrumentation fond de mer ou des infrastructures sous-marines simples et éventuellement sur épaves.

2.1. Cartographie haute résolution

La mission porte sur l'investigation globale d'une zone de 0,5 à 1 Km. Il s'agira d'une cartographie détaillée d'une zone de référence, par exemple de récifs de coraux (relief, nature des fonds, état vivant/mort...). A l'intérieur de cette zone, le véhicule aura à réaliser des profils parallèles pour une couverture de 100% en **micro bathymétrie ou image** acoustique et au moins 30% avec un capteur à haute définition optique. L'altitude sera comprise entre 5 et 30 m selon le capteur principal mis en œuvre. La cartographie de zones très pentues ou même verticales est à considérer.

3. Bilan des précédentes réunions concernant la charge acoustique

3.1. Réunion du 17/11/2011 à Brest

Les charges utiles acoustiques ne sont pas, pour le moment, prévues dans les budgets du HROV, néanmoins leur mise en œuvre doit être anticipée pour ne pas se retrouver dans l'incapacité technique d'utilisation des charges utiles souhaitées par les scientifiques. Jan Opderbecke est le responsable de la définition des charges utiles cartographiques pour le HROV.

Pour la cartographie acoustique, 2 technologies sont disponibles (voir annexe 4):

- Sondeur multi-faisceau permettant une très bonne précision, les mesures de réflectivité et éventuellement des mesures dans la colonne d'eau, mais plus encombrant. Les critères de choix d'un futur sondeur multifaisceaux devront tenir compte de l'encombrement et plus particulièrement de la présence et d'un processeur des signaux externe aux antennes (ex. Seabat 7125, Kongsberg EM2040), à comparer à des modèles plus compacts (ex. R2Sonic 20124).

- Interféromètre, plus compact mais fournissant une précision moindre et ne permettant pas de mesure dans la colonne d'eau.

Le choix s'orienterait sur une charge utile de type sondeur multifaisceaux. En effet, les travaux en mer sont, d'après les utilisateurs, clairement structurés en une phase de cartographie exhaustive des zones de travail, suivi dans une deuxième phase de plongées d'investigation et d'intervention locales. Ainsi la reconfiguration de l'engin, qui peut prendre quelques heures jusqu'à une journée de travail sur un bateau côtier, représente une contrainte acceptable.

Le changement de configuration entre deux phases de campagne, impliquera par exemple, la suppression des bras pour l'intégration du SMF.

3.2. Réunion du 18/12/2012 à Brest

A ce jour, aucun choix concernant la ou les charges utiles acoustiques n'a été fait. Les études de définition se sont limitées à valider l'intégrabilité du sondeur multifaisceaux EM 2040 (Kongsberg), équipant actuellement les AUVs.

Il a été décidé de monter un groupe de travail pour la définition des charges utiles acoustiques. Ce groupe de travail sera piloté par J. Opderbecke (équipe projet).

3.3. Réunion du 04/04/2013 visioconférence Brest-Toulon

Au cours d'une réunion du Groupe de travail 'Imagerie et cartographie' interne à l'ifremer, il a été abordé une discussion sur les besoins des différentes équipes en cartographie (optique et acoustique) et l'apport des différents types de charges acoustiques.

Un questionnement sur l'intérêt d'un sondeur multifaisceaux sur le HROV a été évoqué, sachant qu'il y en a un sur Victor et un sur les AUV. Il a donc été décidé de discuter de l'intérêt des différents types de charges acoustiques sur le H-ROV: Sondeur multifaisceaux, Sonar latéral, Sondeur de sédiment, autre?

3.4. Réunion du 09/10/2013 Revue de conception H-ROV à Toulon

Au cours de la revue de conception du H-ROV le choix de la charge acoustique a été abordé.

Le tableau suivant a été présenté par Jan Obderbecke, en vue d'une réflexion sur l'intérêt de chaque type de charge acoustique :

Projet HROV : Charge utile 'imagerie acoustique'						
fonctions & systèmes : <i>une question scientifique</i>						
	Imagerie sonar	Réflectivité fond	'Back-scattering' ds colonne d'eau	bathymétrie	Profil sédiment	?
Sonar latéral						
Sonar SAS						
Sonar Interférométr.						
Sondeur multi-faisceaux						
Sondeur sédiment						
?						

Caractéristiques -- performances vs. cas d'usage
•Portée acoustique -> attitude au-dessus du fond
•Fauçée
•Résolution
-> cartographie canyon / relief
-> finalité topographie ou interprétation fond

Unité des systèmes sous-marins 

Le planning suivant a été proposé :

Acquisition de l'équipement	
<ul style="list-style-type: none"> • Appel d'offre au JOUE • Commission de choix : projet HROV + groupe scientifique • Cahier des charges : imageur 'sens large' • Historique : AO AUV CETSM 2010 : bathymétrie indispensable à l'imagerie • Pré-étude intégration HROV : EM2040 	
Intégration	
<ul style="list-style-type: none"> • Alimentation, Interconnexions capteurs nav, synchro • Réseaux données : temps du téléchargement après plongée • Configuration & commandes et vérification de celles-ci • Monitoring indicateurs de fonctionnement, compression échantillons de données • Exploitation : vérification technique de la donnée 	
Planning	
• Appel d'offre :	3 / 2014
• Acquisition :	6-12/ 2014
• Intégration engin :	2015
• Campagne d'essai !	

Unité des systèmes sous-marins 

4. Revue des différents types de charge acoustique envisageables

Afin de donner les différents éléments aux participants au groupe de travail scientifique, nous proposons de dresser un bilan des différents types de charges acoustiques envisageables sur le H-ROV, avec les avantages et les inconvénients de chacun au vu du contexte.

L'acoustique est aujourd'hui la seule technique applicable pour la mesure directe des fonds marins, quelle que soit leur profondeur. Les sondeurs multifaisceaux et les sonars latéraux sont les outils d'acquisition utilisés pour réaliser les levés cartographiques. Chaque système a ses propres spécificités (en terme de signal acoustique, gamme de profondeur, précision, couverture...).

Le développement des technologies acoustiques permet de produire des cartes basées sur la réflectivité du fond. Longtemps utilisée pour la constitution de cartes topographiques, cette technique est maintenant utilisée pour déterminer la nature des fonds géologiques mais aussi "écologique" grâce à une lecture plus fine de l'écho reçu en retour. En combinant cette approche par de l'échantillonnage sur la nature des constituants biologiques et géologiques du fond, il est maintenant possible de produire des cartes thématiques (nature du fond, type d'habitat), telles que celles décrites ci-après.

4.1. Quelques notions d'acoustique

La fréquence du signal acoustique est spécifique à chaque sondeur : des fréquences relativement basses (12 KHz) sont adaptées pour la cartographie des grands fonds, et des fréquences hautes (100 KHz et plus) pour les petits fonds (zones côtières), tout cela à partir d'un navire. Pour un engin sous-marin équipé d'un sondeur, on utilisera des gammes de fréquences plutôt hautes (200 à 400 Hz) car c'est la hauteur d'eau sous le sondeur qui compte. En approchant la source acoustique à quelques mètres du fond marin, la cartographie atteint une très haute définition.

En général plus la fréquence est haute (400 kHz par rapport à 100 kHz), plus le signal est précis (meilleure résolution), mais moins il est transmis loin dans l'eau.

Au contraire plus la fréquence est basse, plus le signal est transmis loin dans l'eau. Donc pour un engin sous-marin utiliser les basses fréquences (100 kHz par rapport à 400 kHz) permet de naviguer à une altitude plus élevée au dessus du fond et de couvrir une zone plus grande (fauchée plus large). Mais plus on navigue loin du fond moins la résolution est bonne pour une même fréquence.

Autrement dit, à altitude égale une haute fréquence (400 kHz) livre une meilleure résolution qu'une basse fréquence (100 kHz).

Sur Victor 6000, le sondeur multifaisceaux Seabat 7125 (256 faisceaux) est opéré à une seule fréquence.

- 400 kHz (120° de fauchée), de 100 à 200 m d'altitude maximale ; mais les 120° de fauchée ne sont obtenus qu'à des altitudes moindres (quelques dizaines de m).

Sur les AUV, le sondeur multifaisceaux Kongsberg EM2040 plus récent (256 faisceaux sur-échantillonnés à 400) permet de travailler à trois fréquences différentes

- 200 kHz (140° de fauchée, faisceaux de 1°), de 80 à 200m d'altitude
- 300 kHz (140° de fauchée, faisceaux de 1°), de 40 à 150 m d'altitude
- 400 kHz (120° de fauchée, faisceaux de 0.7°), de 10 à 60 m d'altitude

L'AUV avec ses capteurs de navigation travaille entre 30 et 160 m d'altitude (limites du Loch doppler et du sondeur de détection d'obstacle).

4.2. Les sondeurs multifaisceaux

Ce sont des outils communs pour l'établissement des cartes bathymétriques. Les données acoustiques du sondeur multifaisceaux sont la bathymétrie et l'imagerie fond de mer (complétées aujourd'hui par les données de la colonne d'eau) :

- **La bathymétrie** est la mesure des profondeurs. Elle consiste à exploiter les temps de parcours des signaux acoustiques. A chaque cycle d'acquisition et perpendiculairement à la route du navire, les sondes bathymétriques sont calculées à partir du temps aller-retour du signal, sous réserve d'une hypothèse sur la vitesse moyenne de parcours. Les sondeurs multifaisceaux permettent d'obtenir un levé bathymétrique dense du relief.

- **L'imagerie** est la représentation de la réflectivité des fonds. Le niveau de rétrodiffusion du signal acoustique sur le fond est en partie dépendant de la nature du fond et de la morphologie, et permet de générer une image sonar du fond – souvent représentée en teintes de gris. C'est une donnée également complétée par les prélèvements, pour étudier et cartographier la nature des sédiments superficiels.

En combinant les cartes bathymétriques et les cartes de réflectivité, le fond peut être interprété de façon approfondie.

Si le sondeur peut être étalonné pour obtenir des niveaux absolus de réflectivité, sa capacité pour la classification des types de fond en est améliorée.

Les données enregistrées avant l'écho de fond dans chaque faisceau permettent de constituer des images, éventuellement calibrées, des cibles présentes dans la colonne d'eau (biologiques, dégagements gazeux...). Cette potentialité est de plus en plus recherchée aujourd'hui.

SMF et topographie du fond (Cuvelier et al., 2012)

Les cartes bathymétriques sont constituées à partir des ondes directes. La topographie des fonds peut être acquise à très haute résolution lorsque le capteur est proche comme c'est le cas lorsque le capteur est installé sur engin sous-marin par rapport à un navire. Lorsque le sondeur est installé sur un engin sous-marin la résolution des cartes peut aller jusqu'à 25 cm.

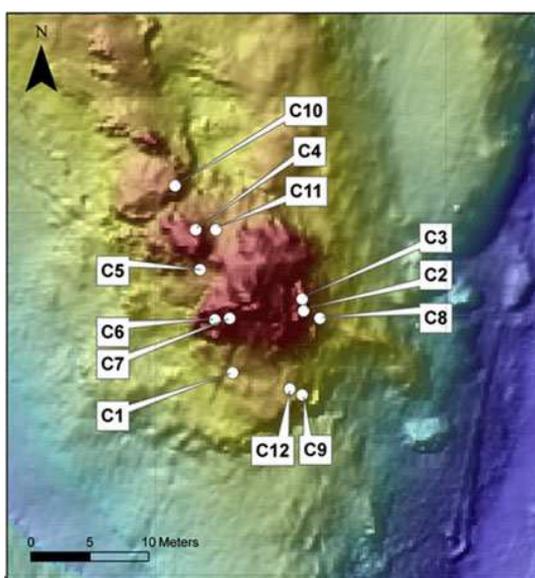


Fig.1 : Carte bathymétrique haute résolution obtenue à partir du sondeur multifaisceaux Seabat 7125 installé sur Victor 6000 (Campagne Momareto 2006) (Cuvelier et al., 2012)

SMF et rétrodiffusion du fond (Micallef et al., 2012)

Les cartes de rétrodiffusion sont constituées à partir de l'information d'intensité des échos des signaux sonar qui dépend des propriétés physiques du fond. Ces informations acoustiques sont interprétées en termes de "dureté" mécanique (coefficient de réflexion acoustique) et de "rugosité" de l'interface (coefficient de diffusion). Un fond dur et rugueux produira des échos forts. Inversement, un fond lisse et meuble produira des échos faibles. Le microrelief d'interface augmente l'intensité de la rétrodiffusion.

Pour segmenter les mosaïques acoustiques en régions de rétrodiffusion similaire, la plupart des études étaient basées sur l'interprétation humaine, mais des méthodes automatiques de segmentation basées sur l'analyse du signal sont maintenant couramment utilisées (Fig. 2).

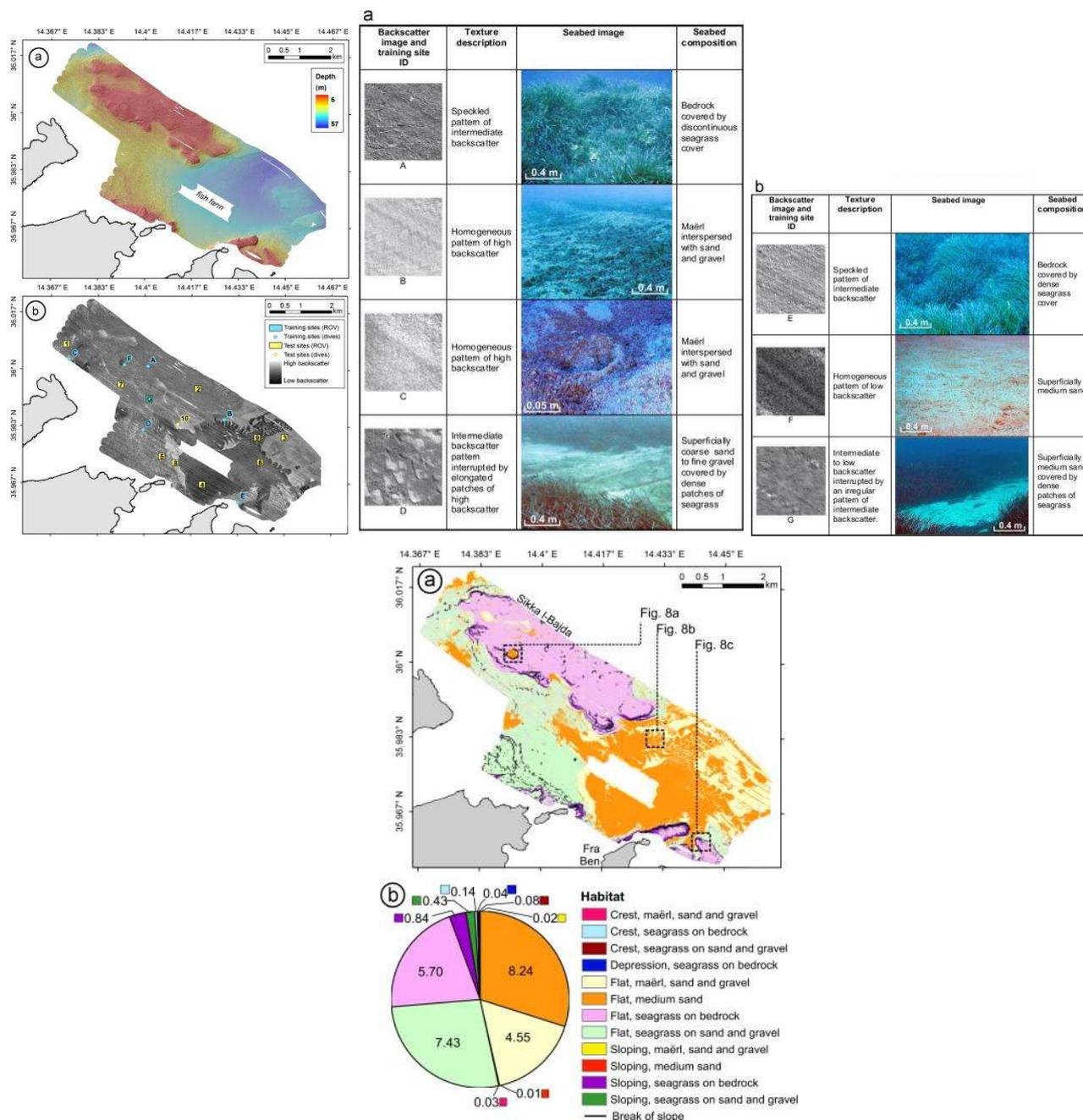


Fig. 2 : Une méthode de classification du signal basée sur les images rétrodiffusées d'un sondeur multifaisceaux (Kongsberg-Simrad EM-3002D, 300 kHz à 6 nœuds) (R/V Hercules, Malte) a permis de cartographier les habitats en utilisant des images optiques comme validation terrain. Figure extraite de Micallef, et al, 2012.

SMF et topographie de parois verticales (Huvenne et al., 2011)

Un sondeur multifaisceaux installé en position horizontale permet d'obtenir une représentation du relief sur une paroi verticale.

Au Nord du Golfe de Gascogne, dans le canyon Whittard, une falaise de 120 m de haut, avec un surplomb d'environ 20 m et recouverte de coraux, a été découverte et cartographiée à l'aide du ROV Isis. Le sondeur multifaisceaux a été configuré dans une position de « vision » vers l'avant (à la place de l'habituelle position vers le bas). La falaise a été cartographiée à 30 m de distance puis à 7 m de distance, ce qui a permis de mettre en évidence les colonies individuelles de coraux, et la couverture par la faune a pu être estimée à 70 % (fig. 3) (Huvenne et al., 2011)

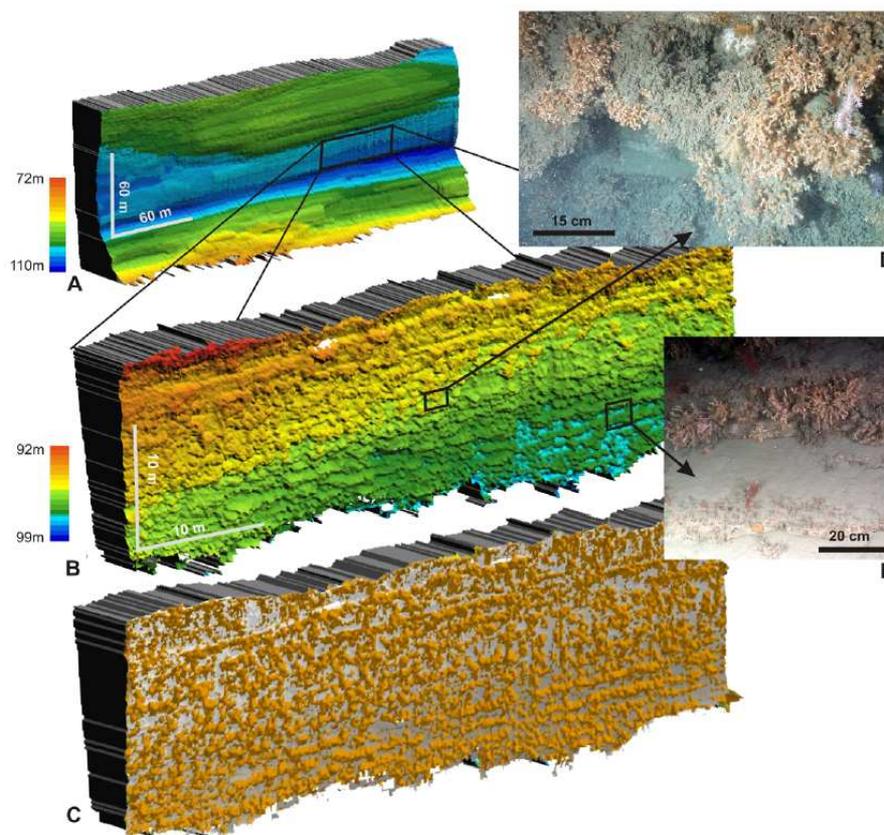


Figure 3 : Morphologie et photographies des communautés de coraux d'eau froide dans le canyon Whittard. A. Morphologie de la falaise cartographiée à 30 m de distance, taille du pixel 0.5m. L'échelle de couleur indique la distance par rapport à un plan vertical arbitraire et quasi-parallèle à la falaise et au transect du ROV. B. Morphologie de la falaise cartographiée à 7m de distance, taille du pixel 0.1m. Les lignes subhorizontales correspondent à l'alignement des colonies de coraux sur des strates rocheuses saillantes. C. Transformation top-hat de la carte précédente, qui indique une couverture corallienne d'environ 70%, en orange. D. Grandes colonies de *Lophelia* (jusqu'à 50 cm de diamètre). E. Illustration de la préférence des coraux pour des strates et des rebords spécifiques. Figure extraite de (Huvenne et al., 2011)

SMF et détection de bulles de gaz dans la colonne d'eau (Dupre et al., In preparation)

Les sondeurs multifaisceaux de nouvelle génération permettent d'enregistrer les signaux (réfléchis) le long du trajet de l'onde émise jusqu'au fond, pour chacun des faisceaux. Ces données permettent de visualiser en particulier les bulles de gaz qui renvoient des échos très intenses. En mer de Marmara, des bulles de gaz ont été détectées à l'aide du sondeur multifaisceaux du *Suroit* (Kongsberg EM 302) (Fig. 4) (Dupre et al., In preparation).

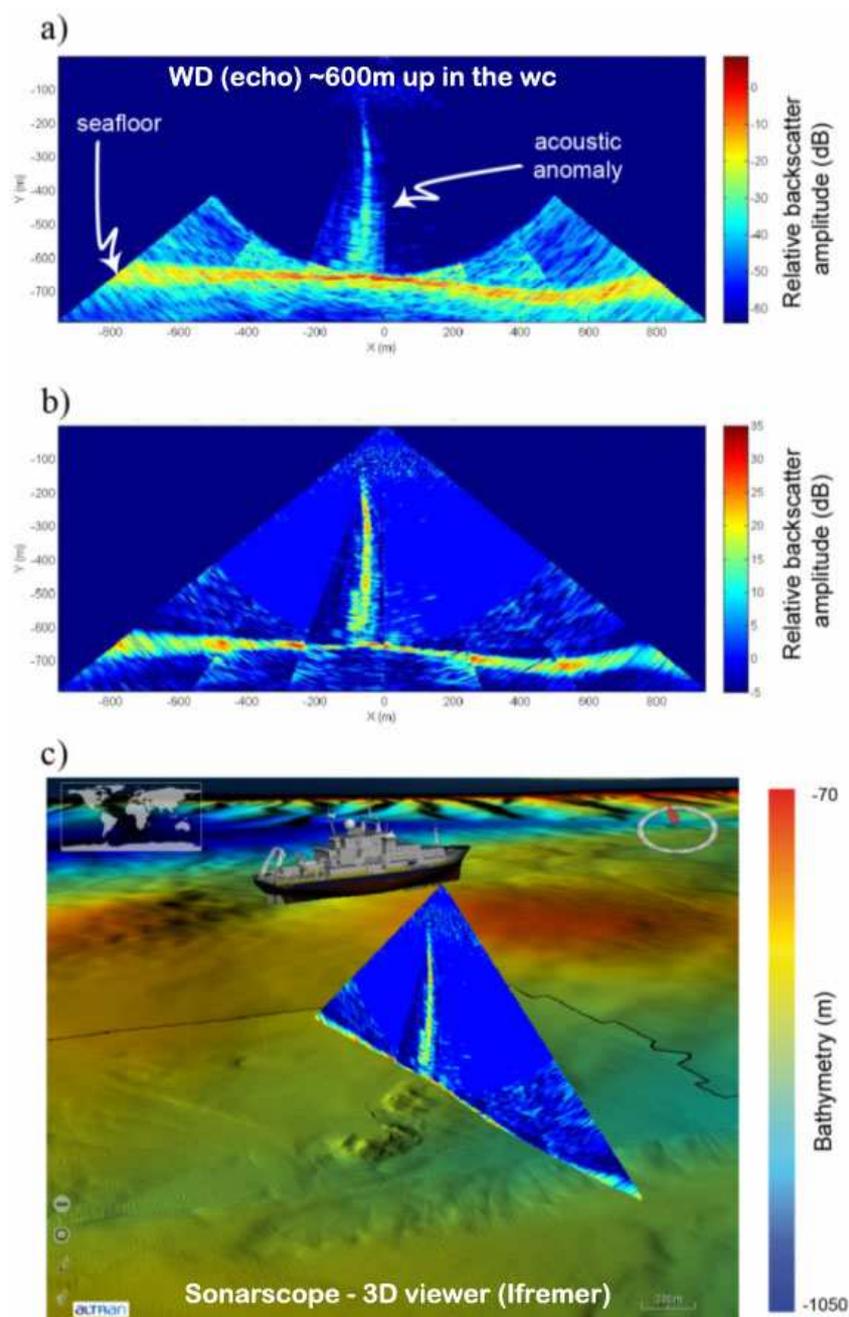


Fig. 4 . . a) b) Echogrammes polaires a) brut et b) traité issus du sondeur coque multifaisceaux EM 302 (*Le Suroit*, campagne Marmesonet 2009) montrant des bulles de gaz s'échappant du fond de mer (Sonarscope © Ifremer).
c) Vue 3D (Sonarscope 3DViewer © Ifremer) sur fond bathymétrique de cet échogramme polaire traité et géoréférencé. N/O L'Atalante non à l'échelle (courtesy of Altran) (Dupre et al., In preparation).

4.3. Les engins tractés : sonars à balayage latéral ou sidescan sonars (SSS) ou Interféromètres

Un sonar latéral a pour fonction de constituer des images acoustiques détaillées des fonds marins. Un faisceau sonore étroit est émis avec une incidence rasante, et intercepte le fond selon une fine bande s'évasant avec la distance. L'écho recueilli au cours du temps est une représentation de la réflectivité du fond le long de la fauchée, et surtout de la présence d'irrégularité ou de petits obstacles qui sont "vus" par le signal très résolvant. Ce signal, enregistré latéralement à la direction d'avancée du sonar est juxtaposé aux signaux successifs déjà obtenus par le sonar pendant son avancée, constituant ainsi, ligne après ligne, une véritable "image acoustique du fond" (fig. 5).

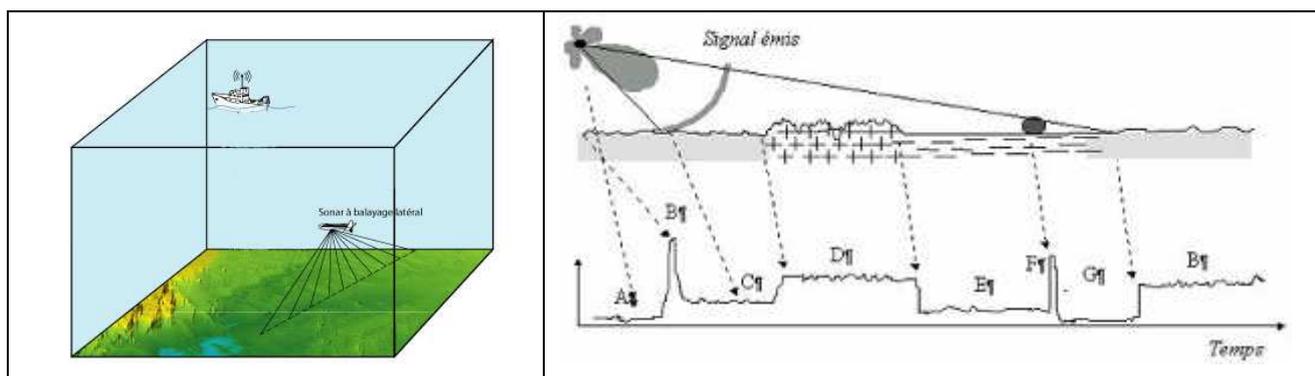


Fig. 5 : Mise en œuvre d'un sonar latéral et fonctionnement - A: bruit et réverbération dans l'eau- B: premier écho de fond- C: zone de sable- D: roche- E: vase- F: écho de cible- G: ombre portée par la cible (X. Lurton, www.ifremer.fr)

Le sonar latéral balaye le fond à une fréquence comprise entre 100 kHz et plusieurs centaines de kHz. La résolution est de quelques centimètres et la portée de quelques centaines de mètres. Certains sonars latéraux opèrent à moins de 100 kHz : EdgTech DTS-1 à 75 kHz, MAK1 et OreTech à 30 kHz (Zitter et al., 2005).

Les données acoustiques du sonar à balayage latéral sont les images sonar ou sonogrammes, généralement représentées en niveau de gris. Elles indiquent la répartition des différents types de sédiments superficiels et des fonds rocheux ainsi que leur morphologie détaillée :

- Un fond dur et rugueux produira des échos forts. Inversement, un fond lisse et meuble produira des échos faibles;
- les reliefs les plus importants produisent des zones d'ombres d'autant plus larges que le faisceau est rasant. Une obstruction (ou un obstacle) est en général identifiée grâce à son "ombre".

Sur ces images acoustiques (sonogrammes), les types de fonds, les zones de roches ou des biocénoses spécifiques (maërl, moulières, crépidules, lanices, herbiers...) sont différenciés et délimités avec précision. En effet, en fonction de la densité des individus sur le fond, les propriétés acoustiques du substrat sont modifiées et ces biocénoses ont des réflectivités différenciables par le sonar. Son principe repose donc sur une signature acoustique propre à chaque type de substrat (morphologie et composition granulométrique du fond). L'utilisation de ce système pour la cartographie des habitats nécessite des levés acoustiques complémentaires ainsi que des prélèvements sédimentaires et des enregistrements par caméra vidéo pour aider à l'interprétation des données. Des classifications automatiques et semi-automatiques existent.

SSS et interprétations des habitats (Vertino et al., 2010)

La combinaison de l'imagerie acoustique du fond à l'analyse de vidéos et de prélèvements est une procédure très efficace pour détecter et étudier les monts et les bancs présentant des coraux profonds, par exemple au sud de l'Italie sur Santa Maria di Leuca. Les vidéos et les échantillons ont été utilisés pour interpréter les mosaïques à haute résolution du sonar à balayage latéral (fig. 6). Le sonar à balayage latéral a permis de traiter une surface complète de 1300 x 1300 m.

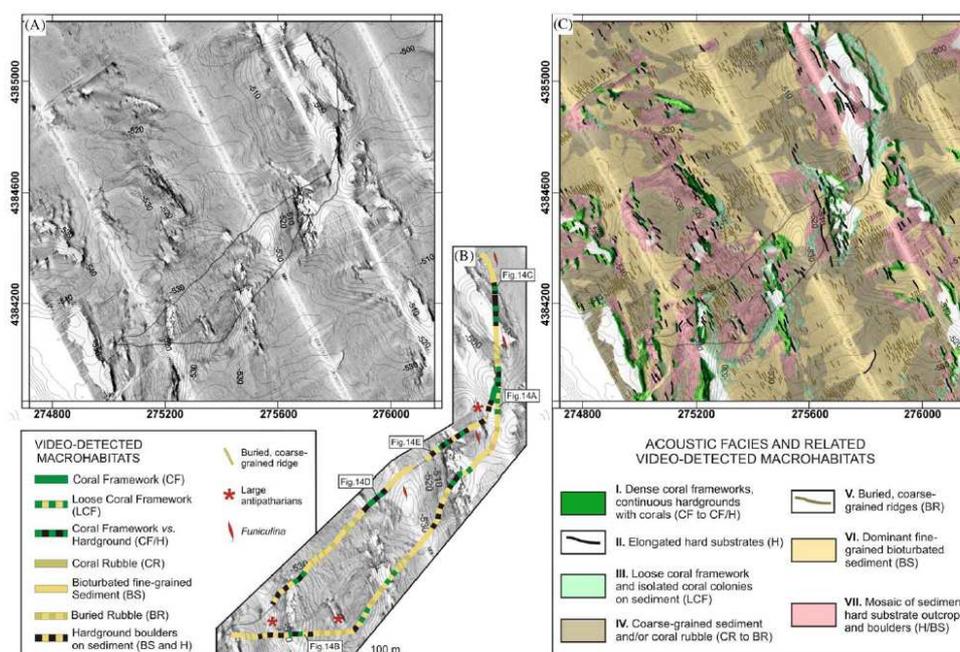


Figure 6 : Site MS06- Santa Maria di Leuca (a) Mosaïque du sonar à balayage latéral et transect vidéo superposés sur les contours bathymétriques. (b) Détail de (a) : Macrohabitats détectés grâce à la vidéo le long du transect. (c) Interprétation des faciès acoustiques. Figure extraite de Vertino et al., 2010.

SSS et impact de chalutage (Roberts et al., 2006)

Le sonar à balayage latéral permet de visualiser les traces de chalutage et même parfois les impacts induits, notamment sur les coraux d'eau froide en Atlantique comme sur la figure 7 (Roberts et al., 2006).

--> Un sondeur multifaisceaux aurait permis d'obtenir la même information avec l'imagerie acoustique, avec en plus l'information sur la bathymétrie.

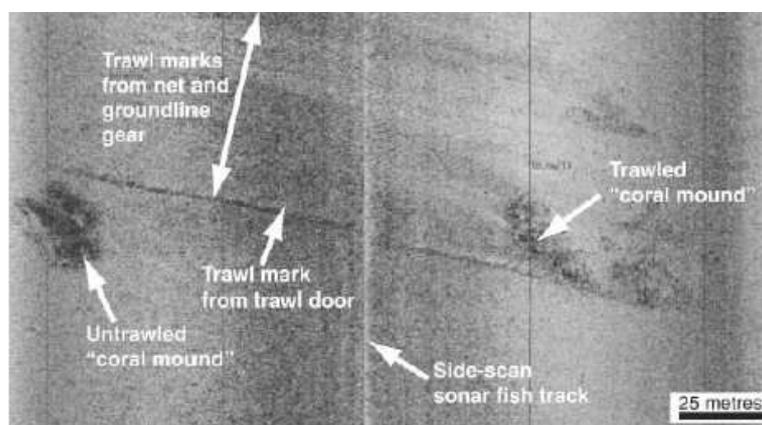


Figure 7 : Image du sonar à balayage latéral montrant les dommages du chalutage sur le Mont Darwin à 1000m de profondeur dans l'Atlantique Nord-Est. La réduction de la réflectivité pour le mont endommagé (zones plus claires) par le chalutage suggère clairement une diminution d'abondance des coraux. Figure extraite de Roberts et al., 2006

SSS et Faciès de volcans de boues ainsi que détection de bulles de gaz (Dupre et al., 2010)

Les images du sonar à balayage latéral (Sidescan sonar) ont permis de décrire différents faciès des volcans de boue (rétrodiffusion du fond) mais aussi de détecter des sorties de gaz (rétrodiffusion dans l'eau) en Méditerranée Orientale (Fig. 8) (Dupre et al., 2010). Les sorties de gaz détectées par le SSS sont celles qui sont relativement proches de l'axe du sondeur (du fait de l'absence de sélectivité angulaire). Le SSS permet de détecter des cibles présentes dans la colonne d'eau (à condition qu'elles soient suffisamment sous le sonar) mais non d'obtenir une géométrie précise ni d'identifier avec certitude la source du pied du panache dans le cas des sorties de fluides, du fait de l'absence de sélectivité angulaire).

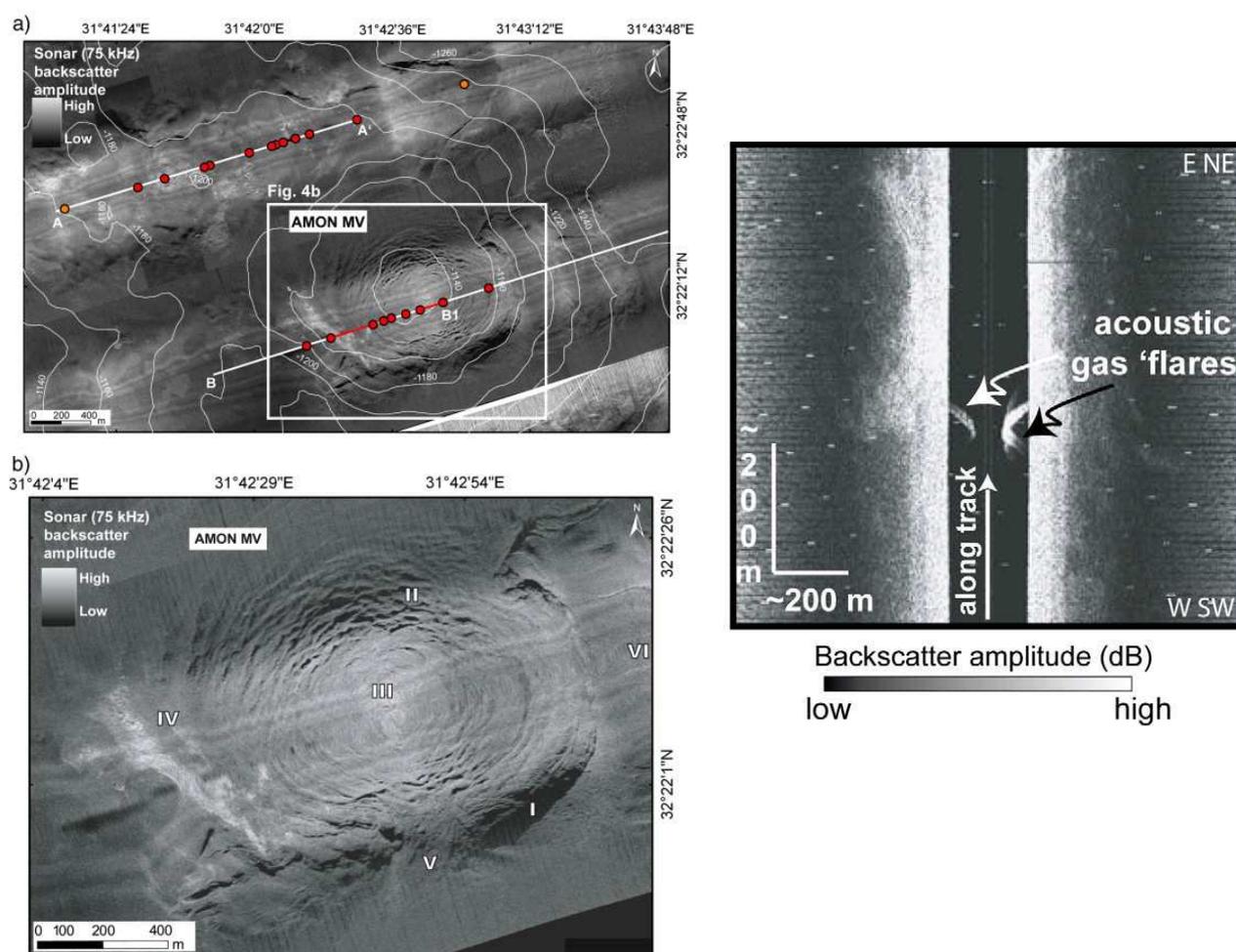


Fig. 8a. Signature géophysique haute résolution du volcan de boue Amon (diamètre ~1100m) à partir de données du sonar latéral acquises pendant la campagne MIMES en 2004 (R/V Pelagia, Sidescan Sonar DTS-1 à 75 kHz). Figure extraite de Dupre et al, 2010.

Fig. 8b : Anomalies acoustiques détectées dans la colonne d'eau par un sonar à balayage latéral (Sidescan sonar), indiquant la présence de bulles de gaz (gas flares). Figure extraite de Dupre et al, 2010.

4.4. Les sondeurs de sédiments

Les sondeurs de sédiments sont des équipements acoustiques utilisés pour visualiser les strates sédimentaires enfouies jusqu'à plusieurs dizaines de mètres de profondeur dans le sédiment. Les sondeurs de sédiments travaillent à des fréquences généralement comprises entre 1.5 et 12 kHz. Les données des sondeurs de sédiments peuvent être utilisées pour réaliser des études qualitatives des structures géologiques et des processus sédimentaires (fig. 9).

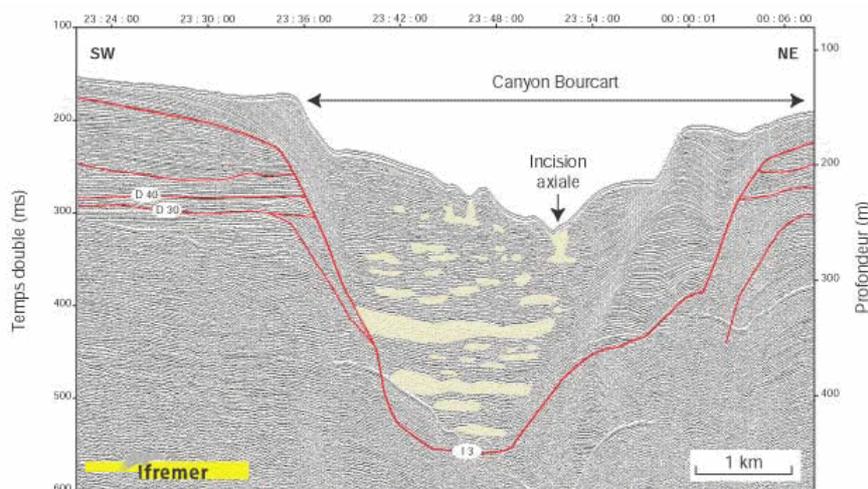


Figure 9. Coupe transversale dans le canyon de Bourcart en Méditerranée occidentale (S. Berne, www.ifremer.fr)

Un sondeur de sédiment a été employé dans le cadre d'une étude visant à caractériser la géomorphologie de la zone de Santa Maria di Leuca en Italie et à interpréter les processus sédimentaires récents et leurs possibles interactions avec la distribution et la croissance des coraux d'eau froide (Savini and Corselli, 2010). 800 km de transect ont été effectués avec le sondeur de sédiments dont la fréquence pouvait varier de 1 à 12 kHz. Les données récoltées, associées aux données haute résolution du sondeur multifaisceaux ont permis de mieux documenter l'importante complexité morphologique de la zone. Des échos de type hyperbolique ont été détectés (fig. 10) et correspondraient en partie aux monts carbonatés qui présentent des colonies vivantes et mortes sur leur sommet d'après les données de vérité terrain (Savini and Corselli, 2010).

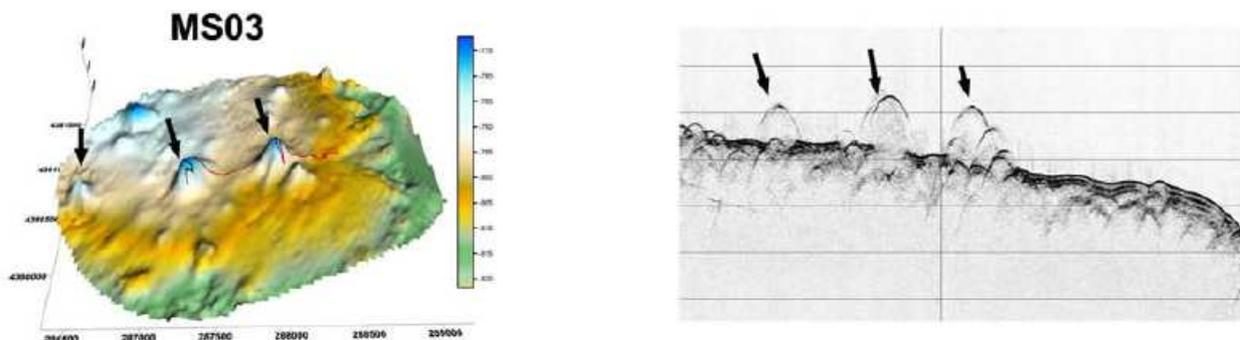


Figure 10 : Exemple de données bathymétriques détaillées et de données obtenues avec le sondeur de sédiment sur les zones où les coraux ont été visuellement détectés. Les flèches indiquent la correspondance entre les données du sondeur multifaisceaux et du sondeur de sédiments aux sites où des colonies mortes et vivantes ont été visuellement détectées.

Sondeur de sédiment sur AUV

Un nouveau sondeur de sédiment a été développé pour les AUV Ifremer en 2007. Il s'agit d'un sondeur basse fréquence ECHOES 5000. Les principales contraintes pour ce nouveau sondeur de sédiment étaient les suivantes :

- Utilisation de signaux basse fréquence pour limiter l'atténuation du signal dans les sédiments (pénétration maximale visée : ~50 m avec une résolution verticale d'environ 25 cm).
- Possibilité de travailler jusqu'à 6000 m de profondeur.
- Faible encombrement et masse.

L'émission est réalisée avec une source acoustique basée sur la technologie Janus-Helmholtz. La bande passante utilisée est 1800-6200 Hz. L'électronique de puissance et l'adaptation d'impédance ont été optimisées pour délivrer un niveau d'émission de 190 dB re 1 μ Pa @1 m, permettant d'atteindre 50 m de pénétration dans des sédiments meubles. La résolution verticale obtenue est inférieure à 20 cm. La réception est réalisée par une antenne de 3 hydrophones. Le système d'acquisition SUBOP est utilisé pour l'acquisition des données.

Ce sondeur de sédiment peut être intégré sur les AUV *AsterX* ou *IdefX* de l'Ifremer. Lors des plongées, la configuration de l'AUV est généralement la suivante :

- Acquisition à altitude constante : 50 m.
- Vitesse de l'AUV : 3-4 nœuds.
- Profondeur d'acquisition : jusqu'à 3000 m.
- Distance parcourue lors d'une plongée : ~50 km.

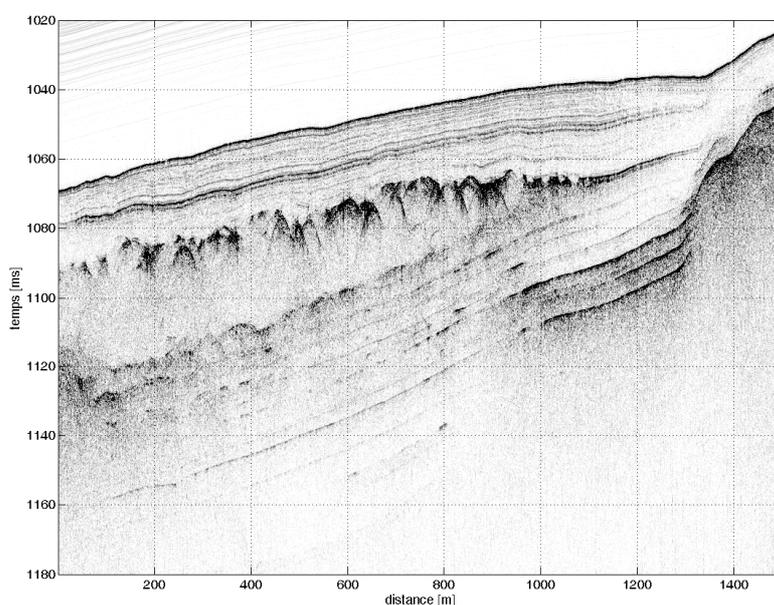


Fig. 11 : Exemple de profil acquis avec le sondeur de sédiment de l'AUV lors de sa 1ère campagne scientifique en 2008 (longueur du profil ~1.5 km, échelle verticale : temps de propagation aller-retour en ms).

4.5. Récapitulatif

L'objet de ce document est de récapituler toutes les fonctions des différents sondeurs acoustiques afin de mieux définir le besoin scientifique de la charge acoustique future du HROV.

Ce document préparait une réunion du groupe de travail scientifique (orienté charge acoustique) au cours de laquelle il a été abordée la diversité d'information acquises par un type de sondeur ou un autre afin de répondre aux différents besoins des différentes communautés scientifiques en fonction de la tranche d'eau accessible par le HROV.

Les tableaux suivants (Tab. I et II) récapitulent l'intérêt qu'apporterait un type de sondeur ou un autre monté sur le H-ROV.

Tableau I : Tableau récapitulatif des avantages et inconvénients de chaque type de sondeur acoustique potentiellement monté sur le HROV.

	Finalités	- Désavantages	+ Intérêt sur le HROV
Sondeur multifaisceaux SMF	<ul style="list-style-type: none"> - Création de cartes bathymétriques - Création de cartes de réflectivité (éventuellement calibrée) - Acquisition des données de la colonne d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> - Doublet avec Victor6000 et AUV3000 - HROV vitesse plus lente que AUV - HROV autonomie plus faible que les deux autres 	Avantages par rapport à AUV: <ul style="list-style-type: none"> - Accès aux zones accidentées - Utilisation avec capteur orienté perpendiculairement à la paroi (topographie) - HROV Vitesse plus rapide que Victor
Sonar à balayage latéral Sidescan Sonar SSS	<ul style="list-style-type: none"> - Image acoustique détaillée des faciès - Acquisition des données de la colonne d'eau proches de l'axe du sondeur 	Actuellement engin tracté SAR (pas possible dans les zones accidentées comme les canyons) <ul style="list-style-type: none"> - fonds relativement plats uniquement (sur engin tracté) 	Sur aucun autre engin Ifremer – d'autres le font. Avantage par rapport à SSS tracté: <ul style="list-style-type: none"> - Accès aux zones accidentées - Meilleure résolution
Sondeur de sédiments	Visualisation des différentes couches sédimentaires	<ul style="list-style-type: none"> - Doublet avec AUV3000 - Profil le long d'un transect (non transversal) - Uniquement pour les fonds sédimentaires 	En complément d'un SMF, pour les substrats meubles

Tableau II : Tableau récapitulatif des sondeurs acoustiques actuellement montés sur les engins Ifremer ou tractés derrière un navire

Vecteur	ROV Victor 6000 Vitesse max = 0.5 nœuds Autonomie = 72h (65 km) Immersion max = 6000 m Nb opérateurs = 10 Navire = hauturier	AUV Vitesse max = 3 nœuds Autonomie = 18h (100km) Immersion max = 2850 m Nb opérateurs =3 Navire = côtiers / hauturiers	SAR Engin tracté par un navire Vitesse max = 2 nœuds Immersion max = 6000 m Navire = hauturier	H-ROV Vitesse max = 1 nœud Autonomie = 10h (18 km) Immersion max = 2500 m / 2000 m Nb opérateurs = 3 Navire = côtiers / hauturiers
	Distance parcourue en 10h = 9 km	Distance parcourue en 10h = 54 km		Distance parcourue en 10h = 18km max!!
				Navigation en zones accidentées
Sondeur multifaisceaux SMF	Modèle: Reson SeaBat 7125 Nb faisceaux : 512 Fréquence : 400 kHz Fauchée : 120° Altitude : de 10 à 50 m	Modèle: Kongsberg EM 2040 256 faisceaux sur-échantillonnés à 400 Fréquence d'utilisation : • 200 kHz (140° de fauchée, faisceaux de 1°), de 80 à 150m d'altitude • 300 kHz (140° de fauchée, faisceaux de 1°), de 30 à 100 m d'altitude • 400 kHz (120° de fauchée, faisceaux de 0.7°), de 10 à 50 m d'altitude		Potentiel 1er choix
Sonar à balayage latéral ou sidescan sonar SSS	-	-	Modèle : Edge-Tech DTS-1 Nb Faisceaux : Fréquence : 75 kHz Fauchée : 70° Altitude : 100 à 200 m	Potentiel 2eme choix
Sondeur de sédiments	-	Modèle: ECHOES 5000 (IXSea) Nb faisceaux : 1 Fauchée : aucune (1 faisceau) Fréquence d'utilisation : 1 à 6 kHz Altitude : 50 à 100m	Modèle : Edge-Tech DTS-1 Nb Faisceaux : 1 Fréquence : 2 à 8 kHz Fauchée : aucune (1 faisceau) Altitude : 100 à 200 m	En complément d'un SMF

Concernant les SSS (Sonars à balayage latéral) :

- A-t-on déjà utilisé un sonar à balayage latéral sur des parois verticales?

Avec les capteurs orientés vers le bas, donc pas de résultats exploitables.
Jamais avec les capteurs orientés perpendiculairement à la parois.

Xavier Lurton : Le SSS ne fonctionne bien que sur des fonds raisonnablement plats (pas de sélectivité angulaire). Dès qu'il y a des reliefs importants et des volumes à explorer, il vaut mieux utiliser une sondeur multifaisceaux.

- A-t-on déjà utilisé un sonar à balayage latéral sur un engin sous-marin?

Pas à l'Ifremer.

Stéphanie Dupré : avec WHOI oui : AUV avec sonar latéral (et caméra optique), pratique le long de parois verticales

- Quel serait l'intérêt d'avoir un sonar à balayage latéral sur le HROV par rapport à le tracter derrière un navire?

Par rapport à un SSS tracté cela permet :

- d'obtenir des données plus fiables (distance par rapport au fond constante) et gain de temps (virages difficiles avec un engin tracté).
- d'aller dans les zones accidentées (en mode ROV), mais attention la donnée n'est exploitable que sur des fonds raisonnablement plats.

Concernant les SMF (Sondeurs Multifaisceaux) :

- Vue la vitesse maximale du HROV et son autonomie réduite, cela vaut-il la peine d'installer un SMF alors qu'il y en a déjà un sur Victor et un sur les AUV? (cf. Tableau II).

Trois avantages :

- Accéder aux zones accidentées (canyons) non accessibles par AUV
- Ne pas mobiliser un navire hauturier pour faire du SMF haute résolution (Victor sur PP? ou L'Atalante)
- Pouvoir installer le capteur perpendiculairement aux parois comme cela a été fait avec le ROV ISIS (Huvette et al., 2011)

La notion de rugosité qui permet de distinguer les faciès/habitats avec le SSS, est-elle prise en compte de la même façon avec un SMF?

Pour travailler sur de la réflectivité quantitative classique, le SMF est un outil mieux adapté
Pour travailler sur de la réflectivité qualitative, le SSS est plus adéquat.

5. Compte-Rendu de la réunion du 13 Février 2014: Quel type de sondeur acoustique pour le HROV?

Liste des participants:

LURTON Xavier, LOUBRIEUR Benoit, SCALABRIN Carla, EHRHOLD Axel, BAJJOUK Touria, ONDREAS Hélène, OLU Karine, RAUGEL Ewen, OPDERBECKE Jan, ALLAIS Anne-Gaëlle, LUCCIONI Marc, DUCHI Christophe, FABRI Marie-Claire

Pour la tranche d'eau 0 à 50m :

La meilleure solution est d'utiliser une charge acoustique installée sur un navire.

Pour la tranche d'eau 50 à 2500m:

- Pour la colonne d'eau le Sondeur Multifaisceaux est le capteur le plus adapté pour identifier les sorties de bulles de gaz.
- Pour les zones accidentées le Sondeur Multifaisceaux est le seul capteur qui pourra fonctionner, le sonar à balayage ne produira que des informations erronées.
- Pour les zones non accidentées, relativement plates, alors il vaut mieux utiliser un AUV car il est plus rapide que le HROV et a une autonomie supérieure. Il vaudrait mieux envisager un sonar à balayage latéral sur un AUV que sur le HROV. Mais un sonar à balayage latéral tracté comme nous disposons à l'Ifremer permet de travailler sur des zones non accidentées.
- Pour les zones sédimentaires, l'utilisation d'un sondeur de sédiment en complément d'un sondeur Multifaisceaux sera le bienvenu.
- Pour les zones rocheuses, celles-ci sont souvent accidentées, donc le Sondeur Multifaisceaux paraît aussi être un meilleur choix pour compléter la bathymétrie dans les zones inaccessibles aux AUV, qui seront des zones dans lesquelles le Sonar à balayage latéral ne donnera pas de bons résultats.

Les Sondeurs Multifaisceaux permettent de réaliser facilement une classification automatique du signal (c'est plus difficile avec un sonar à balayage latéral).

Au final il a été décidé que :

--> la charge acoustique à poste sur le HROV sera un sondeur multifaisceaux

Le SKID acoustique devra toutefois permettre :

- d'intégrer le sondeur de sédiments des AUV3000 comme charge utile sur le HROV afin de pouvoir opérer les deux sondeurs en même temps (SMF et Sond. Sed.) si besoin.
- d'intégrer un sonar à balayage latéral en lieu et place du Sondeur Multifaisceaux, pour répondre à d'éventuelles demandes particulières.

Rappel : le SKID acoustique comprendra aussi une charge optique

6. Références

- Cuvelier, D., de Busserolles, F., Lavaud, R., Floc'h, E., Fabri, M.-C., Sarradin, P.-M., Sarrazin, J., 2012. Biological data extraction from imagery - How far can we go? A case study from the Mid-Atlantic Ridge, *Marine Environmental Research* 82, 15-27, 10.1016/j.marenvres.2012.09.001.
- Dupre, S., Scalabrin, C., Grall, C., Augustin, J.M., Henry, P., Görür, N., Sengör, A.M.C., Cagatay, N., Géli, L., In preparation. Tectonic and sedimentary controls for widespread gas emissions in the Sea of Marmara. Results from systematic, ship-borne multibeam echosounder water column imageries, *Journal of Geophysical Research*.
- Dupre, S., Woodside, J., Klaucke, I., Mascle, J., Foucher, J.-P., 2010. Widespread active seepage activity on the Nile Deep Sea Fan (offshore Egypt) revealed by high-definition geophysical imagery, *Marine Geology* 275, 1-4, 1-19, 10.1016/j.margeo.2010.04.003.
- Huvenne, V.A.I., Tyler, P.A., Masson, D.G., Fisher, E.H., Hauton, C., Huehnerbach, V., Le Bas, T.P., Wolff, G.A., 2011. A Picture on the wall: Innovative mapping reveals cold-water coral refuge in submarine canyon, *Plos One* 6, 12, e28755, e28755 10.1371/journal.pone.0028755.
- Micallef, A., Le Bas, T.P., Huvenne, V.A.I., Blondel, P., Huehnerbach, V., Deidun, A., 2012. A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data, *Continental Shelf Research* 39-40, 14-26, 10.1016/j.csr.2012.03.008.
- Roberts, J.M., Wheeler, A.J., Freiwald, A., 2006. Reefs of the Deep: The Biology and Geology of Cold-Water Coral Ecosystems, *Science* 312, 5773, 543-547, 10.1126/science.1119861.
- Savini, A., Corselli, C., 2010. High-resolution bathymetry and acoustic geophysical data from Santa Maria di Leuca Cold Water Coral province (Northern Ionian Sea—Apulian continental slope), *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 57, 5–6, 326-344.
- Simeoni, P., Sarrazin, J., Nouze, H., Sarradin, P.M., Ondréas, H., Scalabrin, C., Siquin, J.M., 2007. Victor 6000: New High resolution Tools for Deep Sea Research. "Module de Mesures en Route", *Oceans'07 Marine Challenges: Coastlines to Deep Sea*, Scottish Enterprise ed. Scottish Enterprise, Aberdeen, p. 6.
- Vertino, A., Savini, A., Rosso, A., Di Geronimo, I., Mastrototaro, F., Sanfilippo, R., Gay, G., Etiope, G., 2010. Benthic habitat characterization and distribution from two representative sites of the deep-water SML Coral Province (Mediterranean), *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 57, 5–6, 380-396.
- Zitter, T.A.C., Huguen, C., Woodside, J.M., 2005. Geology of mud volcanoes in the eastern Mediterranean from combined sidescan sonar and submersible surveys, *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers* 52, 3, 457-475, 10.1016/j.dsr.2004.10.005.