

Contrôle qualité sismique
Nouveau dispositif de sismique HR 96 traces
SEAL 428 - Flûte "solide"

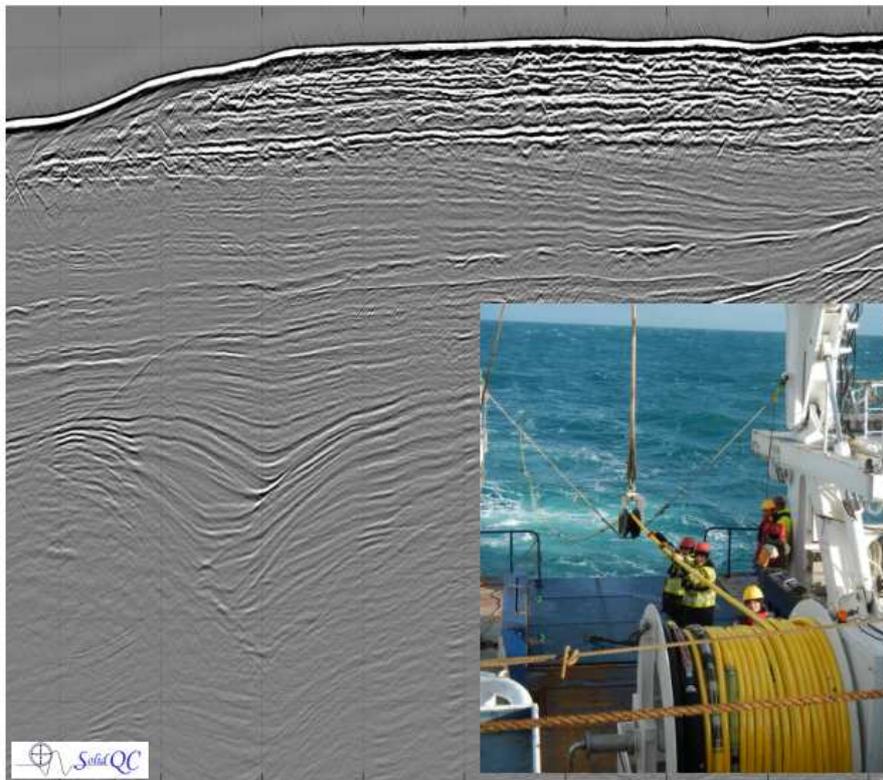
MISSION ESSISM2
31/07/15 - 02/08/15

MISSION GHASS
31/08/15 - 15/09/15

N/O Pourquoi Pas ?
IFREMER - GENAVIR

Octobre 2015

ifremer



Référence : PDG/REM/GM/EIS-14102015-01

<p>Contrôle qualité sismique Nouveau dispositif de sismique HR 96 traces SEAL 428 - Flûte "solide"</p>		
<p>Rédacteur Y. Thomas, IFREMER/REM/GM</p>	<p>Date : Octobre 2015</p>	<p>Projet : A321108 EQUIPEMENTS DE SISMIQUE</p>
<p>Caractère de diffusion</p> <p> <input type="checkbox"/> Confidentiel <input type="checkbox"/> Restreint GM <input type="checkbox"/> Restreint IFREMER <input checked="" type="checkbox"/> Libre </p> <p> Mise sur le Web : <input type="checkbox"/> Intranet <input type="checkbox"/> Internet </p>		
<p>Diffusion</p> <p>IFREMER : A. Pacault, S. Duduyer GENAVIR : J.-C. Guédes, G. Le Beuz</p>		
<p>Copie</p> <p>IFREMER : B. Crénan, P. Dupont, M. Evain, S. Jorry, G. Jouet, S. Ker, F. Klingelhofer, B. Marsset, T. Marsset, V. Riboulot, P. Schnurle, N. Sultan, E. Théreau GENAVIR : H. Lossouarn, S. Louzaouen, J.Y. Tous, P. Viollette</p>		

© Ifremer

Hormis les cas expressément prévus par le Code de la Propriété Intellectuelle au titre de l'article L.122-5 2° d'une part et de l'article L.122-5 3° d'autre part, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite (article L.122-4) » et qu'une telle représentation ou reproduction constitue un délit de contrefaçon sanctionné par deux ans d'emprisonnement et 150 000 euros d'amende. L'Ifremer se réserve le droit à réparation de tout préjudice subi.

© Ifremer

All rights reserved. No part of this work covered by the copyrights herein may be reproduced or copied in any form or by any means – electronic, graphic or mechanical, including photocopying, recording, taping or information and retrieval systems- without written permission.

Sommaire

Résumé	1
1. Dispositif d'acquisition sismique Haute Résolution	2
2. Mission d'essai ESSISM2	5
2.1. Dispositif et nature des essais	5
2.2. Tenue d'immersion.....	7
2.2.1. Configuration HESA 50 m	7
2.2.2. Configuration HESA 10 m	9
2.2.3. Comparaison HESA 50 m <i>versus</i> HESA 10 m	11
2.2.4. Comportement de la flûte entre les contrôleurs d'immersion	13
2.3. Mesures de bruit	15
2.3.1. Bruit moyen	15
2.3.2. Pics de bruit	19
2.4. Exemples de profils	23
3. Mission scientifique GHASS	27
3.1. Dispositif et nature des mesures	27
3.2. Qualité des données HR	28
3.2.1. Positionnement	28
3.2.2. Equilibrage de la flûte	28
3.2.3. Niveau de bruit	32
4. Bilan	35
Annexe - Note concernant l'équilibrage des sections sismiques	38

Résumé

Le nouveau dispositif de sismique Haute Résolution a été opéré pour la première fois sur une mission scientifique lors de la campagne IFREMER-GM GHASS en septembre 2015. L'ensemble de l'électronique d'acquisition SERCEL et la flûte ont été renouvelés. La technologie flûte "fluide" devenue obsolète a été remplacée par la technologie "solide", moins sensible à l'état de la mer. Le nombre de traces sismiques est passé de 72 à 96 traces. Les essais de la mission ESSISM2 (début août 2015) et la mission scientifique GHASS sur le N/O *Pourquoi Pas?* ont permis de valider la qualité des données acquises avec ce nouveau dispositif.

La nouvelle flûte a notamment entraîné un changement de configuration des éléments de tête. Nous sommes passés d'une ancienne configuration "légère", spécifique à la mise en œuvre de la sismique HR, à une configuration plus proche du standard industriel et identique aux autres équipements de sismique surface d'IFREMER. Ce changement a nécessité de tester différentes configurations pour s'assurer de la bonne tenue des consignes d'immersion. Ce point est critique pour la qualité des données sismiques HR. La flûte doit être maintenue à 2-3 m d'immersion, contre 6-10 m pour les équipements standards. Les analyses montrent que la configuration avec une section *Head Elastic Section Adaptor* (HESA) courte et une longueur filée *lead-in* de 30 m permet de tenir les consignes d'immersion pour une vitesse de 5 nds surface : 2 m d'immersion par mer force 0-3, 3 m d'immersion par mer force 4. Cet équilibrage est très sensible aux variations de vitesse surface du navire qui doit être maintenue constante. L'analyse des traces sismiques montre des variations d'immersion entre les contrôleurs d'immersion, notamment aux centres des sections actives, quelle que soit la configuration. La section de tête est la plus affectée. Ces variations d'immersion (écarts de 1 à 2 m par rapport à la consigne) vont plutôt dans le sens d'une remontée vers la surface, ce qui atténue l'impact sur la signature sismique.

Le niveau de bruit moyen mesuré avec la technologie flûte solide est bien inférieur à celui observé dans des conditions similaires avec la technologie fluide. Le gain est surtout notable dans des conditions de mer dégradées : par mer agitée (force 4), le niveau de bruit moyen reste inférieur à 2 μ bar pour une immersion de flûte à 3 m. Dans les mêmes conditions, les données auraient été quasi inexploitable ou tout du moins très fortement dégradées avec l'ancien dispositif. L'analyse des traces sismiques montre la présence de "bursts" (bouffées) de bruit autour des contrôleurs d'immersion, même par des conditions de mer calme. Le pourcentage d'enregistrements affectés reste cependant très limité (inférieur à 0.5 % pour une vitesse de 5 nds). L'ensemble des mesures réalisées montre l'homogénéité des niveaux relatifs d'amplitude et permet d'écarter tout défaut important à la construction des éléments actifs.

Le nouveau dispositif sismique HR a permis l'acquisition de données de très bonne qualité pendant le premier leg de la campagne GHASS, même lorsque les conditions de mer se sont dégradées en toute fin de mission. Il n'en reste pas moins qu'avec ce nouveau dispositif, les conditions de mise en œuvre ont évolué (équilibrage, sensibilité à la vitesse surface). Il est encore nécessaire de gagner en expérience sur le comportement de cette nouvelle flûte dans diverses conditions de mise en œuvre.

Introduction

Dans le cadre du renouvellement en cours des équipements de sismique réflexion surface d'IFREMER-GENAVIR, le nouveau dispositif de sismique Haute Résolution (SEAL428 et flûte solide de SERCEL) a été opéré pour la première fois sur une mission scientifique lors de la campagne IFREMER-GM GHASS en septembre 2015. Le dispositif a été testé au préalable avec succès lors de la mission ESSISM2 en août sur le N/O Pourquoi Pas?. Les conditions de mer rencontrées lors de la première mission d'essai en février sur le N/O *Thalassa* n'avaient pas permis de qualifier la flûte.

L'Equipe Imagerie Sismique de GM apporte son soutien au projet de renouvellement piloté par Anne Pacault de NSE/NE pour les essais en mer et la qualification des données. Ce compte rendu présente l'analyse des données de sismique HR acquises sur le N/O *Pourquoi pas?* pendant les essais et la mission GHASS, notamment le comportement de la flûte en immersion et le niveau de bruit mesuré dans différentes conditions de mise en œuvre. Il présente également quelques profils acquis lors de la mission d'essai ESSISM2 pour illustrer la qualité du nouveau dispositif HR.

1. Dispositif d'acquisition sismique Haute Résolution

L'architecture générale du système d'acquisition n'a pas été modifiée, mais l'ensemble de l'électronique d'acquisition SERCEL et la flûte ont été renouvelés. Le nombre de traces sismiques est passé de 72 à 96 traces, toujours à inter-trace de 6.25 m.

- **Système d'acquisition sismique** : SEAL 428 de SERCEL, standard industriel actuel ;
- **Système ECOS** : système temps réel de déclenchement des enregistrements et de contrôle de navigation, développé par GENAVIR (service SQAE) ;

Du fait du changement de l'horloge de synchronisation GPS imposé par le Seal428, le système ECOS a du également évoluer : synchronisation d'ECOS par la nouvelle horloge (et non plus interrogation de l'horloge pour datation des tirs). Les acquisitions réalisées pendant les essais et la campagne GHASS ont encore montré la robustesse du système ECOS temps réel. Quelques problèmes, sans conséquence, de datation ont été relevés par GENAVIR.

- **Flûte sismique 96 traces**

Le nouveau touret de flûte n'ayant pu être livré dans les temps, la nouvelle flûte est mise en œuvre avec les deux tourets de l'ancien dispositif HR. Ils sont placés sur la plage arrière du N/O *Pourquoi pas?*. Les rechanges sont stockés sur un troisième touret dédié.

Sections actives de type SSRD (*Solid Section Reduced Diameter*) : 150m de long, Ø 55 mm, 24 traces, inter-trace de 6.25 m (4 hydrophones SFH par trace, espacés de 0,78 m) ; sensibilité des traces : 17.5 V/bar ; 12 positions pour bagues d'équilibrage ;

Eléments de la nouvelle flûte solide depuis la tête :

- Lead-in (300 m) + SHS (6 m) + RVIM (17.5 m) + SHS (6 m) + HAU (0.3 m) + HESA (50 ou 10 m) ;
- SSRD1 (150m) + SSRD2 + LAUM (0.3 m) + SSRD3 + SSRD4 ;
- TAPU (0.4 m) + TES (50 m) + Stic (25 m) +Swivel+câble (17 m) + bouée de queue + 50 m de câble + magnétomètre ;

Lead-in : câble électro-optique armé ;

SHS (Short Head Section) : section flexible ;

RVIM (Radial Vibration Isolation Module) : section d'isolation des vibrations du navire ;

HAU (Head Auxiliary Unit) : capteur d'effort de traction et alimentation électrique des 1^{ères} sections ;

HESA (Head Elastic Section Adaptor) : section élastique et d'adaptation connecteurs \varnothing 70 mm / \varnothing 50 mm

LAUM (Line Acquisition Unit Module) : routage des données et alimentation électrique ; capteur de température interne ;

TAPU (Tail Acquisition and Power Unit) : routage des données et alimentation électrique ; alimentation électrique de la bouée de queue (pas utilisée pour la HR, alimentation autonome de la bouée) ;

TES (Tail Elastic Section) : section élastique de queue (isolation des vibrations de la bouée de queue) ;

Bouée de queue : alimentation électrique par batterie rechargée par une hydrolienne ; antenne GPS, système de signalisation (flash, transpondeur radar) ; modem, système VHF de transmission des données GPS et magnétomètre au navire ;

Longueur totale de la flûte tractée derrière le navire de l'ordre de 750-800 m jusqu'à la bouée de queue, plus 50 m de câble magnétomètre.

Positions des bobines de communication des contrôleurs d'immersion sur les éléments de flûte (distance par rapport à la tête de l'élément) :

- SSRD : 24.2 m, 124.2 m ;
- HESA 10 m : 2.5 m, 7.5 m ;
- HESA 50 m : 2.5 m, 47.5 m ;
- TES : 2.5 m, 47.5 m ;

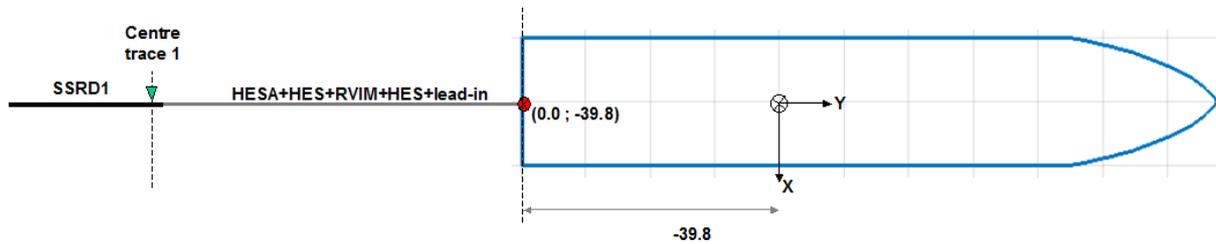
Point "d'ancrage" de la flûte par rapport au point de référence du N/O *Pourquoi pas?*:

(dx ; dy) : (+0 ; -39.8) m ; correspond au centre du tableau arrière où la marque de la longueur filée (20, 30 m, 40 m ,...) de *lead-in* est positionnée ;

Equilibrage de la flûte : voir note en annexe ;

• **Système de contrôleurs d'immersion**

5 contrôleurs d'immersion de type Digicourse 5011 avec compas magnétique intégré ;



Géométrie d'acquisition sismique HR - N/O Pourquoi Pas ?



Tourets HR (ancien dispositif) avec la nouvelle flûte solide sur la plage arrière du N/O *Pourquoi pas?*, mission GHASS ; le touret de rechange est en retrait, sur l'avant du pont

2. Mission d'essai ESSISM2

31/07/15 - 02/08/15, N/O Pourquoi pas?, IFREMER/IMN/NSE/NE, Sarah Duduyet

2.1. Dispositif et nature des essais

La mission s'est déroulée au large de Penmarc'h, en limite de plateau continental par des fonds de 200 à 1700 m. Les essais de sismique HR ont eu lieu le 1^{er} août par des conditions de mer belle à peu agitée (houle < 1 m) très favorables pour l'acquisition sismique Haute Résolution. Ce type d'acquisition nécessite en effet de maintenir la flûte à une immersion maximale de 3 m, pour préserver le contenu fréquentiel émis par les sources HR de type canon à air *mini-GI*.

Les essais de février sur le N/O *Thalassa* (ESSISM1, IFREMER/IMN/NSE/NE, Anne Pacault) avaient permis de valider le bon fonctionnement de l'ensemble des nouveaux équipements, mais n'avaient pas été concluants en terme de maintien de la flûte à bonne immersion. Les conditions de mer n'étaient pas adaptées à des essais HR (houle de 3 à 4 m). Nous ne disposions sur cette première mission que du tronçon élastique de tête (HESA) de 10 m ; cette configuration de flûte est très différente de celle qui était utilisée avec l'ancien équipement sismique HR :

- nouvel équipement HR avec HESA de 10 m : 30-40 m de câble lesté *lead-in*, suivi de 27 m de sections élastiques ;
- ancien équipement HR : 100 m de sections élastiques de tête ;

N'ayant pu valider la configuration HESA 10 m pendant les essais de février, de plus le délai entre la seconde mission d'essai (ESSISM2) et la première mission opérationnelle (GHASS) étant trop court, moins d'un mois, il a été décidé d'approvisionner une section HESA de 50 m. Celle-ci permet de se rapprocher des conditions de mise en œuvre connues avec l'ancien dispositif : 67 m de sections élastiques en tête de flûte.

Les essais HR sur ESSISM2 ont donc permis de tester les deux configurations de tête de flûte (HESA 10 m et HESA 50 m) pour des immersions de 1.5, 2 et 3 m, et des vitesses surface de 4, 5 et 6 nds. Des mesures de bruit et de contrôle d'immersion ont été réalisées systématiquement. Quelques profils ont également été acquis à l'aide d'un canon *mini-GI* 13/13 in³ immergé 2 m sous un ballon.

Configurations de flûte testées :

- tronçon de tête HESA de 50 m, avec une longueur filée de *lead-in* de 0 ou 20 m ; 5 ou 6 contrôleurs d'immersion ;
- tronçon de tête HESA de 10 m, avec une longueur filée de *lead-in* de 20, 30 ou 40 m ; 5 contrôleurs d'immersion ;

Pour rappel, les conditions d'acquisition visées pour la sismique HR sont les suivantes :

- vitesse surface de l'ordre de 5 nds ;
- par mer calme à peu agitée : consigne d'immersion fixée à 2 m ;
- par peu agitée à agitée : consigne d'immersion fixée à 3 m ;

L'ancien dispositif d'acquisition HR était limité à des conditions de mer peu agitée à agitée avec une houle maximale de l'ordre de 1.5 m (fonction également du cap par rapport à la houle). Au-delà, le niveau de bruit devenait trop élevé et les variations d'immersion de la flûte trop importantes. Le dispositif source formé d'une ou deux barres de canons tractées 20 m derrière le navire limite également la mise en œuvre du système HR par mer agitée.

2.2. Tenue d'immersion

2.2.1. Configuration HESA 50 m

Système Digicourse - positions des contrôleurs d'immersion :

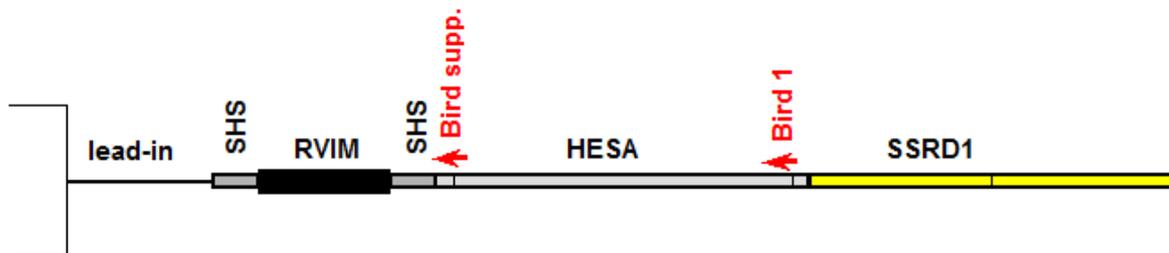
- Bird 1 : queue HESA,
- Bird 2 : tête SSRD2, (traces sismiques 26-27)
- Bird 3 : tête SSRD3, (traces sismiques 50-51) ; *bird avec retriever*
- Bird 4 : tête SSRD4, (traces sismiques 74-75)
- Bird 5 : tête TES

Equilibrage de la flûte : voir note en annexe ;

Les premiers essais réalisés avec une longueur filée de *lead-in* de 0 m (référence tableau arrière) ont montré que la tête de flûte ne parvient pas à maintenir sa consigne d'immersion. L'inclinaison des ailes du premier contrôleur de tête reste bloquée à -15° , valeur maximale.

La longueur filée de *lead-in* a été portée à 20 m pour la suite des essais. Cela n'a pas amélioré le maintien de la tête de flûte, notamment pour les consignes à 2 et 3 m d'immersion, quelle que soit la vitesse de traction.

La longueur filée de *lead-in* n'a pas été augmentée, car avec 20 m nous atteignons déjà une distance tableau arrière - centre de première trace de 100 m. Cela induit un offset minimum source-récepteur de l'ordre de 80 m qui est déjà élevé dans le cas d'acquisition par "petits" fonds (entre 50 et 100 m de bathymétrie).

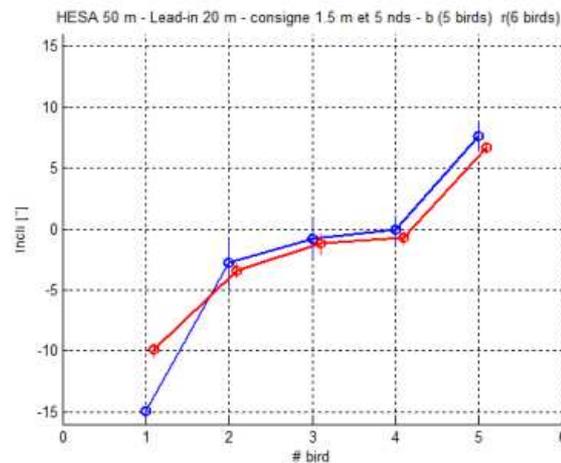
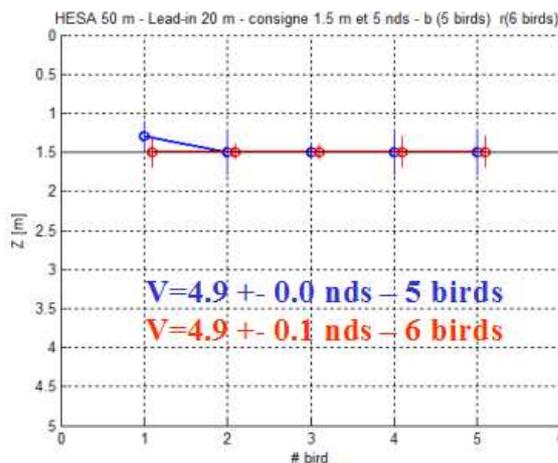
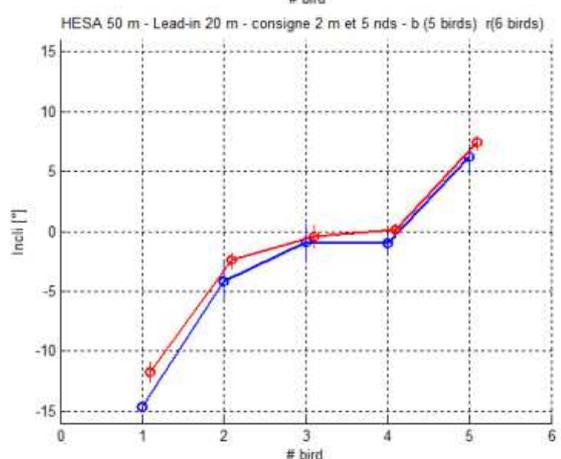
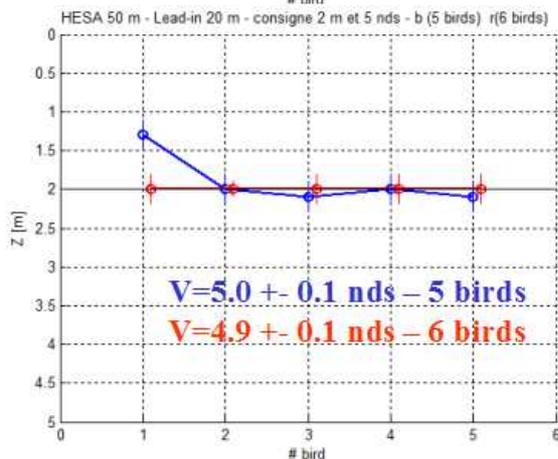
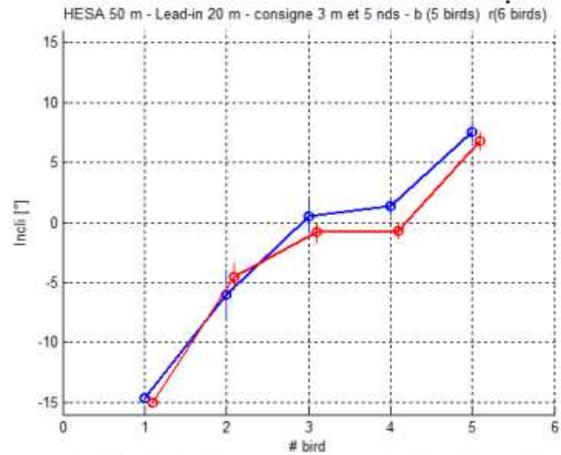
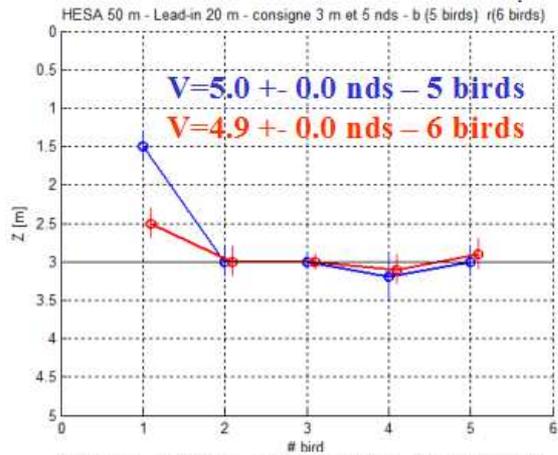


Géométrie de la tête de flûte : 20 m de *lead-in*, 50 m de HESA, premier contrôleur d'immersion (*bird*) en queue de HESA

Un sixième contrôleur d'immersion a été ajouté en tête de HESA, soit 45 m devant le premier contrôleur. Dans cette configuration, la consigne d'immersion est tenue à 1.5 et 2 m, mais toujours pas à 3 m (le premier contrôleur reste à 2.5 m d'immersion), et dans tous les cas le contrôleur en queue de HESA montre une inclinaison élevée de ses ailes (entre -15 et -10°).

L'observation montre un HESA de 50 m trop léger, qui remonte en surface en son centre, même avec un contrôleur d'immersion en tête et en queue de HESA. Il n'est pas prévu de positions pour des lests sur ce tronçon. Dans l'état, cet HESA de 50 m ne permet pas de maintenir les consignes d'immersion.

Des tests réalisés en modifiant la hauteur de la poulie ou sous différents caps n'ont pas montré de différence de comportement.



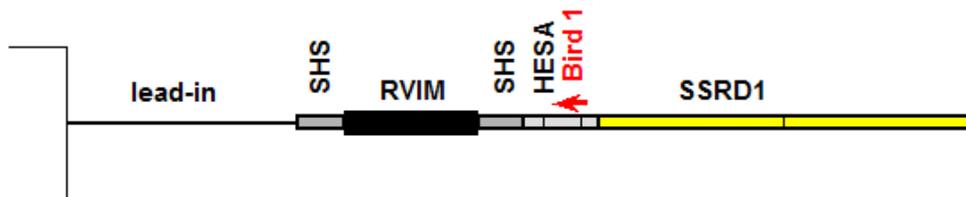
Immersion (graphes de gauche) et inclinaisons (graphes de droite) moyennes des 5 contrôleurs Digicourse pour une vitesse surface de 5 nds et différentes consignes d'immersion (haut : 3 m, milieu : 2 m, bas : 1.5 m). Géométrie : lead-in de 20 m, HESA de 50 m. Courbes bleues : 5 contrôleurs ; courbes rouges : ajout d'un sixième contrôleur (non représenté) devant le premier, en tête de HESA.

Dans tous les cas, le contrôleur de tête montre une forte inclinaison ; il ne parvient jamais à maintenir la consigne, excepté avec l'ajout du 6^{ième} contrôleur pour les consignes 1.5 et 2 m. Conditions de mer belle.

2.2.2. Configuration HESA 10 m

Système Digicourse - positions des contrôleurs d'immersion :

- Bird 1 : queue HESA,
- Bird 2 : tête SSRD2, (traces sismiques 26-27)
- Bird 3 : tête SSRD3, (traces sismiques 50-51) ; *bird avec retriever*
- Bird 4 : tête SSRD4, (traces sismiques 74-75)
- Bird 5 : tête TES



Géométrie de la tête de flûte : 30 m de *lead-in*, 10 m de HESA, premier contrôleur d'immersion (*bird*) en queue de HESA

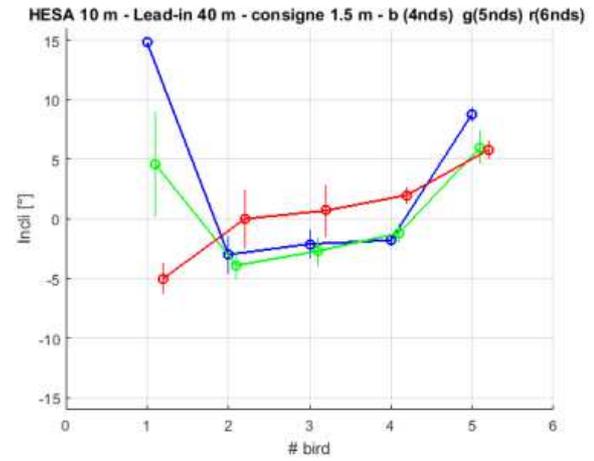
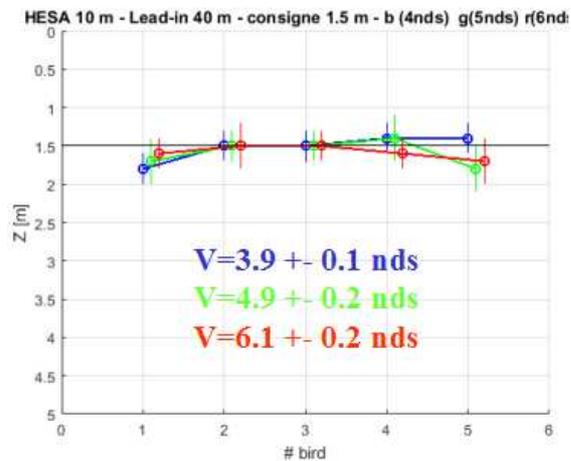
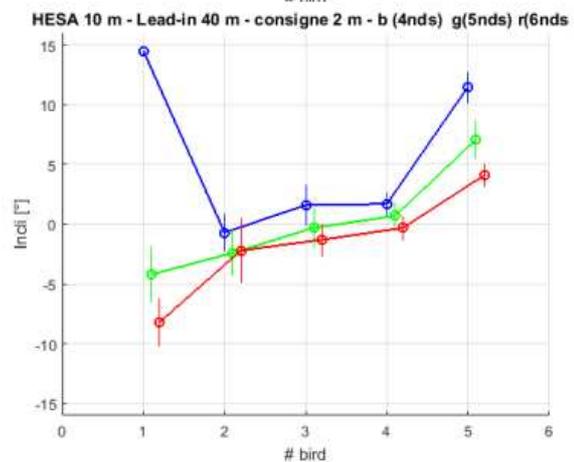
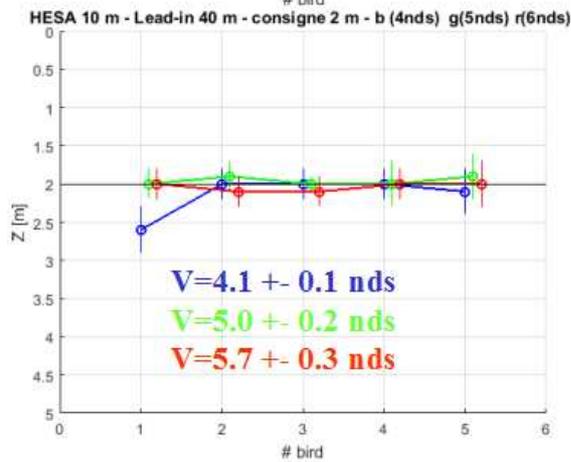
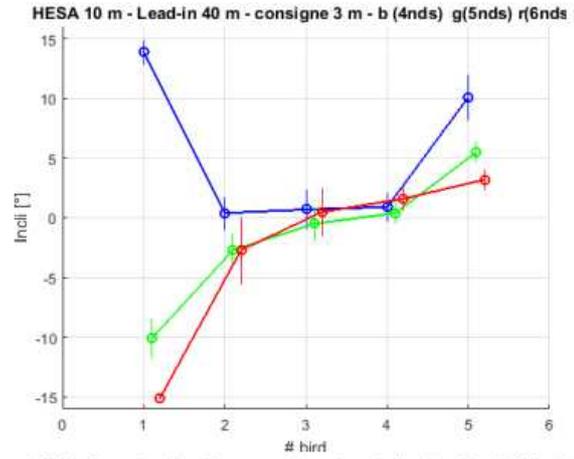
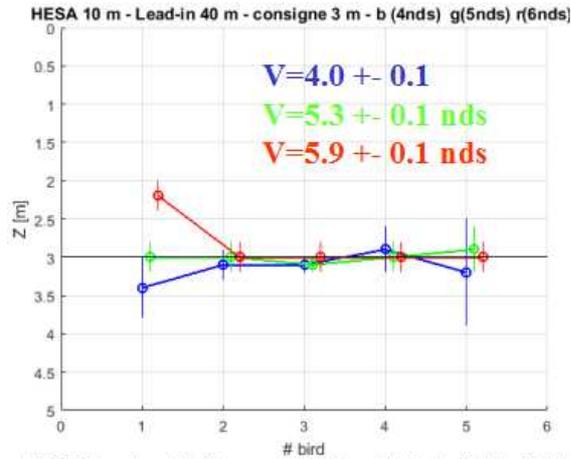
Des essais ont été réalisés pour différentes longueurs filées de *lead-in* : 20, 30 et 40 m.

Les mesures réalisées avec 20 m de *lead-in* montrent une tête de flûte qui ne parvient pas à conserver les consignes d'immersion : tête de flûte trop légère.

Les mesures avec 30 m et 40 m de *lead-in* donnent des résultats très satisfaisants pour une vitesse de 5 nds. Les consignes d'immersion à 1.5, 2 et 3 m sont bien tenues. A 4 nds et 40 m de *lead-in*, la tête de flûte commence à devenir pesante et ne maintient pas la consigne d'immersion ; les immersions sont un peu mieux tenues avec 30 m de *lead-in* à 4 nds.

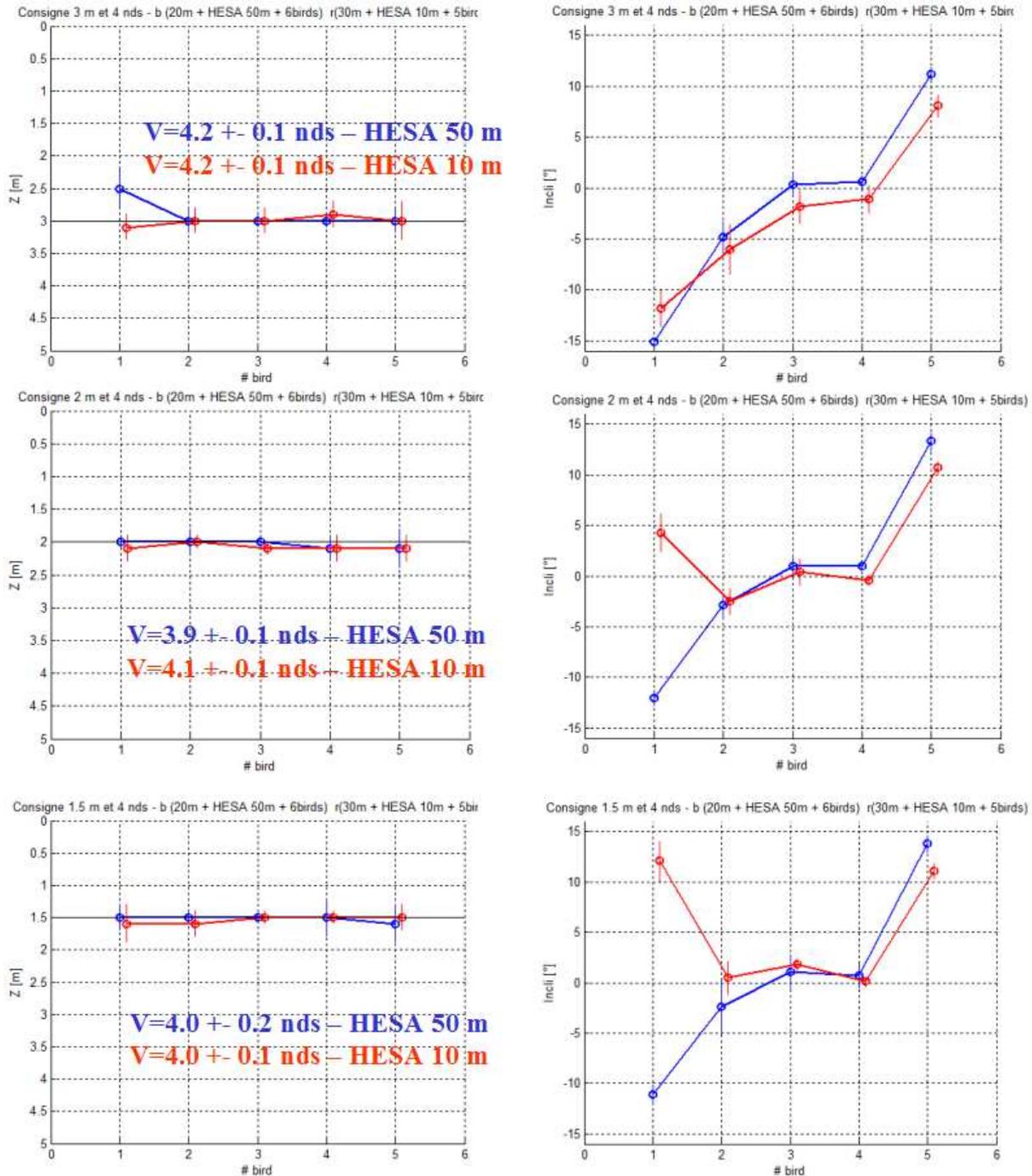
Ces mesures montrent cependant une grande sensibilité à la vitesse surface du comportement de la tête de flûte. Pour une différence de vitesse surface de moins d'un nœud, la tête de flûte peut se retrouver soit "pesante", soit "légère". L'inclinaison des ailes du premier contrôleur peut passer de +15 à -15° en fonction de la vitesse pour une même configuration.

La queue de la flûte apparaît un peu pesante, surtout à 4 nds (angle du dernier contrôleur d'immersion proche de +15°), mais la consigne d'immersion est respectée. Cela est certainement dû au poids du connecteur de queue "tail swivel" (5 kg dans l'eau).

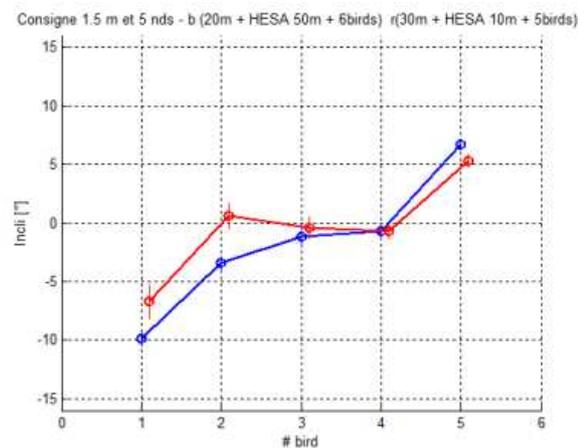
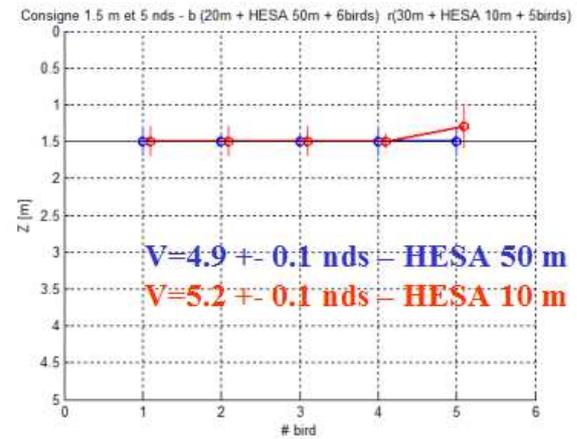
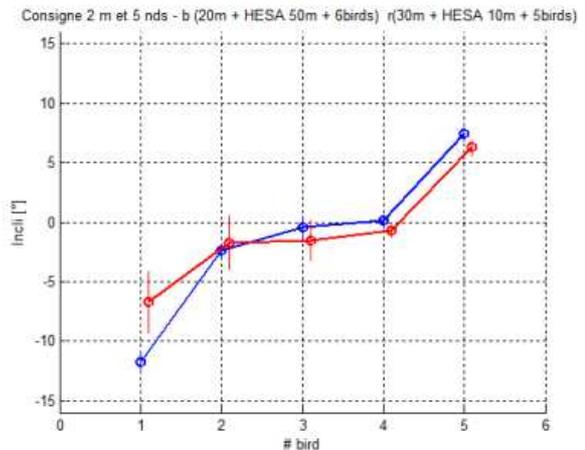
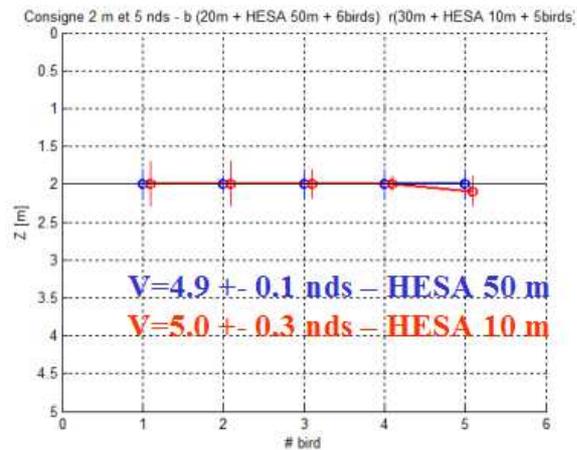
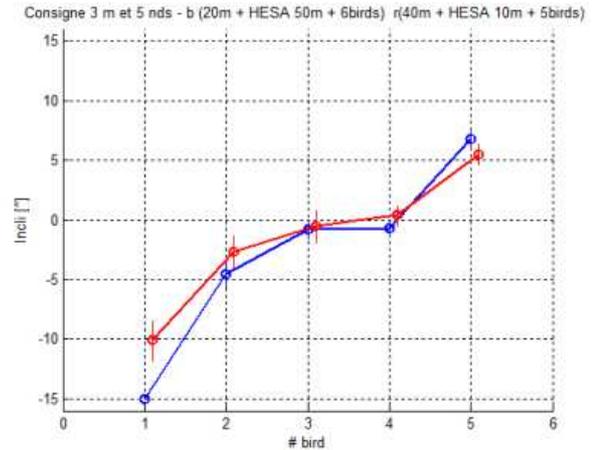
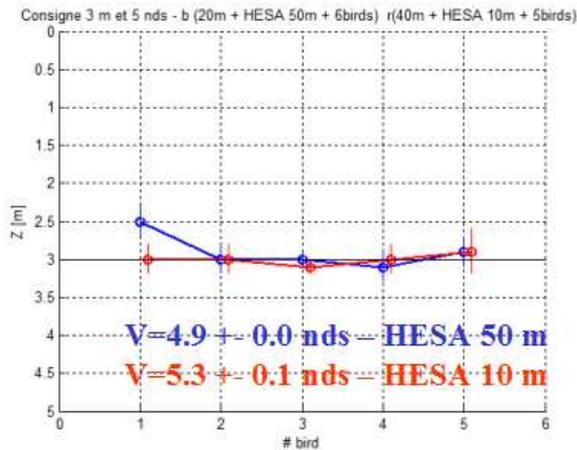


Immersion (graphes de gauche) et inclinaisons (graphes de droite) moyennes des 5 contrôleurs Digicourse pour différentes consignes d'immersion (haut : 3 m, milieu : 2 m, bas : 1.5 m). Géométrie : lead-in de 40 m, HESA de 10 m. Courbes bleues : 4 nds ; courbes vertes : 5 nds ; courbes rouges : 6 nds. Conditions de mer belle.

2.2.3. Comparaison HESA 50 m versus HESA 10 m



Immersion (graphes de gauche) et inclinaisons (graphes de droite) moyennes des 5 contrôleurs Digicourse pour différentes consignes d'immersion (haut : 3 m, milieu : 2 m, bas : 1.5 m), à vitesse surface de l'ordre de **4 nds**. Comparaison pour les configurations de tête de flûte : lead-in de 20 m, HESA de 50 m, 6 contrôleurs (courbes bleues) ; lead-in de 30 m, HESA de 10 m, 5 contrôleurs (courbes rouges)



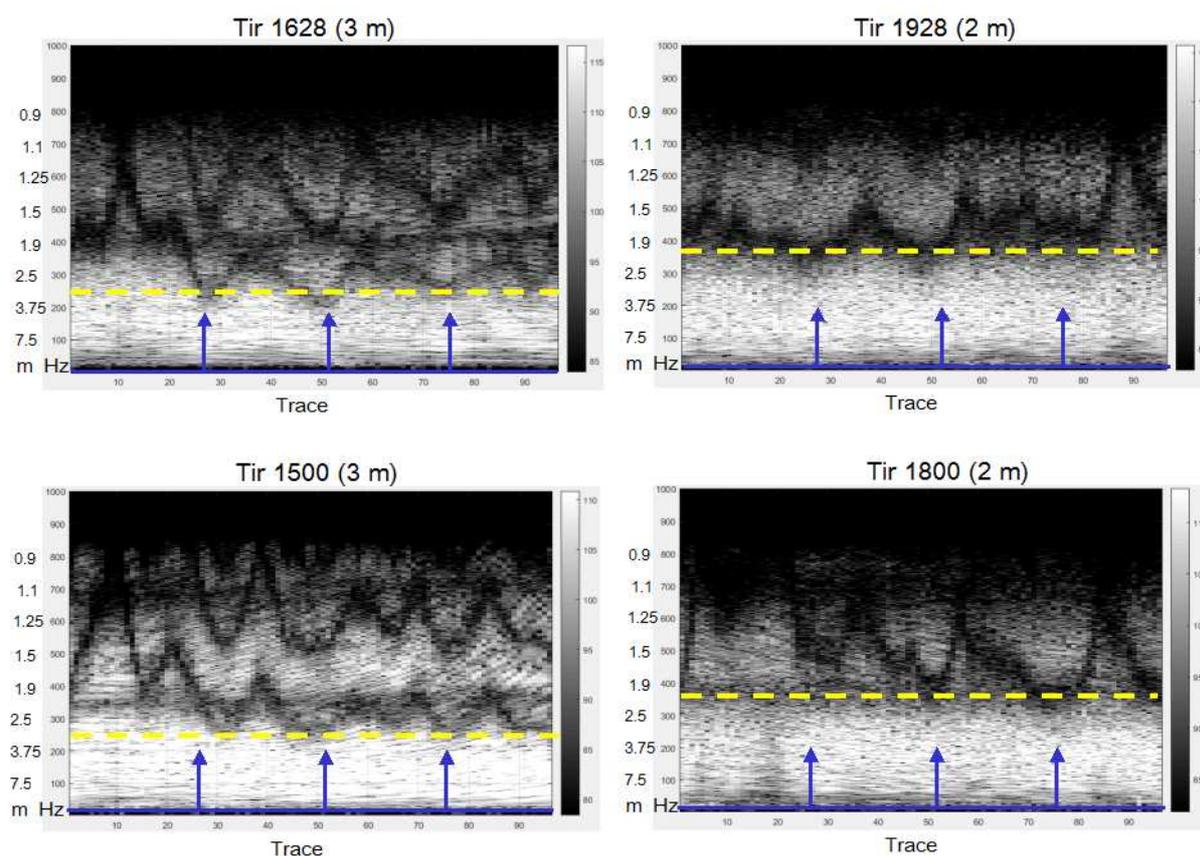
Immersion (graphes de gauche) et inclinaisons (graphes de droite) moyennes des 5 contrôleurs Digicourse pour différentes consignes d'immersion (haut : 3 m, milieu : 2 m, bas : 1.5 m), à vitesse surface de l'ordre de **5 nds**. Comparaison pour les configurations de tête de flûte : lead-in de 20 m, HESA de 50 m, 6 contrôleurs (courbes bleues) ; lead-in de 30 m, HESA de 10 m, 5 contrôleurs (courbes rouges)

2.2.4. Comportement de la flûte entre les contrôleurs d'immersion

Les profils acquis en mettant en œuvre un canon *mini-GI* par des fonds supérieurs à 500 m permettent d'étudier de façon indirecte l'immersion de la flûte pour chaque trace : analyse spectrale des signaux réfléchis et étude de la fréquence d'absorption associée à l'interférence avec le "fantôme" réfléchi surface de la flûte.

- Configuration HESA 50 m, *lead-in* 20 m, 6 contrôleurs, vitesse 5 nds surface

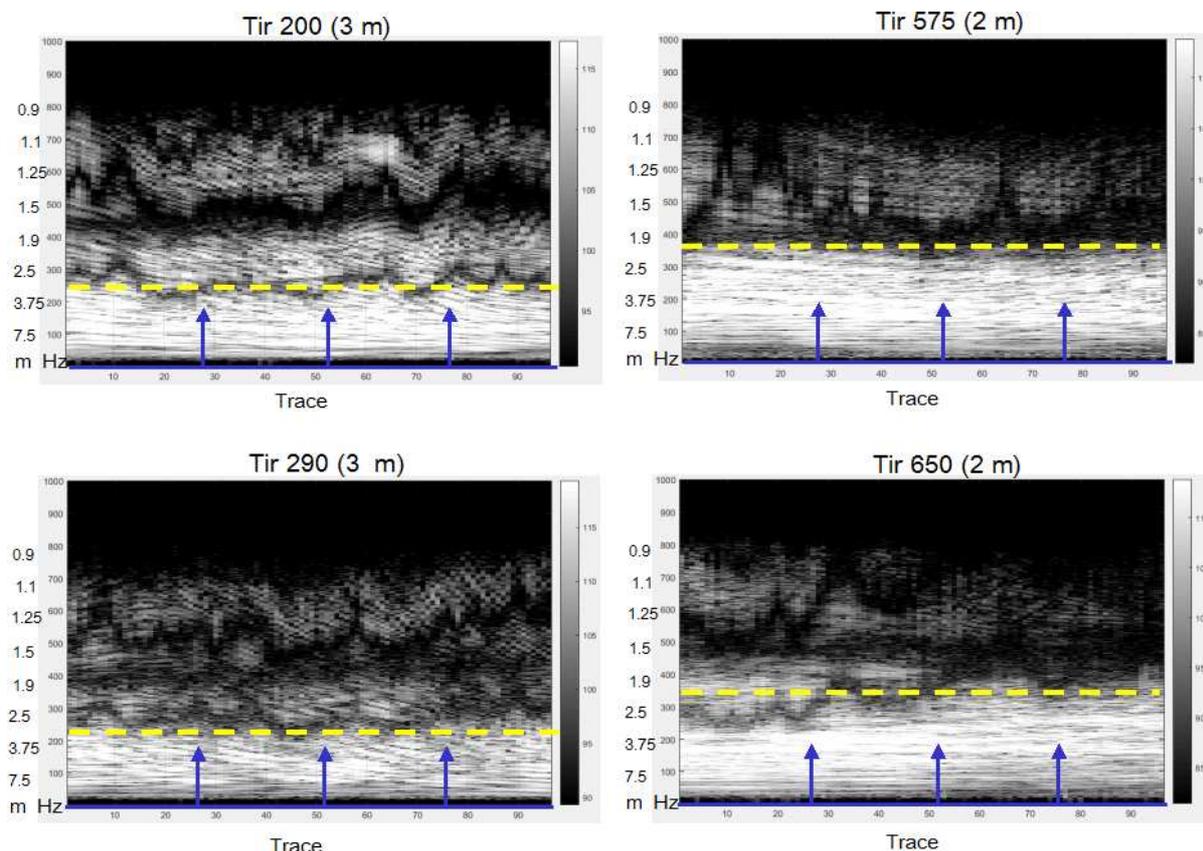
Les analyses montrent des variations d'immersion et une remontée vers la surface des sections actives entre les contrôleurs d'immersion, quelle que soit la consigne d'immersion et par mer calme. Les variations en fonction du temps semblent en partie corrélées aux variations d'immersion observées sur les contrôleurs d'immersion (de l'ordre de ± 0.5 m). La remontée vers la surface est plus prononcée pour le premier tronçon actif, parfois à moins d'un mètre de la surface. Pour les autres tronçons, l'immersion reste supérieure à 1 m pour des consignes à 2 et 3 m. Dans tous les cas, la flûte ne plonge pas plus bas que l'immersion observée au niveau des contrôleurs d'immersion.



Exemples d'analyses spectrales sur points de tir (profil 11, ESSISM2) ; figures de gauche : consigne immersion 3 m ; figures de droite : consigne immersion 2 m ; la ligne pointillée jaune indique la fréquence de coupure théorique associée au fantôme réfléchi surface de la flûte ; les flèches bleues indiquent les positions des contrôleurs d'immersion. L'échelle verticale à gauche indique la correspondance entre la fréquence de coupure ("fantôme" réfléchi surface) et l'immersion de la flûte.

- Configuration HESA 10 m, *lead-in* 40 m, 5 contrôleurs, vitesse 5 nds surface

Les analyses montrent également des variations d'immersion en fonction du temps liées aux variations d'immersion des contrôleurs d'immersion (de l'ordre de ± 0.5 m pour les contrôleurs d'immersion). Les éléments de flûtes paraissent un peu plus stables en immersion que pour la configuration HESA 50 m. Le centre de la première section active montre toujours le plus de variations.



Exemples d'analyses spectrales sur points de tir ; figures de gauche : consigne immersion 3 m (profil 17, ESSISM2) ; figures de droite : consigne immersion 2 m (profil 18, ESSISM2) ; la ligne pointillée jaune indique la fréquence de coupure théorique associée au fantôme réfléchi surface de la flûte ; les flèches bleues indiquent les positions des contrôleurs d'immersion. L'échelle verticale à gauche indique la correspondance entre la fréquence de coupure ("fantôme" réfléchi surface) et l'immersion de la flûte.

Ces résultats restent cependant difficiles à généraliser en analysant seulement quelques profils. Le comportement de la flûte entre les contrôleurs d'immersion est également certainement fonction des conditions d'acquisition : courant, direction par rapport à la houle, qualité de l'équilibrage, ...

2.3. Mesures de bruit

Les mesures de bruits ont été réalisées pour différentes consignes d'immersions, de vitesses surface, et pour les différentes géométries d'acquisition (HESA 10 m / HESA 50 m).

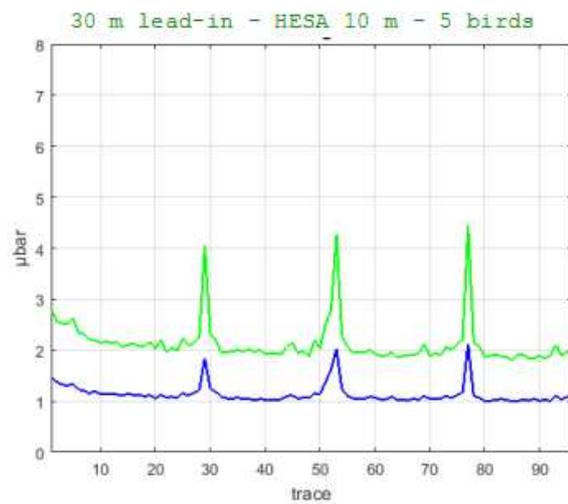
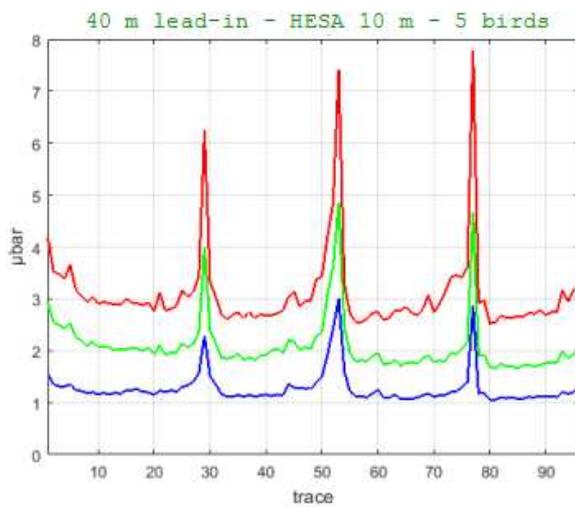
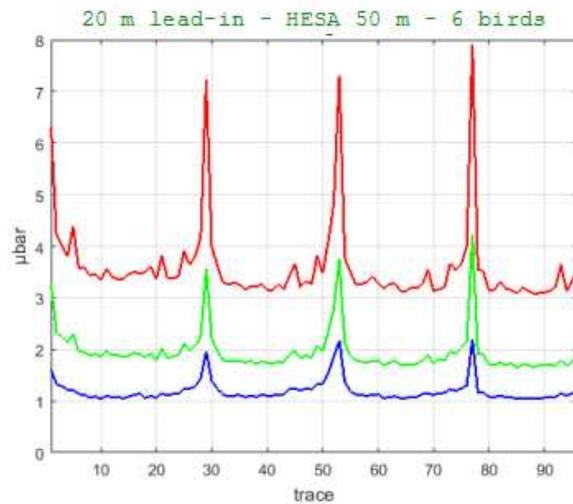
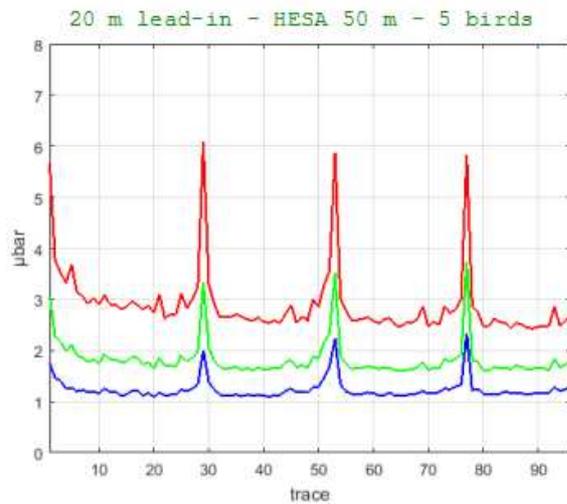
2.3.1. Bruit moyen

Le calcul est réalisé pour les 96 traces, sur une moyenne de 100 tirs, après filtrage passe-bande dans la gamme 15-375 Hz (gamme "standard" utilisée pour la sismique Haute Résolution). Le niveau de bruit en μbar est estimé en prenant la moyenne de l'enveloppe de la trace sur une fenêtre de 1 seconde et avec une sensibilité de trace égale à 17.5 V/bar.

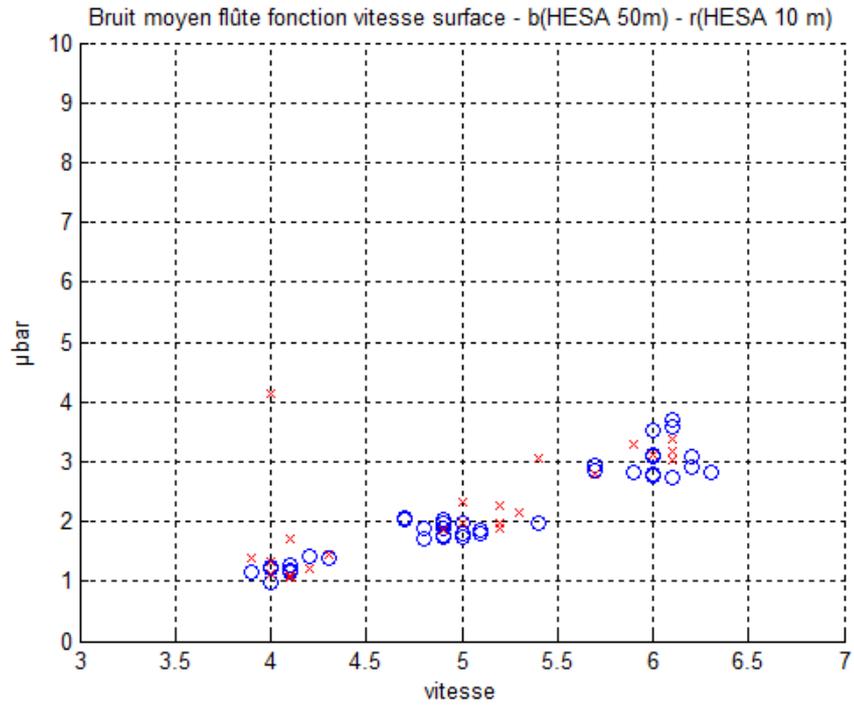
Principaux résultats pour les configurations (*lead-in* 30-40 m + HESA 10 m) et (*lead-in* 20 m + HESA 50 m) :

- absence d'anomalie liée à l'électronique en terme d'amplitudes relatives (sensibilité des traces homogène) ;
- les niveaux de bruit mesurés sont bien inférieurs à ceux observés avec l'ancienne flûte fluide dans des conditions de mise en œuvre identiques. En moyenne, le niveau de bruit est de 2 μbar à 5 nds pendant ces essais dans des conditions de mer calme. Le niveau de bruit observé avec l'ancien dispositif dans des conditions de mer identiques était plutôt de l'ordre de 3-4 μbar ;
- pas de variation notable du niveau de bruit en fonction de l'immersion flûte, du cap, ou de la géométrie de la tête de flûte et donc de la distance au navire comprise entre 60 et 100 m, distance tableau arrière - première trace, dans des conditions de mer favorables ;
- le paramètre principal contrôlant le niveau de bruit est la vitesse surface : en moyenne 1.2 μbar à 4 nds, 2 μbar à 5 nds, 3 μbar à 6 nds ; ce niveau reste très faible ;
- le niveau de bruit moyen augmente au niveau des contrôleurs d'immersion, mais il reste faible. Pour 5 nds, on passe de 2 à 3.5 μbar en configuration HESA 50 m, et de 2 à 4.5 μbar en configuration HESA 10 m. Le bruit moyen au niveau des contrôleurs est légèrement plus élevé en configuration HESA 10 m (voir § concernant l'analyse des "*bursts*" de bruit). Avec l'ancien dispositif HR, le bruit moyen au niveau des contrôleurs d'immersion était de l'ordre de 15 à 20 μbar dans les mêmes conditions d'acquisition ;
- le niveau de bruit augmente très légèrement en tête de flûte (+1 μbar), quand il augmentait franchement avec l'ancien dispositif atteignant 5-10 μbar ;

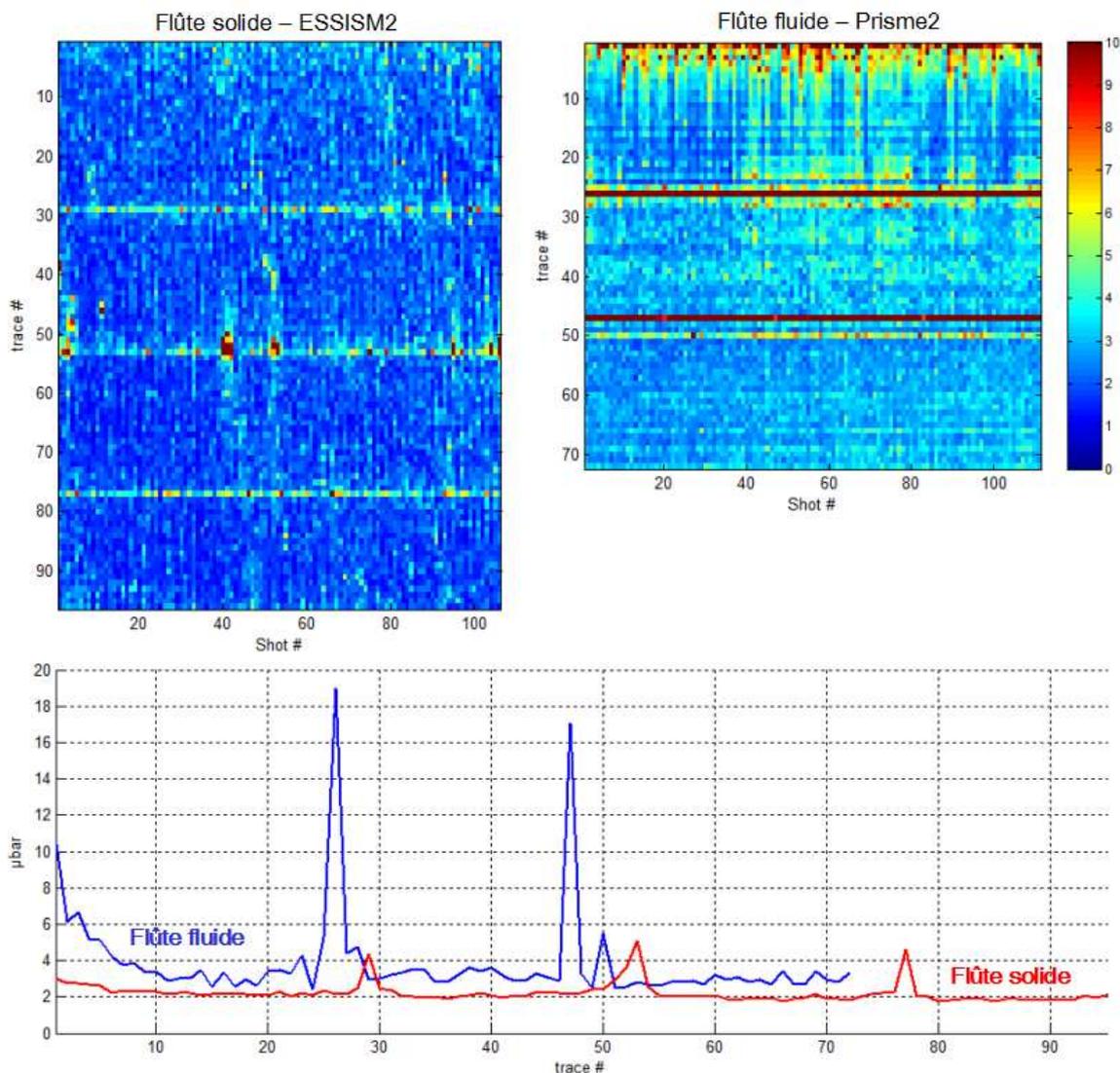
Ces résultats ont été obtenus dans les conditions de mer calme rencontrées pendant les essais.



ESSISM2 - Bruit moyen par trace pour les différentes configurations de géométries et fonction de la vitesse surface ; bleu : 4 nds, vert : 5 nds, rouge : 6 nds. Les valeurs sont moyennées pour l'ensemble des consignes d'immersion (1.5, 2 et 3 m) car nous n'avons pas noté de dépendance avec l'immersion (pour les conditions de mer rencontrées).



ESSISM2 - Bruit moyen sur la flûte (moyenne sur les 96 traces) en fonction de la vitesse surface pour toutes les séquences de mesures (x : configuration HESA 10 m, o : configuration HESA 50 m)



Comparaison de mesures de bruit flûte "solide" / flûte "fluide" :

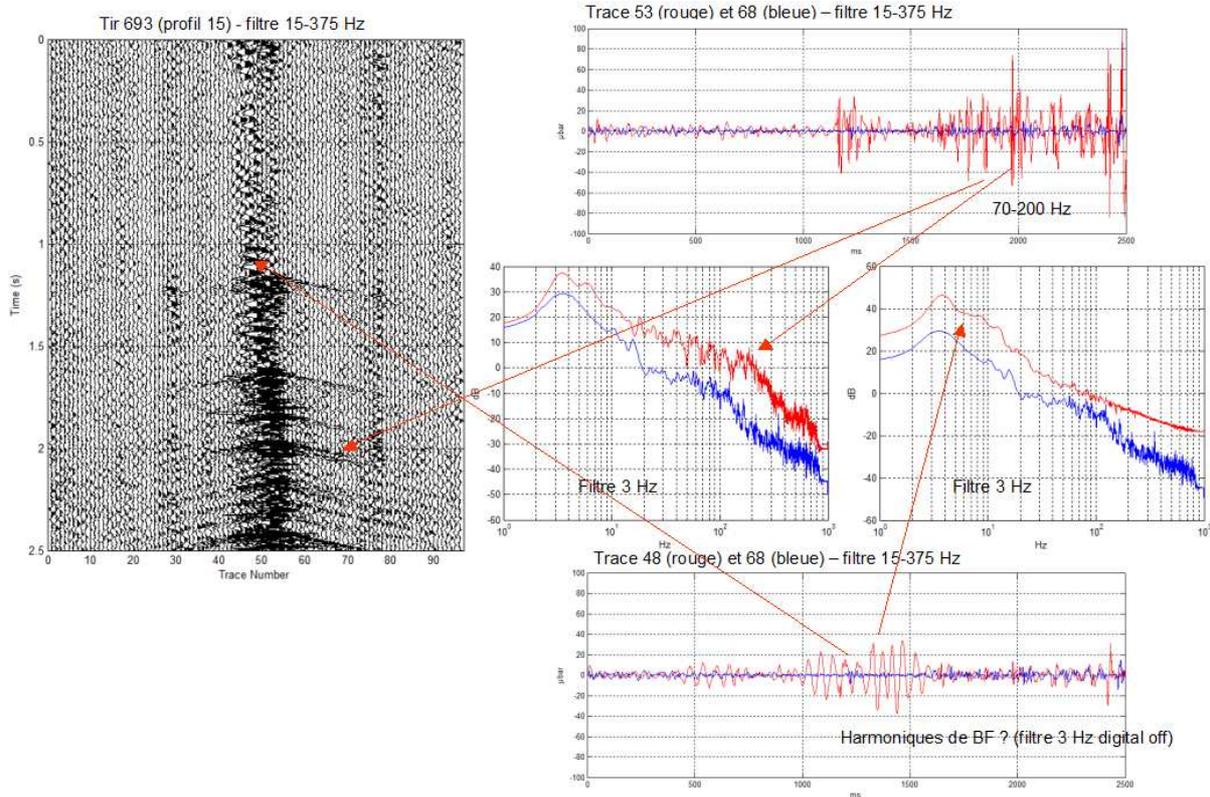
Mission Prisme2 (Est Corse, N/O *L'Atalante*, 2013) : immersion flûte 2 m, vitesse surface 5 nds, flûte fluide de 72 traces (ALS 24 traces @ 6.25 m, sensibilité 15.4 V/bar), 75 m de section élastique (HES) en tête, première trace à 78 m du navire ; mer belle ;

Mission Essism2 (Golfe de Gascogne, N/O *Pourquoi pas?*, 2015) : immersion flûte 2 m, vitesse surface 5 nds, flûte solide de 96 traces (SSRD 24 traces @ 6.25 m, sensibilité 17.5 V/bar), *lead-in* 40 m, HESA 10 m, première trace à 83 m du navire ; mer belle.

2.3.2. Pics de bruit

Les mesures de bruit montrent également des "bouffées" (*bursts*) de relative forte amplitude pour les traces proches des contrôleurs d'immersion, ceci même dans les conditions de mer belle (voir figure précédente par exemple). L'analyse montre que ces *bursts* ont deux composantes :

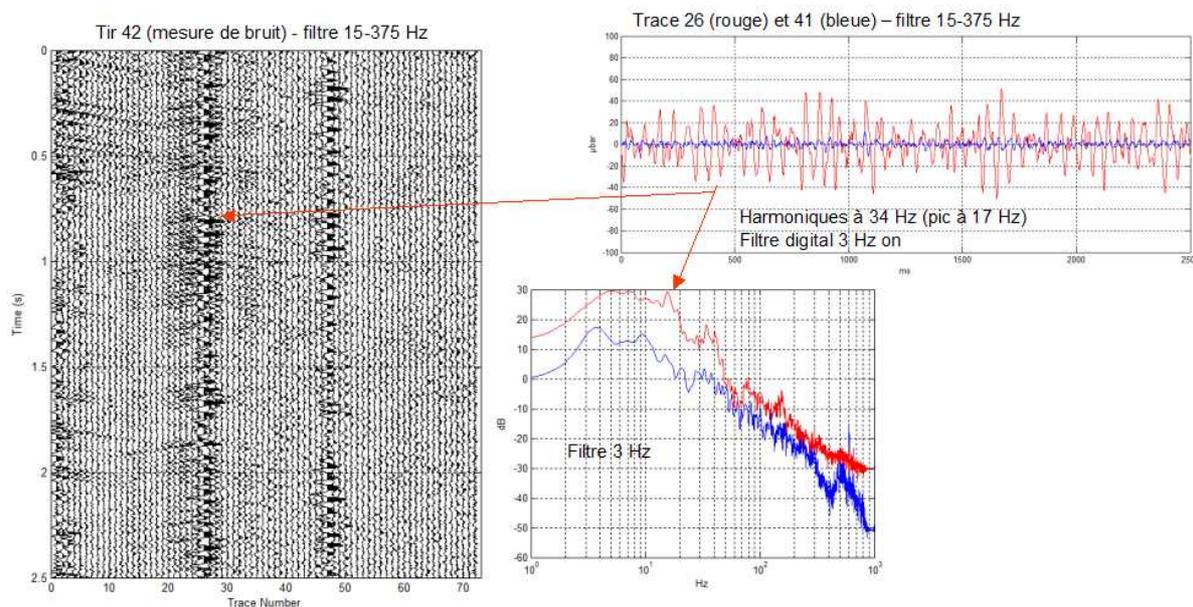
- une première composante relativement basse fréquence ; ce bruit est d'amplitude supérieure à 10 μbar dans la bande 15-375 Hz ; il touche plusieurs traces autour des contrôleurs d'immersion ;
- une seconde composante plus haute fréquence ($\approx 100\text{-}150\text{ Hz}$) de forte amplitude (plusieurs dizaines de μbar), se propageant depuis les contrôleurs d'immersion vers la tête et la queue de la flûte à 1500 m/s ;



Mission Essism2 - Mesure de bruit (profil 15, tir 693) : immersion flûte 2 m, vitesse surface 5 nds, flûte solide (SSRD 24 traces @ 6.25 m, sensibilité 17.5 V/bar), *lead-in* 40 m, HESA 10 m, première trace à 83 m du navire ; mer belle ; filtre digital passe-haut 3 Hz du SEAL 428 non appliqué.

Les mesures de bruit réalisées dans des conditions proches avec la flûte fluide pendant la campagne Prisme2 montrent également ces deux composantes au niveau des contrôleurs d'immersion, avec les différences suivantes :

- bruit de forte amplitude, basse fréquence, systématique (tous les tirs) pour la trace directement sous le contrôleur, mais n'affectant pas d'autres traces ;
- bruit haute fréquence se propageant depuis les contrôleurs : amplitude faible ;

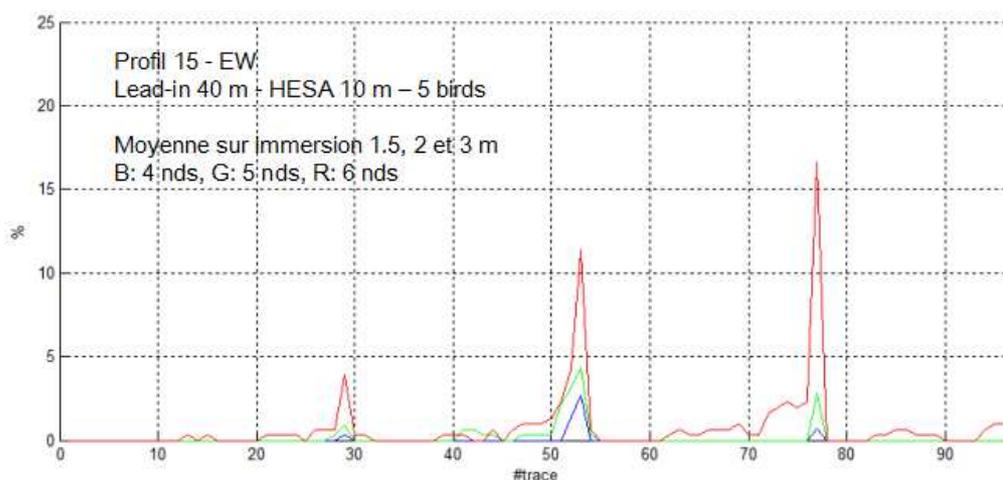
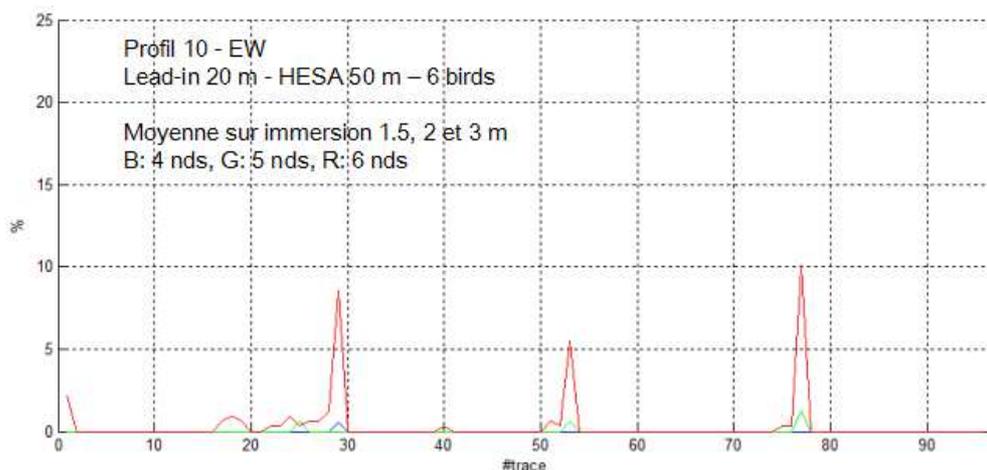


Mission Prisme 2 - Mesure de bruit en début de mission (tir 42) : immersion flûte 2 m, vitesse surface 5 nds, flûte fluide (ALS 24 traces @ 6.25 m, sensibilité 15.4 V/bar), 75 m de section élastique (HES) en tête, première trace à 78 m du navire ; mer belle ; filtre digital passe-haut 3 Hz du SEAL 408 appliqué.

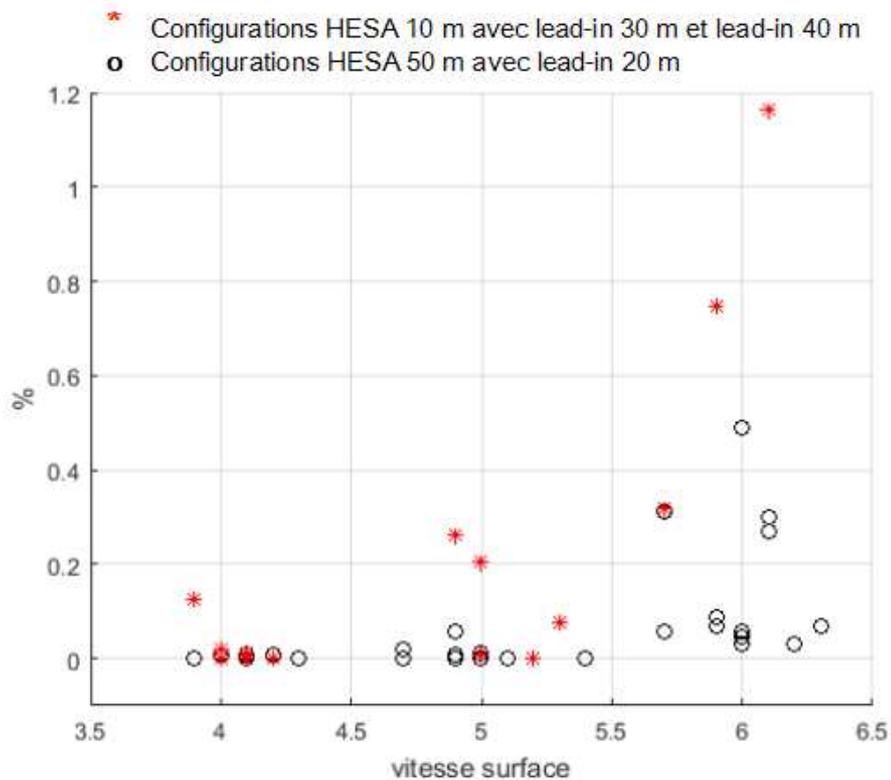
Une estimation du pourcentage d'enregistrements affectés est réalisée en fixant un seuil de 10 μ bar pour le bruit (estimation sur une fenêtre d'une seconde dans la bande passante 15-375 Hz). Cette analyse ne distingue pas la composante BF de la composante HF. Les traces directement sous le contrôleur et celles devant le contrôleur sont principalement affectées. Le pourcentage augmente sensiblement en passant de 5 à 6 nds. La configuration avec un HESA de 10 m semble plus affectée que celle avec la configuration HESA 50 m. Cela est peut-être dû au comportement différent de la flûte en terme d'amortissement des à-coups du navire:

- [30-40 m lead-in + 30 m HES/RVIM + 10 m HESA] \approx 40 m de section plus ou moins élastiques, contre
- [20 m lead-in + 30 m HES/RVIM + 50 m HESA] \approx 80 m élastique ;

A 5 nds en configuration HESA 10 m, moins de 5 % des enregistrements sont affectés pour les traces les plus bruitées, proches des contrôleurs d'immersion. Ces résultats sont obtenus par mer belle ; il sera nécessaire de vérifier que cela ne se dégrade pas dans des conditions de mer plus formée.



Pourcentage par trace (moyenne sur les tirs) d'enregistrements présentant un niveau de bruit supérieur à 10 μ bar - Mission ESSISM2



Pourcentage par séquence de mesures de bruit (moyenne sur les tirs et les 96 traces) d'enregistrements présentant un niveau de bruit supérieur à 10 μ bar, en fonction de la vitesse surface. Mission ESSISM2.

Cette augmentation du niveau d'amplitude des "bursts" de bruit par rapport à l'ancien dispositif HR pourrait être aussi due à des changements de réglages du système de contrôleurs d'immersion (constantes d'intégration, ...) ?

Les "bursts" ne semblent cependant pas être liés à des changements brutaux de l'inclinaison des ailes des avions (variations de l'inclinaison assez continue, même lorsqu'on détecte des "bursts").

Des tests complémentaires seraient nécessaires.

2.4. Exemples de profils

Les acquisitions avec un canon *mini-GI* ont été principalement réalisées pour estimer l'immersion de la flûte à l'aide de l'interférence avec le "fantôme" réfléchi surface. Il s'agit également des premiers profils acquis avec le nouveau dispositif HR ; les sections sismiques obtenues sont de très bonne qualité.

- **Source**

Un canon *mini-GI* 13/13 in³ a été mis en œuvre pendant la campagne d'essais ESSISM2. Il était tracté 22 m derrière le navire sur tribord, sous une bouée. Son immersion estimée d'après les données sismiques est de l'ordre de 1.7 m.

Compresseur Hamworthy (300 m³/h, 140 bar) ; utilisation de la boîte de tir ACTRIS ; inter-tir de 3 s.

- **Configuration HESA 50 m (profil 08)**

Configuration : HESA 50 m, *lead-in* 20 m, 5 contrôleurs d'immersion, vitesse surface de 5 nds (vitesse fond 4.2 nds) ; consigne d'immersion 2 m (tirs 1-510), puis 3 m (tirs 511-878) ;

Offsets source - récepteurs : 81-674 m ; délai source : 20.5 ms ;

Bathymétrie : 290 --> 215 m

Pression (bouteille tampon) : 156-162 bar

Premier contrôleur : 1.5 m de profondeur ; angle des ailes à -15°, ne parvient pas à respecter les consignes à 2 et 3 m ; le centre du premier SSRD remonte proche de la surface (≈1 m sous la surface) ; première trace à environ 1.5 m d'immersion ;

Analyse de la signature sur la trace 1, tirs 250-450 (immersion 1.5 m) ;

Dérive de la flûte de l'ordre de 100 m sur la seconde partie du profil ;

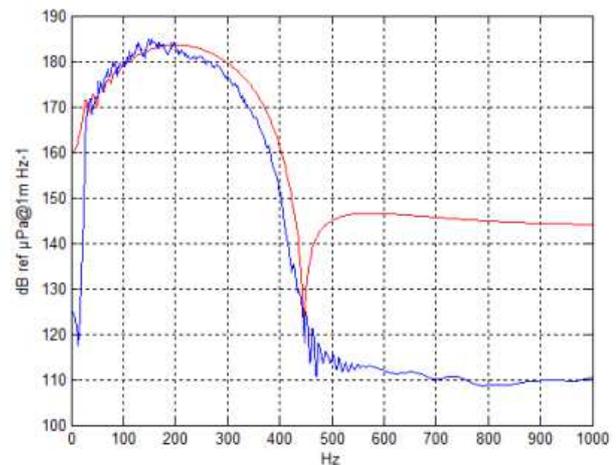
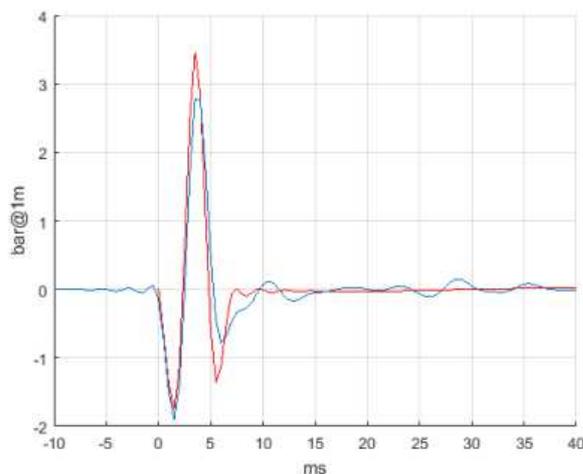
Binning 6.25 m : 947 bins, couverture moyenne 89 ;

Sommation : filtre 25-400 Hz, vitesse colonne d'eau 1507 m/s, gradient de vitesse Vrms appliqué dans les sédiments : 1150 m/s s-1 ;

Signature sismique (filtre 25-400 Hz) :

- Analyse de la signature fond de l'eau - profil08 - trace 1 à 1.5 m d'immersion - tirs 250-450 :
 - o rapport d'amplitude fond (phase positive) / multiple : réflectivité moyenne du fond de l'eau 0.4 ; amplitude du pic maximum 2.8 bar @1m ;
 - o signal fond de l'eau mis en phase sur le premier pic négatif pour calculer la signature moyenne ;

- Comparaison avec le signal synthétique :
 - o modélisation avec le logiciel Gundalf : canon *mini-GI* 13/13 in³, pression 140 bar, immersion du canon à 1.7 m ;
 - o ajout du fantôme réfléchi surface de la flûte avec une immersion de 1.5 m ;



Comparaison de signatures sismiques - Bleu : signature estimée sur le profil 8 à partir du signal fond de l'eau - Rouge : signature synthétique (Gundalf) - Premier pic négatif: -1.9 (données) / -1.8 bar (Gundalf) @ 1 m; pic positif : 2.8 / 3.4 bar @ 1 m ; second pic négatif : -0.8 / -1.4 bar @ 1 m

- **Configuration HESA 10 m (profil 16)**

Configuration : HESA 10 m, *lead-in* 40 m, 5 contrôleurs d'immersion, vitesse surface de 5 nds (vitesse fond 5.6 nds) ; consigne d'immersion 1.5 m (tirs 1-256), puis 2 m (tirs 300-574);

Offsets source - récepteurs : 61-654 m ; délai source : 21 ms ;

Bathymétrie : 210 --> 500 m

Pression (bouteille tampon) : 156-163 bar

Premier contrôleur : consigne d'immersion respectée (angle des ailes $\pm 5^\circ$) ;

Analyse de la signature sur la trace 1, tirs 300-500 (immersion 2 m) ;

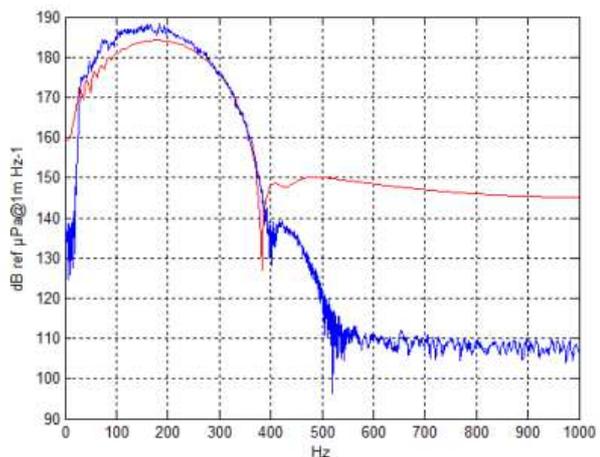
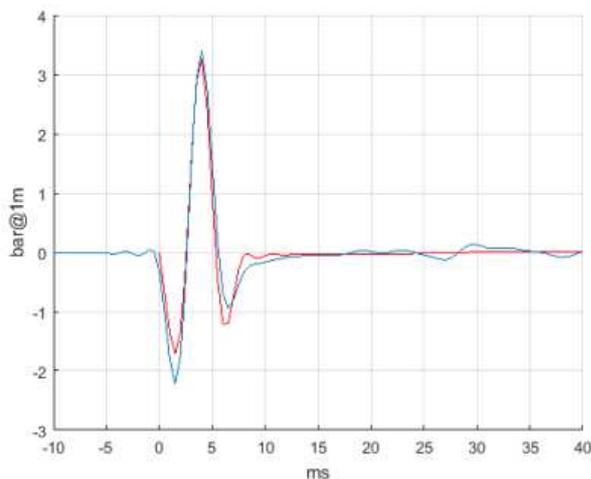
Dérive de la flûte de l'ordre de 100 m sur la seconde partie du profil ;

Binning 6.25 m : 844 bins, couverture moyenne 65 ;

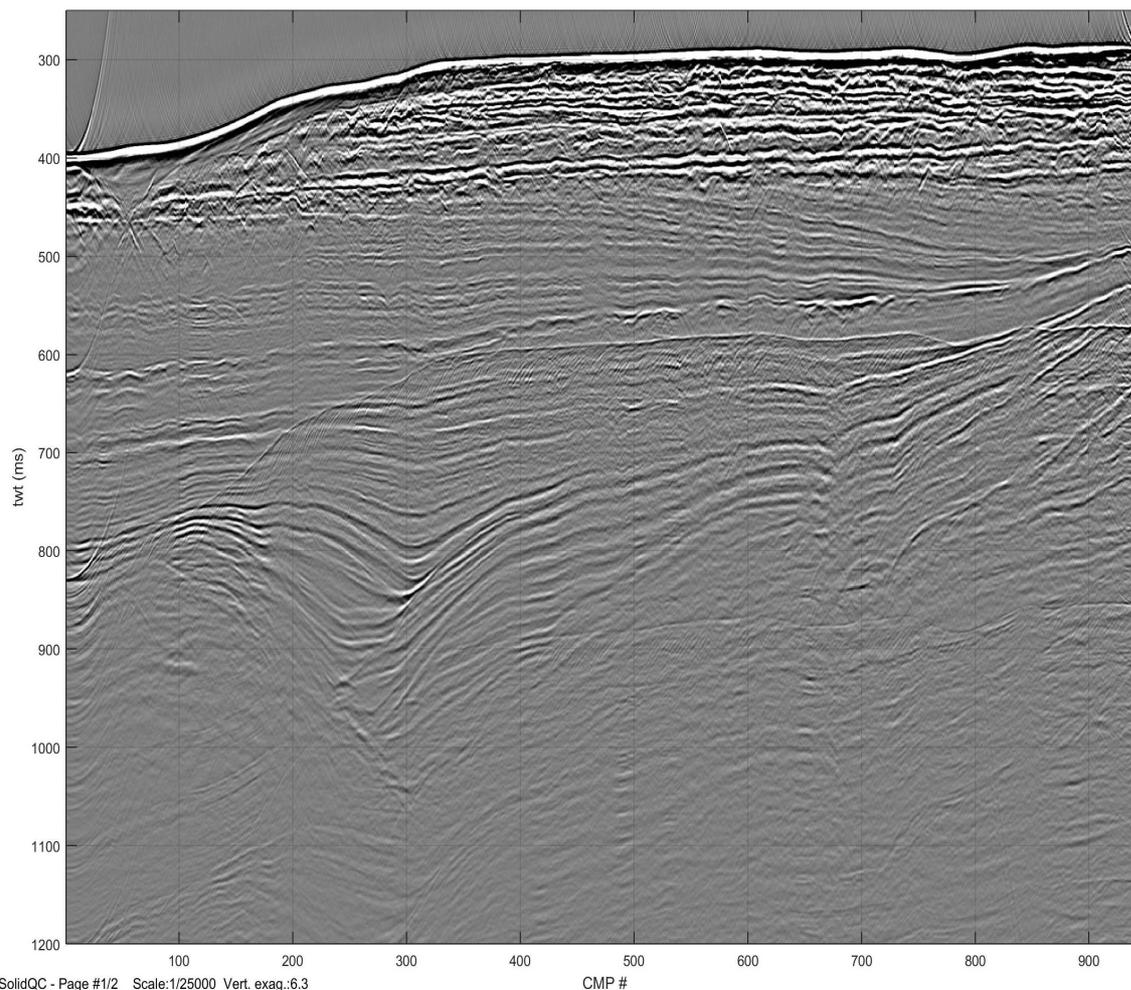
Sommation : filtre 25-400 Hz, vitesse de la colonne d'eau 1500 m/s, gradient de vitesse V_{rms} appliqué dans les sédiments : 900 m/s s⁻¹ ;

Signature sismique (filtre 25-400 Hz) :

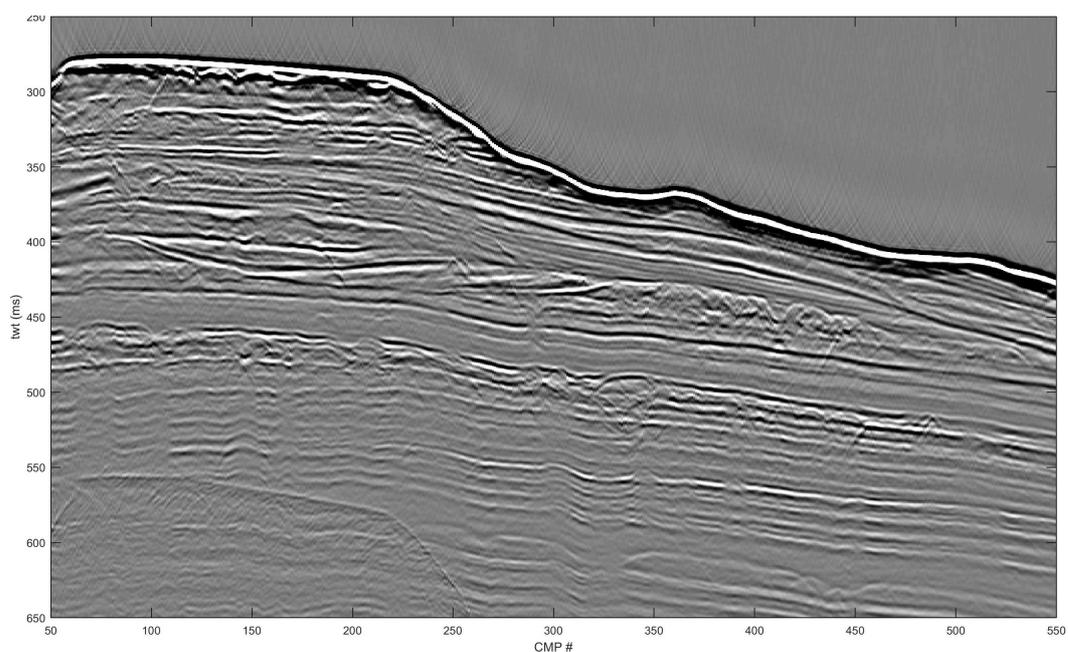
- Analyse de la signature fond de l'eau - profil16 - trace 1 à 2 m d'immersion - tir 300-500 :
 - o rapport d'amplitude fond (phase positive) / multiple : réflectivité moyenne du fond de l'eau 0.32 ; amplitude du pic maximum 3.4 bar @1m ;
 - o signal fond de l'eau mis en phase sur le premier pic négatif pour calculer la signature moyenne ;
- Comparaison avec le signal synthétique :
 - o modélisation avec le logiciel Gundalf : canon mini-GI 13/13 ci, pression 140 bar, immersion du canon à 1.7 m ;
 - o ajout du fantôme réfléchi surface de la flûte avec une immersion de 2 m ;



Comparaison de signatures sismiques - Bleu : signature estimée sur le profil 16 à partir du signal fond de l'eau - Rouge : signature synthétique (Gundalf) - Premier pic négatif : -2.2 (données) / -1.7 bar (Gundalf) @ 1 m ; pic positif : 3.4 / 3.25 bar @ 1 m ; second pic négatif : -0.9 / -1.2 bar @ 1 m



Exemple de section traitée (profil08, ESSISM2) montrant une pénétration de l'ordre de 1 s twt ; bordure du plateau continental au large de Penmarch



Exemple de section traitée (profil16, ESSISM2) illustrant la résolution verticale et horizontale ; bordure du plateau continental au large de Penmarch

3. Mission scientifique GHASS

Leg 1, 31/08/15 - 15/09/15, N/O *Pourquoi pas?*, IFREMER/REM/GM, Stephan Ker

3.1. Dispositif d'acquisition et nature des mesures

La mission s'est passée en Mer Noire, en bordure du plateau continental roumain par des fonds de 100 à 1700 m. La thématique scientifique est l'étude de la dynamique des hydrates de gaz et du gaz libre, associée à des processus géologiques et/ou climatiques (projet Risques Géologiques, IFREMER/REM/GM). L'objectif de ces acquisitions sismiques HR est de fournir un cadre régional aux mesures de sub-surface : profils sismiques Sysif, mesures *in-situ* Penfeld et piézomètre, carottages.

Les acquisitions se sont déroulées du 3 au 10 septembre 2015, par des conditions de mer calme à belle (houle < 0.5 m) favorables pour l'acquisition sismique Haute Résolution, excepté en toute fin de mission où les conditions se sont dégradées (mer agitée, houle 1 à 1.5 m).

D'après les résultats des essais de la campagne ESSISM2 (cf. §2), la configuration de tête de flûte retenue est celle avec une section HESA de 10 m, et une longueur filée de *lead-in* de 30 m. Le dispositif d'acquisition est identique à celui mis en œuvre pendant les essais, excepté la source.

Les paramètres physiques de l'eau de surface sur la zone de mesure sont particuliers pour ce type d'équipement : faible salinité entraînant une densité de 1010 kg/m³ contre environ 1025 kg/m³ pendant les essais ESSISM2 dans le Golfe de Gascogne. D'après la méthode d'équilibrage de la flûte SERCEL (voir annexe, A.Pacault), toutes les bagues de lest placées sur les sections actives SSRD ont dû être retirées pour alléger au maximum le poids de la flûte dans l'eau.

• Source mise en œuvre pendant la mission GHASS

Une barre sur bâbord de 3 canons (*mini-GI 24/24 in³*) ; une barre sur tribord de 3 canons (*mini-GI 13/13 in³*). Une seule barre est mise à l'eau à la fois.

Immersion des canons à 2 m ;

Longueur filée de câble depuis le tableau arrière : 20 m ;

Compresseur Hamworthy (300 m³/h, 140 bar)

Volumes et cadences mis en œuvre :

- 2 x 24/24 in³ @ 4 s pour le premier profil "profond" sur la zone Nord ;
- 1 x 13/3 in³ @ 3 s pour deux profils ;
- 1 x 24/24 in³ @ 3 s pour les 18 autres profils ;

Le dispositif de source sismique HR a connu un certain nombre de problèmes pendant la mission (signaux hydrophones Time Break défectueux, panne du système de lubrification des canons, fuites d'air des canons). Ces problèmes ne sont pas abordés dans ce rapport qui traite de la validation du dispositif de réception. L'analyse des signatures sismiques ne sera pas présentée car non représentative de la qualité du dispositif de réception.

- **Paramètres et consignes d'acquisition**

Fréquence d'échantillonnage : 2 kHz

Délai à l'enregistrement : 0 s

Gain 2 (gain de 12 dB)

Filtre anti-repliement : 0.8 LIN x fréquence de Nyquist (soit 800 Hz)

Filtre passe-haut digital : 3 Hz

Consigne de vitesse surface : 5 nds

Consigne d'immersion de la flûte : 2 m pour la majorité des profils, 2.5 puis 3 m pour les conditions de mer dégradées (2 profils sur 21 acquis) ;

3.2. Qualité des données HR

3.2.1. Positionnement

La datation des tirs, les données GPS brut, les données de la centrale navigation bord, et le système ECOS n'ont présenté aucun problème pendant la mission. Les caps des contrôleurs d'immersion ont pu être utilisés pour le calcul de la dérive de la flûte, malgré l'augmentation du bruit sur la mesure cap pour les derniers profils (mer force 4). Le contrôle de la géométrie d'acquisition à l'aide de l'arrivée directe est correct. Le positionnement des points sources et récepteurs ne présente aucun problème. La dérive de la flûte est restée limitée (courant relativement faible).

Une petite erreur de datation des tirs par le système ECOS (problème de formatage) a été relevée par le service Qualité Adaptation Expertise de GENAVIR au retour de mission. Cette erreur n'a aucune incidence sur le traitement et la qualité des données.

3.2.2. Equilibrage de la flûte

Compte tenu de la faible densité de l'eau de surface sur la zone d'étude, de l'ordre de 1010 kg/m^3 , l'ensemble des bagues de lest des sections actives SSRD a été ôté, y compris les bagues dites "permanentes" (voir note en annexe, A. Pacault).

D'après les résultats des essais de la nouvelle flûte réalisés début août au large de Brest (mission ESSISM2, N/O *Pourquoi pas?*, IFREMER/NSE/NE), le choix a été fait de mettre en œuvre le tronçon HESA de 10 m. Le tronçon HESA de 50 m est apparu trop léger pendant les essais, empêchant la tête de flûte de se maintenir à la bonne immersion, même avec l'ajout d'un contrôleur d'immersion supplémentaire en tête de flûte. Une longueur filée de *lead-in* de 30 m depuis le tableau arrière est suffisante pour maintenir la tête de flûte à bonne immersion en configuration HESA de 10 m.

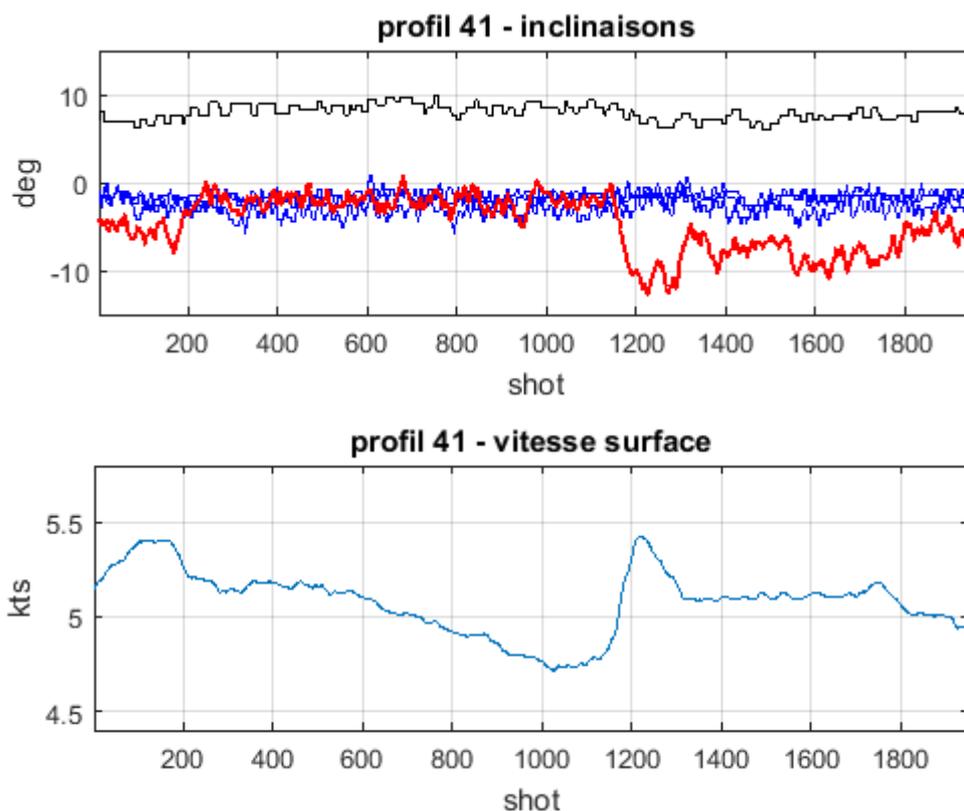
Les résultats obtenus avec cette configuration (*lead-in* de 30 m depuis le tableau arrière et HESA de 10 m) ont été très probants sur le N/O *Pourquoi pas?* pour la Mer Noire. Les cinq contrôleurs d'immersion ont tenu leur consigne à 2 m

dans des conditions de mer favorables (force 0-2), mais également à 3 m dans des conditions de mer dégradées (force 3-4).

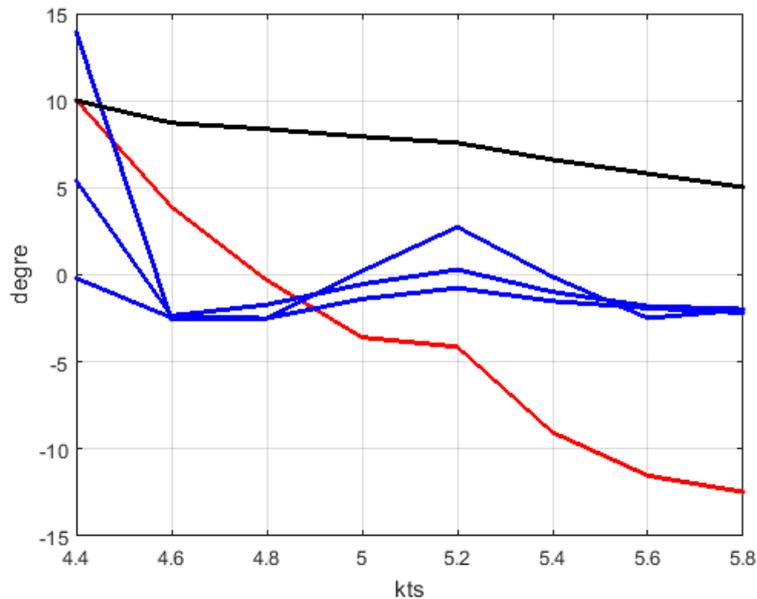
A noter cependant une forte sensibilité de l'équilibrage de la tête de flûte en fonction de la vitesse surface du navire. Elle est certainement due à la mise en œuvre du *lead-in* qui n'existait pas pour l'ancien dispositif de sismique HR. L'inclinaison des contrôleurs d'immersion indique (voir figures suivantes) :

- pour le contrôleur de tête : une inclinaison de +7° à 4.5 nds (tête de flûte trop pesante), 0° à 4.8 nds, -10° à 5.5 nds (tête de flûte trop légère) ;
- pour les contrôleurs disposés sur les sections actives le long de la flûte, un équilibrage parfait entre 4.6 nds et 5.6 nds ; angles limités à $\pm 3^\circ$, indépendamment de la vitesse ;
- pour le contrôleur de queue, un angle toujours positif, indiquant une queue de flûte pesante (probablement lié au connecteur de queue) ; cependant cet angle reste inférieur à 10° et diminue lorsque la vitesse surface augmente ;

L'acquisition a donc été réalisée avec une consigne de vitesse surface constante de l'ordre de 5 nds (moins stable à vitesse plus faible, flûte trop "légère").



Exemple de variations des inclinaisons des contrôleurs d'immersion fonction de la vitesse surface du navire ; courbe rouge : *bird 1* (tête de flûte) ; courbes bleues *bird 2-3-4*, courbe noire *bird 5* (queue de flûte)

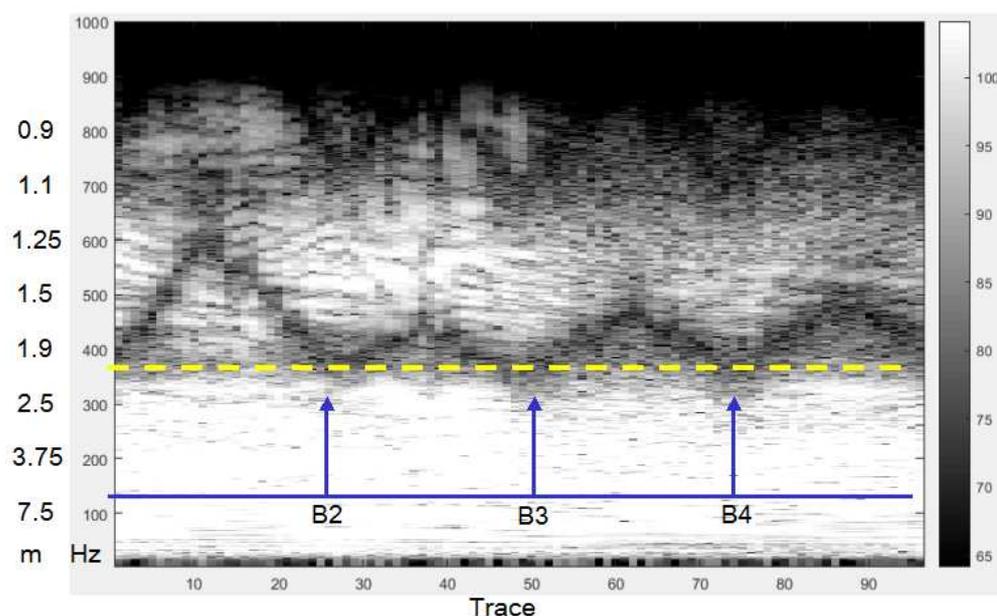


Moyennes de l'inclinaison des contrôleurs d'immersion en fonction de la vitesse surface navire ; statistiques sur tous les tirs acquis pendant GHASS (72 000 tirs); courbe rouge : *bird 1* (tête de flûte) ; courbes bleues *bird 2-3-4*, courbe noire *bird 5* (queue de flûte)

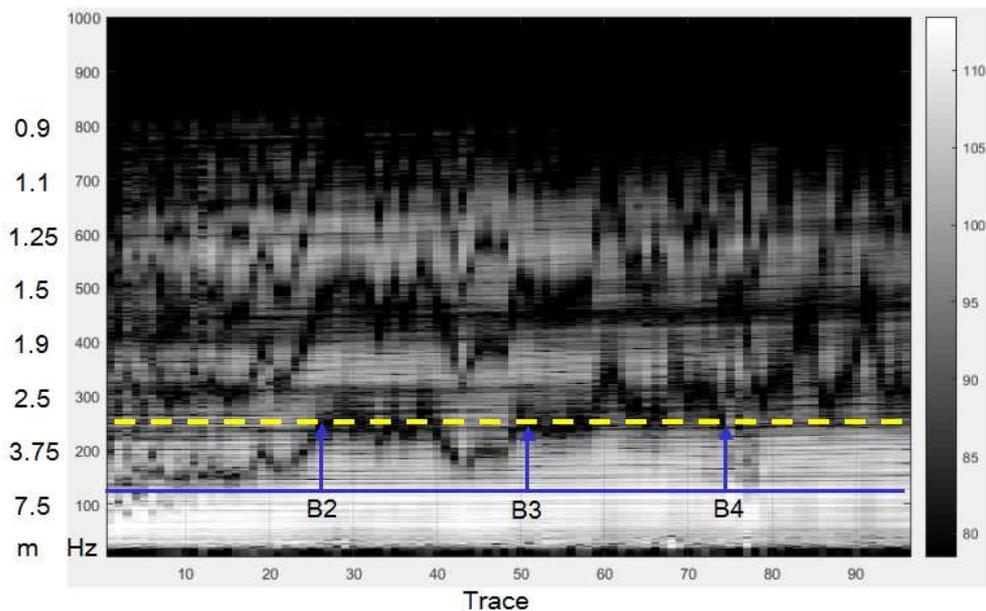
L'analyse des spectres des collections point de tir et des sections récepteur commun permet d'estimer l'immersion de la flûte à l'aide des raies d'absorption liées aux fantômes réfléchis surface (*ghosts* flûte). Elle met en évidence (voir figures pages suivantes) :

- des variations de profondeur aux centres des sections actives de tête et de queue (SSRD1 et SSRD4) ; les sections centrales sont plus stables;
- par conditions de mer calme, à consigne d'immersion de 2 m, le centre des sections actives remonte vers la surface, jusqu'à 1 m, surtout pour les sections actives de tête et de queue ;
- par conditions de mer dégradées, à consigne d'immersion de 3 m, le centre de la section active de tête plonge jusqu'à 5-6 m, dégradant le contenu spectral des données ; seuls deux profils ont été acquis dans ces conditions ; cela reste à confirmer lors de prochaines mesures ;

Dans tous les cas, le centre de la section active de tête est le plus affecté. La distance entre le premier *bird* (tête de HESA) et le second (tête de SSRD2) est plus élevée que pour les autres *birds* : 184 m contre 150 m. L'ajout d'un *bird* en tête de SSRD1 (à 24 m de la tête, soit à 34 m du premier *bird*) pourrait peut-être permettre d'aider à mieux stabiliser la section active de tête. Cela n'a pas été testé pendant la mission GHASS.



Exemple de spectre sur point de tir montrant une remontée vers la surface des centres des sections actives. Profil 41 - tir 1545 - conditions de mer belle - source canon 13/13 in³. La ligne jaune indique la fréquence de coupure associée à la consigne d'immersion de 2 m. Les flèches bleues indiquent les positions des contrôleurs d'immersion.

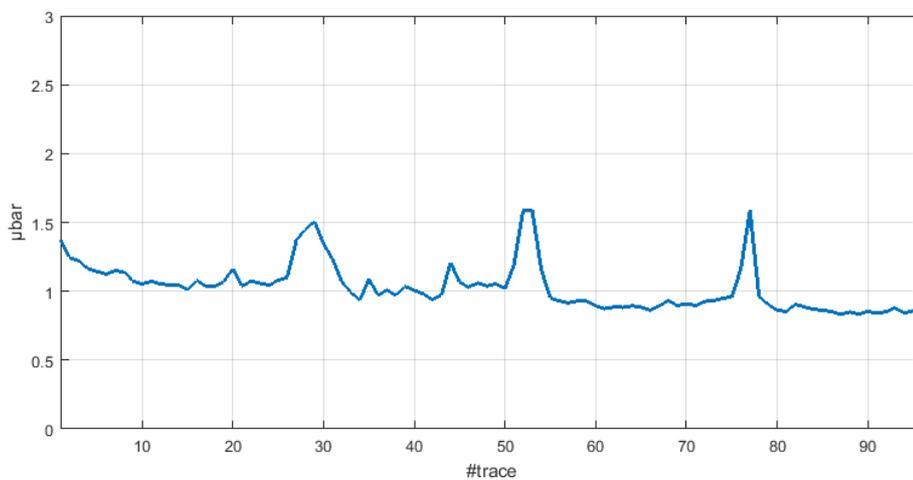


Exemple de spectre sur point de tir montrant la section active de tête trop profonde. Profil 71 - tir 2980 - conditions de mer agitée (houle 1.5 m) - source canon 24/24 in³. La ligne jaune indique la fréquence de coupure associée à la consigne d'immersion de 3 m. Les flèches bleues indiquent les positions des contrôleurs d'immersion.

3.2.3. Niveau de bruit

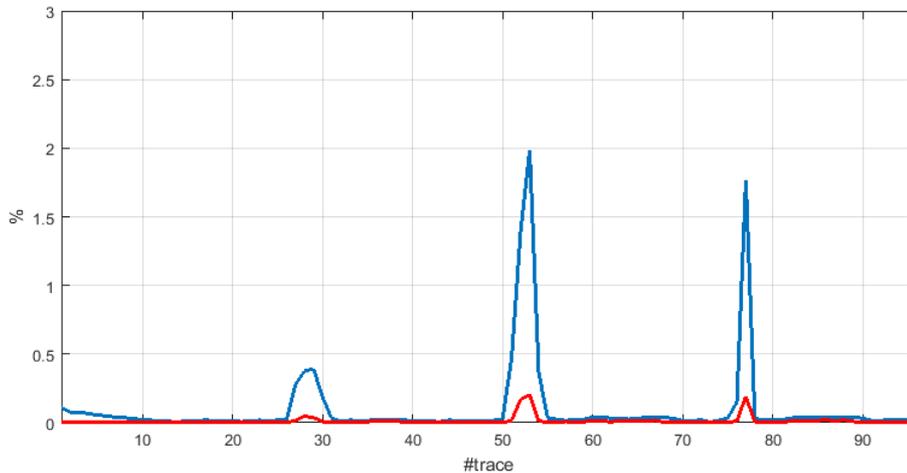
Les conditions de mer favorables rencontrées pendant la mission ont permis de maintenir la flûte à 2 m d'immersion sur la majorité des profils. Le niveau de bruit est notablement très faible, 1 μbar en moyenne sur l'ensemble de la campagne. A titre de comparaison, la campagne Prisme2 (août 2013, N/O *L'Atalante*, "ancienne" flûte HR 72 traces, Est Corse) montrait dans des conditions similaires (mer calme, immersion flûte 2 m, vitesse 5 nds) un niveau de bruit moyen de 2.4 μbar ; ce qui correspond déjà à un niveau de bruit exceptionnellement faible avec cet ancien équipement (le bruit moyen dans de bonnes conditions de mer était plus proche des 3-4 μbar).

Les traces proches des contrôleurs d'immersion montrent en moyenne un bruit de l'ordre de 1.5 μbar (contre 15-20 μbar sur Prisme2). Le bruit "maximum" se trouve au niveau du bird n°3 qui comporte un flotteur de type *retriever*, plus lourd que les autres. Le bruit est également un peu plus élevé en tête de flûte (1.4 μbar pour la trace 1 contre 0.9 μbar pour la trace 96).



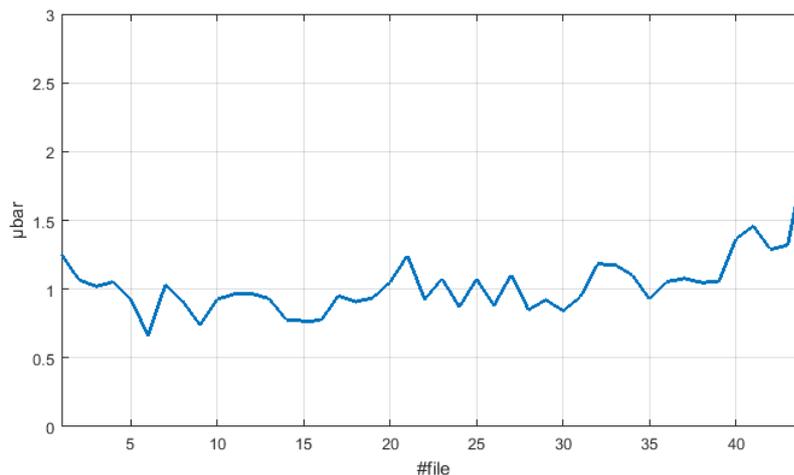
Niveau de bruit moyen par traces pour l'ensemble des données de la campagne GHASS (filtre appliqué : 35-375 Hz)

Les mesures de bruit montrent l'existence de "bursts" au niveau des traces proches des contrôleurs d'immersion. Ce bruit est de même nature que celui observé pendant les essais ESSISM2 avec des niveaux élevés. Cependant, un très faible pourcentage de tirs est affecté. Leur édition avant traitement ne posera pas de problème.

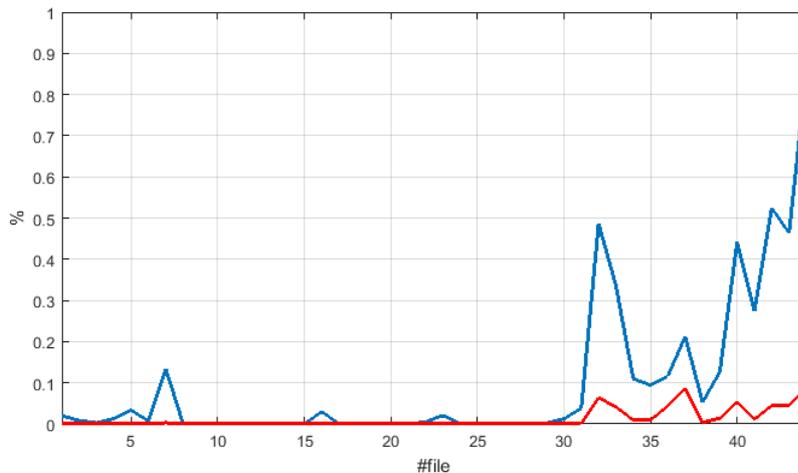


Pourcentage de tirs par trace pour l'ensemble des données montrant un niveau de bruit moyen supérieur à 10 µbar (rouge) et 5 µbar (bleu)

L'évolution du niveau de bruit au cours de la mission est liée aux conditions de mer qui se sont dégradées à la fin de la seconde période d'acquisition. La majorité des données a été acquise par mer belle (force <3) ; les deux derniers profils ont été acquis par mer formée (houle de 1.5 m). Le niveau de bruit moyen reste cependant très faible (< 2 µbar). Le pourcentage de tirs affectés par des "bursts" augmente sensiblement au niveau des contrôleurs d'immersion mais reste faible en moyenne (<1 %). L'édition de ces traces bruitées ne posera pas de problème pour le traitement des données.

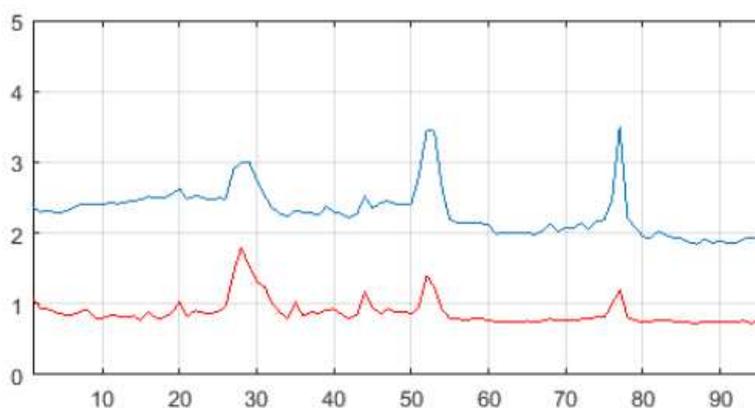


Niveau de bruit moyen par profil (certains profils ont été coupés en plusieurs sections ; 21 profils ont été acquis, découpés en 44 sections analysées) pour l'ensemble des données de la campagne GHASS (filtre appliqué : 35-375 Hz)



Pourcentage de traces (par profil) montrant un niveau de bruit supérieur à 10 μbar (rouge) et 5 μbar (bleu) pour l'ensemble des données de la campagne GHASS (filtre appliqué : 35-375 Hz)

Les conditions de mer rencontrées en fin de mission (force 4) montrent le remarquable gain apporté par ce nouvel équipement (nouvelle technologie "solide" *versus* ancienne technologie "fluide") : niveau de bruit très faible. L'ancien équipement trouvait ses limites par mer force 4, quand le nouvel équipement reste encore peu bruité. Les limites de mise en œuvre de la sismique HR ne sont plus liées au niveau de bruit sur la flûte, mais à la tenue à la mer des barres de source. Les capacités d'acquisition par mer formée sont cependant à nuancer en fonction du cap par rapport à la houle ; l'acquisition par houle arrière rend plus difficile la tenue de la consigne d'immersion de la flûte.



Comparaison du niveau de bruit moyen par trace en μbar (gamme 35-375 Hz) obtenu pour deux profils de la campagne GHASS :
 Profil 63 (rouge) - mer belle - immersion 2 m - vitesse surface 4.9 nds ;
 Profil 72 (bleu) - mer agitée - immersion 3 m - vitesse surface 5.1 nds ; profil le plus bruité de la mission

4. Bilan

Les essais de la mission ESSISM2 (début août 2015) et la mission scientifique GHASS (septembre 2015) sur le N/O *Pourquoi pas?* ont permis de valider la qualité de données acquises avec le nouveau dispositif sismique réflexion Haute Résolution de surface. L'adaptation du logiciel de contrôle qualité temps différé SolidQC (IFREMER) a pu être également validée.

Une des évolutions et des inconnues de ce nouveau système (Seal428, flûte "solide") par rapport au précédent (Seal408, flûte "fluide", 2002-2014) était la configuration de la tête de flûte et son impact sur la tenue des consignes d'immersion, très critique en terme de qualité de données. La flûte est en effet immergée entre 2 et 3 m sous la surface en fonction des conditions de mer. Nous sommes passés d'une ancienne configuration "légère", spécifique à la mise en œuvre de la sismique HR sur les navires d'IFREMER, à une configuration plus proche du standard industriel. Cette évolution permet notamment de disposer de nouveaux équipements HR 96 traces, Sisrap 48 traces et SMT 720 traces homogènes en terme d'éléments de flûte et d'électronique. L'ancien dispositif HR mettait en œuvre uniquement des tronçons de type élastique en tête (deux *Head Elastic Section* de 50 m) ; l'ensemble de la flûte était constitué de sections de diamètre identique (\varnothing 50 mm). Le nouveau dispositif met en œuvre un câble de tête pesant (*lead-in*) suivi de plusieurs éléments de diamètre et de longueur variables. Les premiers essais réalisés en février 2015 à bord du N/O *Thalassa* n'avaient pas été concluants en terme d'immersion de la flûte du fait des mauvaises conditions rencontrées (mer forte). Le délai entre la seconde mission d'essai (ESSISM2, début août) et la première mission opérationnelle (GHASS, fin août) étant trop court, il a été décidé d'approvisionner une section de tête HESA de 50 m pour palier à d'éventuelles difficultés de tenue d'immersion avec la configuration "standard" SERCEL (HESA de 10 m). Cette section de 50 m permet de se rapprocher des conditions de mise en œuvre connues avec l'ancien dispositif. Les données acquises en août et septembre, dans des conditions de mer adaptées à la sismique HR et dans l'état actuel des éléments de flûte, indiquent que :

- la configuration HESA 50 m ne permet pas de tenir les consignes d'immersion ; la section HESA de 50 m paraît trop légère, elle remonte en surface notamment en son centre ; il n'est pas prévu de positions pour des lests sur ce tronçon ;
- la configuration HESA 10 m permet de tenir les consignes d'immersion (1.5, 2 et 3 m) à vitesse de 5 nds surface pour une longueur filée de *lead-in* de 30 m. Les contrôleurs d'immersion ont tenu leur consigne à 2 m dans des conditions de mer favorables (force 0-3), mais également à 3 m dans des conditions de mer dégradées (force 4). A vitesse plus faible (4 nds surface), le contrôleur de tête a plus de mal à maintenir la consigne ;
- la configuration HESA 10 m montre cependant une forte sensibilité du comportement de la tête de flûte à la vitesse surface ; inclinaison moyenne des ailes du contrôleur de tête : +7° à 4.5 nds (tête de flûte pesante), 0° à 4.8 nds, -10° à 5.5 nds (tête de flûte légère) ;

L'analyse spectrale des traces sismiques entre les contrôleurs d'immersion montre des variations d'immersion, notamment aux centres des sections actives, quelle que soit la configuration. La section de tête est la plus affectée. De telles variations étaient observées également sur l'ancien dispositif, mais principalement dans le cas de gros problèmes d'équilibrage (sections fluides vieillissantes nécessitant l'ajout d'huile Isopar) ou de conditions de mer dégradées. La nouvelle configuration semble moins stable en terme d'immersion, même par très bonnes conditions de mer. Ceci est certainement dû au changement de la nature des éléments de tête de flûte et à la flottabilité des éléments actifs de type solide. Ces variations d'immersion (écart de 1 à 2 m par rapport à la consigne) vont plutôt dans le sens d'une remontée vers la surface, ce qui atténue l'impact sur la signature sismique. Le niveau de bruit reste faible même dans des conditions de mer dégradées, ce qui limite également l'impact de ces variations d'immersion. Ce point montre cependant la limite des tableaux d'équilibrage des flûtes "solides" fournis par SERCEL (lestes à ajouter et leurs emplacements en fonction de la densité de l'eau) qui sont adaptés aux conditions de mise en œuvre standard industriel (flûte à 6-10 m d'immersion) et moins à la sismique HR IFREMER (immersion de 2-3 m).

Quelle que soit la configuration, la queue de la flûte apparaît pesante, surtout à 4 nds (angle du dernier contrôleur d'immersion proche de +15°). Cela est certainement dû au poids dû connecteur de queue "tail swivel" (5 kg dans l'eau). Mais la consigne d'immersion est bien respectée et aucune incidence sur la qualité des données n'a été observée.

Un avantage de la configuration HESA 10 m est la faible distance de la première trace sismique par rapport au navire et donc aux sources. Cela aboutit à un offset source-récepteur minimum de l'ordre de 50-60 m, ce qui permet l'acquisition - en terme d'angle d'incidence - par des fonds de 50-100 m.

Le niveau de bruit moyen observé pendant les essais et la mission GHASS avec la technologie flûte solide est bien inférieur à celui observé dans des conditions similaires avec la technologie fluide. Les très bonnes conditions rencontrées pendant la mission GHASS ont permis d'observer des niveaux jamais atteints auparavant : 1 μ bar de bruit en moyenne contre 2 à 4 μ bar dans les meilleures conditions avec l'ancien dispositif. Le niveau de bruit au niveau des contrôleurs d'immersion reste en moyenne très faible, inférieur à 5 μ bar, contre plus de 15 μ bar avec l'ancien dispositif. Le gain est surtout notable dans des conditions de mer dégradées : par mer agitée (force 4), le niveau de bruit moyen reste inférieur à 2 μ bar pour une immersion de flûte à 3 m. Dans les mêmes conditions, les données auraient été quasi inexploitable ou tout du moins très fortement dégradées avec l'ancien dispositif. Ce gain est très appréciable, car même si les limites de conditions opérationnelles restaient inchangées (force 4), la qualité des données acquises par mer force 4 reste très bonne.

Le principal paramètre qui impacte le niveau de bruit est la vitesse surface de traction du dispositif. Le niveau de bruit est multiplié par un facteur 2 en passant de 4 à 5 nds surface. Compte tenu du très faible niveau de bruit observé, l'acquisition à une vitesse de 5 nds surface n'est pas pénalisante même par mer formée, ce qui n'était pas le cas avec l'ancien dispositif.

L'analyse des traces sismiques montre la présence de "bursts" (bouffées) de bruit autour des contrôleurs d'immersion, même par des conditions de mer calme. Ils affectent la gamme de fréquence utile du signal et sont de forte amplitude (plusieurs dizaines de μ bar). Cela n'était observé que localement au niveau de la trace à proximité immédiate du contrôleur d'immersion pour l'ancien dispositif HR, ou dans des conditions de mer dégradées. La configuration avec le HESA de 10 m

semble plus affectée que la configuration HESA 50 m. Le pourcentage d'enregistrements affectés reste cependant très limité (inférieur à 0.5 % à vitesse de 5 nds), mais il est préférable de détecter ces traces bruitées pour les éditer avant traitement d'imagerie sismique.

L'ensemble des mesures réalisées montre l'homogénéité des niveaux relatifs d'amplitude et permet d'écarter tout défaut important à la construction des éléments actifs. La comparaison des niveaux d'amplitude attendus avec un canon mini-GI 13/13 in³ lors des essais ESSISM2 et ceux déduits des enregistrements avec la flûte montre en première approximation que la sensibilité des traces est bien proche de 17.5 V/bar.

Le nouveau dispositif sismique HR a permis l'acquisition de données de très bonne qualité pendant le premier leg de la campagne GHASS, même lorsque les conditions de mer se sont dégradées en toute fin de mission. Une vitesse d'acquisition de 5 nds surface était bien adaptée aux conditions rencontrées en Mer Noire avec une longueur filée de *lead-in* de 30 m et un tronçon HESA de 10 m. Les premiers traitements réalisés à bord ont montré la très bonne qualité des données acquises.

Il n'en reste pas moins qu'avec ce nouveau dispositif les conditions de mise en œuvre ont évolué (équilibrage, sensibilité à la vitesse surface). Il est encore nécessaire de gagner en expérience sur le comportement de cette nouvelle flûte dans diverses conditions de mise en œuvre lors des prochaines missions.

Annexe - Note concernant l'équilibrage des sections sismiques

Anne Pacault, IFREMER, IMN/NSE/NE - Mise à jour : le 26/08/2015

Cette note présente une petite synthèse des divers échanges de mails avec Sercel concernant l'équilibrage des sections sismiques Sentinel RD. La procédure d'équilibrage des sections est décrite dans le manuel installation (p. 281, version manuel Seal 428 V 1.1.13, ou engineering update 47).

• Equilibrage bagues jaunes (sortie d'usine)

Description

Dans les spécifications Sercel pour la fabrication des sections Sentinel RD, le poids des sections dans l'eau est de -3 kg (léger) ± 2.5 kg, pour les paramètres d'environnement suivants : SG (Specific Gravity) 1.018, T 22°C.

L'équilibrage avec les bagues jaunes est réalisé par Sercel en usine et permet de compenser les différences de poids à la fabrication pour ramener toutes les sections à un poids dans l'eau de -0.5 kg (buoyancy 0.5 kg, streamer plus léger que l'eau) à T=22°C, SG=1.018.

Cet équilibrage est réalisé de la façon suivante :

Lors de la fabrication en usine, Sercel met à jour un tableau avec les valeurs pour chaque section de CIA (poids dans l'air) et CIW (poids dans l'eau à 22°C, SG 1.018).

On calcule ensuite :

$Buoy_force = CIA - CIW$;

$buoyancy_in_sea_water_10_depth = (Buoy_force * SG) - CIA$;

On calcule ensuite le nombre de bagues à ajouter pour se ramener à une buoyancy de +0.5 kg à SG 1.018 et T 22°C, sachant que chaque bague pèse 0.92 kg dans l'eau :

$\Delta_buoyancy = buoyancy_in_sea_water_10_depth - 0.5$;

$Nbre_bagues = round(\Delta_buoyancy / 0.92)$;

Exemple

Pour les sections de l'équipement SIS 2 (flûte HR 96 traces) :

	SECTION #	CIA	CIW	SG	Buoy_force	buoyancy_in_sea_water_10m	desired_buoyancy	diff_buoyancy	nbre lests jaunes
					CIA-CIW	(Buoy_force * SG) - CIA		buoyancy - desired_buoyancy	round(diff_buoyancy/0.92)
SSRD 1 (tête)	57726	361.20	3.90	1.018	357.30	2.53	0.50	2.03	2
SSRD 2	57733	361.10	3.80	1.018	357.30	2.63	0.50	2.13	2
SSRD 3	57699	361.30	3.00	1.018	358.30	3.45	0.50	2.95	3
SSRD 4 (queue)	57708	361.60	3.40	1.018	358.20	3.05	0.50	2.55	3
spare	57727	362.60	3.80	1.018	358.80	2.66	0.50	2.16	2

- **Equilibrage bagues noires**

Description

A partir des conditions d'environnement T (°C) et S (psu), on trouve la valeur de SG (Specific Gravity, cf. manuel installation, tableau 8.5, p. 283). A partir de T et de SG, on détermine ensuite la valeur `desired_buoyancy` (cf. manuel installation, tableau 8.9, 8.10, 8.11, p. 289-292).

On repart de l'équilibrage précédent, par exemple équilibrage avec les bagues jaunes uniquement qui correspond à T=22°C, SG=1.018, `previous_buoyancy`=0.5kg.

On calcule ensuite la différence de flottabilité :
`delta_buoyancy` = `desired_buoyancy` - `previous_buoyancy`;

Il faut éventuellement ajouter une correction pour prendre en compte une immersion du streamer plus importante que 10 m (cf. § suivant).

En divisant par le poids dans l'eau d'une bague (0.92 kg), on obtient le nombre de bagues à ajouter ou enlever :

`Nbre_bagues` = `round` (`delta_buoyancy` / 0.92);

Exemple 1

T=17°C, S=35 psu (Golfe de Gascogne, août, mission d'essais ESSISM2)

En utilisant les tableaux du manuel Sercel, on trouve SG=1.026, `buoyancy`=2.836 kg.

En repartant de l'équilibrage avec les bagues jaunes uniquement qui correspond à T=22°C, SG=1.018, `buoyancy`=0.5kg, on a :

`delta_buoyancy` = 2.836-0.5 = 2.336 kg

Le câble sera léger par rapport à un *ballastage* de sortie d'usine (bagues jaunes seulement), il faut ajouter des bagues.

En divisant par le poids d'une bague dans l'eau (0.92kg), on a :

`delta`/0.92=2.54, arrondi à 3 bagues / section.

⇒ Il faut ajouter 3 bagues sur chaque section (en plus des jaunes).

(Il n'y a pas de compensation de l'immersion à prendre en compte car la profondeur de mise en œuvre est inférieure à 10 m).

Exemple 2

T=23°C, S=17 psu (Mer Noire, septembre, mission GHA SS)

En estimant la densité à partir TEOS-10 (cf. remarque § suivant), on trouve SG=1.010, et avec le tableau Sercel, on obtient : `buoyancy`=-2.248 kg.

En repartant de l'équilibrage avec les bagues jaunes uniquement qui correspond à T=22°C, SG=1.018, `buoyancy`=0.5kg, on a :

`delta_buoyancy` = -2,248 -0,5 = -2,748 kg

Le câble sera lourd par rapport à un *ballastage* de sortie d'usine (bagues jaunes seulement), il faut enlever des bagues.

En divisant par le poids d'une bague dans l'eau (0.92kg), on a :

`delta`/0.92=-2.98, arrondi à -3 bagues / section.

⇒ Il faut enlever 3 bagues sur chaque section. A la sortie usine, il y avait 2 ou 3 bagues jaunes par section. Il faut donc toutes les enlever. Comme précédemment : pas de compensation d'immersion à ajouter.

- **Prise en compte de l'immersion du streamer**

Lorsque le streamer est mis en œuvre à des profondeurs supérieures à 10 m, la mousse qui assure la flottabilité a tendance à s'écraser et le streamer est moins flottant. Il faut donc réduire le nombre de bagues fixées sur le streamer pour obtenir l'immersion souhaitée.

Si la profondeur de mise en œuvre X est supérieure à 10 m, il faut modifier la valeur buoyancy à laquelle on doit se ramener de la façon suivante (cf. manuel p.292) :

La valeur Buoyancy_at_depth_10m est celle indiquée dans les tableaux du manuel Sercel.

$$\text{Buoyancy_at_depth_X} = \text{Buoyancy_at_depth_10m} - [0.1 \text{ kg/m} \times (\text{depth 'X'} - 10)];$$

D'après Sercel, si la profondeur de mise en œuvre est inférieure à 10 m, il n'y a pas de correction à prendre en compte.

- **Estimation SG (Specific Gravity)**

Dans le tableau du manuel installation (tableau 8.5, p. 283) qui permet d'estimer la valeur SG à partir de T et S, les valeurs de salinité sont échantillonnées seulement tous les 5 psu, ce qui n'est pas très précis. Pour des valeurs de salinité différentes de celles de la table, il est préférable de ré-estimer la valeur SG (par exemple avec TEOS-10).

- **Ordre de mise en place des bagues**

Pour les sections Sentinel RD, inter-trace 6.25 m, l'ordre de fixation des bagues est le suivant :

W7-W4-W10-W2-W9-W5-W12-W1-W11-W6-W8-W3

- **Poids d'une bague**

Le poids des bagues (jaunes ou noires) dans l'eau est de 0.92 kg. Cette valeur correspond a priori à T 22°C et SG 1.018, mais les variations du poids en fonction de SG ne sont pas précisées par Sercel et on estime que ce poids est constant (l'erreur est négligeable).

- **Cas de faible densité de l'eau**

Si la densité de l'eau est très faible (SG faible, par exemple en raison d'une salinité très faible), il est nécessaire d'avoir une très grande flottabilité du streamer. Une fois que toutes les bagues (noires et jaunes) sont retirées, il n'y a pas d'autre moyen d'alléger le streamer (il n'existe pas de système de flottabilité à ajouter à la place des bagues).

- **Calcul d'équilibrage à partir des données usine**

Pour estimer le nombre de bagues à ajouter dans un environnement T et S donné, on ne peut pas repartir directement des données usine du streamer comme pour l'équilibrage avec les bagues jaunes, car on ne connaît pas le CIW dans les conditions T° et S de la zone d'acquisition.