

**Avis scientifique sur l'efficacité du géoradar
pour la détection des sacs de sable et
d'agglomérats d'hydrocarbures enfouis dans les
milieux dunaires des Îles-de-la-Madeleine**

Rapport de recherche No R-1180

Novembre 2009

Avis scientifique sur l'efficacité du géoradar pour la détection des sacs de sable et d'agglomérats d'hydrocarbures enfouis dans les milieux dunaires des Îles-de-la-Madeleine

Bernard Giroux

Institut national de la recherche scientifique
Centre Eau Terre Environnement

Rapport de recherche 1180

6 novembre 2009

Résumé

Le 7 septembre 1970, la barge *Irving Whale* coulait dans le golfe du Saint-Laurent, provoquant un déversement de pétrole qui a atteint les rives des Îles-de-la-Madeleine. La stratégie d'intervention de l'époque a consisté à ensacher les hydrocarbures échoués et à enfouir les sacs dans les dunes avoisinantes. Les sites touchés et le nombre de sacs enfouis n'ont pas été répertoriés, et on cherche maintenant à évaluer les méthodes qui permettraient de les localiser avec un minimum d'impact sur le milieu dunaire. Des simulations numériques réalisées en se basant sur les caractéristiques connues des sacs et un modèle simpliste du milieu dunaire ont permis de déterminer que le géoradar offre un potentiel intéressant pour répondre à ce besoin. Il faut cependant effectuer des essais plus approfondis sur un site connu et mieux caractérisé pour déterminer l'influence des paramètres qui n'ont pu être considérés dans cette étude, soit principalement le degré d'hétérogénéité et les variations d'humidité au sein des milieux dunaires, ainsi que la représentativité des propriétés physiques estimées pour le contenu des sacs.

Advenant que le potentiel de la méthode soit confirmé, il apparaît cependant difficile d'envisager que le géoradar puisse être utilisé pour couvrir l'ensemble des dunes suspectées de contenir des sacs, compte tenu du temps requis pour faire les mesures (de l'ordre de 50 min par km linéaire). La technique serait mieux adaptée pour investiguer une zone bien ciblée, par exemple une zone définie par un périmètre centré sur un point où un ou des sacs ont ressurgi.

Table des matières

Résumé	iii
Introduction	1
Objectifs	1
Principe général du géoradar	2
Méthodologie	3
Généralités	3
Propriétés des dunes	3
Propriétés des sacs	5
Modèle numérique	6
Résultats	7
Conclusion et recommandations	10
Références	11
Annexes	12
Sac seul à 1 m de profondeur	12
Sac seul à 2 m de profondeur	13
Sac seul à 3 m de profondeur	14
Sac seul à 4 m de profondeur	15
Empilement à 1 m de profondeur	16
Empilement à 2 m de profondeur	17
Empilement à 3 m de profondeur	18
Empilement à 4 m de profondeur	19
Empilement à 5 m de profondeur	20
Sac seul à 1 m de profondeur, niveau phréatique à 1 m	21
Sac seul à 2 m de profondeur, niveau phréatique à 2 m	22
Sac seul à 3 m de profondeur, niveau phréatique à 3 m	23
Sac seul à 4 m de profondeur, niveau phréatique à 4 m	24
Sac seul à 5 m de profondeur, niveau phréatique à 5 m	25

Introduction

Les hydrocarbures déversés par l'*Irving Whale* en 1970 ont atteint les rives des Îles-de-la-Madeleine (IDM) et ont souillé environ 80 km de plage. À l'époque, la méthode d'intervention utilisée pour nettoyer les plages consistait à ensacher les hydrocarbures échoués et à enfouir les sacs dans les dunes avoisinantes. Les endroits où ont été enfouis les sacs demeurent inconnus à ce jour puisqu'il n'existe aucun registre détaillé des sites d'enfouissement. On sait cependant que la règle de base dictée aux travailleurs de l'époque était de mettre les sacs à un endroit assez loin du bord de la mer et protégé des intempéries. Ainsi, dépendamment de la configuration du littoral, les sacs ont été déposés dans des tranchées, des trous ou des cavités naturelles avant d'être recouverts de sable dans les secteurs de la Dune de l'Ouest, de la Dune du Nord et de la Dune de l'Est.

Depuis 1996, la stratégie d'intervention en vigueur consiste à « *intervenir lorsque les sacs refont surface dû aux mouvements des dunes* » afin de préserver l'intégrité physique et biologique des milieux dunaires. À l'automne 2008, la Garde côtière canadienne (GCC) a mis en place un plan d'action visant à actualiser sa stratégie d'intervention en matière de récupération des sacs. L'un des volets de ce plan d'action vise à examiner les différentes techniques pour repérer les sacs dans le milieu dunaire. Pour y parvenir, il s'avère pertinent de colliger des informations en ce qui a trait aux technologies de détection envisageables pour localiser les sacs enfouis depuis près de 40 ans.

La GCC s'intéresse aux méthodes de détection des sacs qui sont non destructives pour les milieux dunaires et qui offrent un niveau d'efficacité suffisamment élevé pour réduire au minimum la marge d'erreur advenant le cas où les sacs devraient être extraits.

Au cours de la dernière année, les spécialistes consultés par la GCC ont affirmé que le géoradar serait la technique la plus appropriée pour détecter les sacs enfouis dans les dunes. Pour soutenir cette affirmation, la GCC désire obtenir un avis scientifique qui servira à documenter le potentiel de détection des sacs par le géoradar.

Objectifs

Le principal objectif visé par cet avis scientifique est d'évaluer le potentiel d'utilisation du géoradar aux fins de détection des sacs de sable et d'agglomérats d'hydrocarbures enfouis dans le cordon dunaire des Îles-de-la-Madeleine. Pour y parvenir, il est nécessaire :

- d'estimer l'efficacité et le niveau de résolution pouvant être atteint par le géoradar en fonction du contraste *probable* entre les propriétés physiques des sacs à détecter et du milieu encaissant (dunes de sable);
- d'identifier les limites/contraintes liées à l'utilisation du géoradar.

Principe général du géoradar

Le géoradar est une méthode géophysique qui permet de cartographier les structures souterraines présentant un contraste de permittivité diélectrique (Davis et Annan, 1989). Dans un milieu poreux comme des sables, la variation de la teneur en eau est le facteur principal déterminant ce contraste. Ainsi, une variation de la porosité et/ou de la saturation en eau dans le milieu générera une réponse mesurable avec le géoradar si (1) le contraste est suffisamment élevé pour générer un signal plus énergétique que le bruit ambiant, et (2) si ce contraste se situe à une profondeur à l'intérieur des limites de détectabilité de la méthode.

Le principe d'opération est le suivant. Une impulsion électromagnétique de haute fréquence est émise par une antenne. Cette impulsion induit une onde électromagnétique EM qui se propage dans le sol. Lorsque cette onde parvient à une structure présentant un contraste de propriété diélectrique, une partie de l'énergie de l'onde est réfléchiée ou réfractée. L'énergie réfléchiée et réfractée est enregistrée à une antenne réceptrice. La mesure de cette onde permet de construire une image du sous-sol.

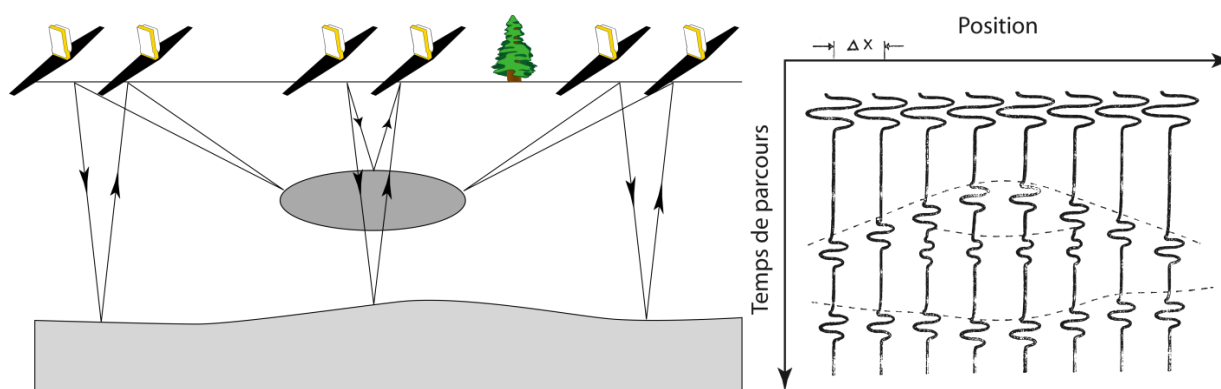


Figure 1 - Illustration du principe du géoradar.

L'onde EM est atténuée dans le sol, et sa profondeur de pénétration est finie. La fréquence de l'onde et la conductivité électrique du milieu dictent la profondeur de pénétration de l'onde. La fréquence influence également la résolution de la technique, c'est-à-dire la capacité à imager des objets ou structures de petites dimensions. Plus la fréquence est élevée, meilleure est la résolution, mais plus faible est la pénétration. Les équipements peuvent être utilisés avec des antennes de différentes fréquences, et il s'agit de déterminer quelle antenne offre le meilleur compromis entre pénétration et résolution.

La Figure 2 montre l'équipement utilisé par l'INRS. Cette photo montre les antennes, qui sont dans ce cas montées sur des patins en bois. Les patins sont tractés par un 2^e opérateur tandis que le système acquiert les données en continu. La vitesse de progression est relativement lente, pour permettre un échantillonnage adéquat. Cette vitesse est de l'ordre de 50 minutes par km linéaire. Le positionnement est fait automatiquement grâce à un GPS relié à la console.



Figure 2 – Système radar ProEx avec antennes 200 MHz. L'unité principale d'acquisition est dans un sac sur le dos de l'opérateur. Un moniteur maintenu sur l'abdomen permet de contrôler les paramètres d'acquisition et de vérifier la qualité des données en temps réel.

Méthodologie

Généralités

Pour répondre aux objectifs fixés, il faudrait pouvoir effectuer des mesures sur un site où il est connu que des sacs sont enfouis, ce qui n'est actuellement pas possible. Néanmoins, la réponse du géoradar qui serait mesurée au dessus d'un empilement de sacs enfouis peut être simulée grâce à la modélisation numérique. Il faut cependant connaître les propriétés physiques du contenu des sacs ainsi que du milieu encaissant. Comme il a été mentionné, le paramètre déterminant est la teneur en eau (notée θ), qui est relié à la permittivité diélectrique (notée ϵ). Il existe plusieurs relations, théoriques et empiriques, qui permettent de relier quantitativement θ à ϵ^a . Dans ce travail, la relation de Topp *et al.* (1980) a été utilisée.

Propriétés des dunes

Des mesures ont été réalisées aux Îles-de-la-Madeleine par une équipe de l'INRS au cours de la semaine du 5 au 9 octobre. Ces mesures ont permis de déterminer de façon sommaire les propriétés du milieu encaissant. Deux profils ont été acquis dans le secteur de la Dune de l'Ouest (voir Figure 3), l'un avec des antennes 100 MHz et l'autre avec des antennes 200 MHz.

^a Dans la suite du document, on parlera de permittivité relative ϵ_r , qui est la permittivité diélectrique du matériau normalisée par la permittivité diélectrique du vide ϵ_0 , soit $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$.



Figure 3 – Localisation des profils à la Dune de l'Ouest.

Un système GPS a permis de localiser la position des mesures. Malheureusement, la précision verticale du positionnement n'est pas suffisante pour effectuer une correction topographique des mesures. Les profils sont donc présentés sans cette correction (Figure 4 et Figure 5). Les positions sont données en annexe (page 26).

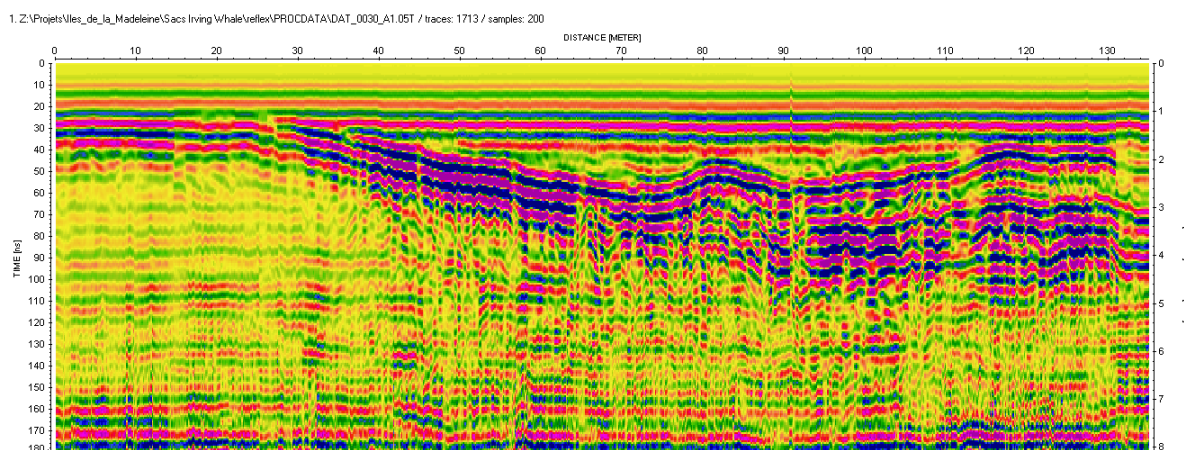


Figure 4 – Profil acquis à la Dune de l'Ouest avec les antennes 100 MHz.

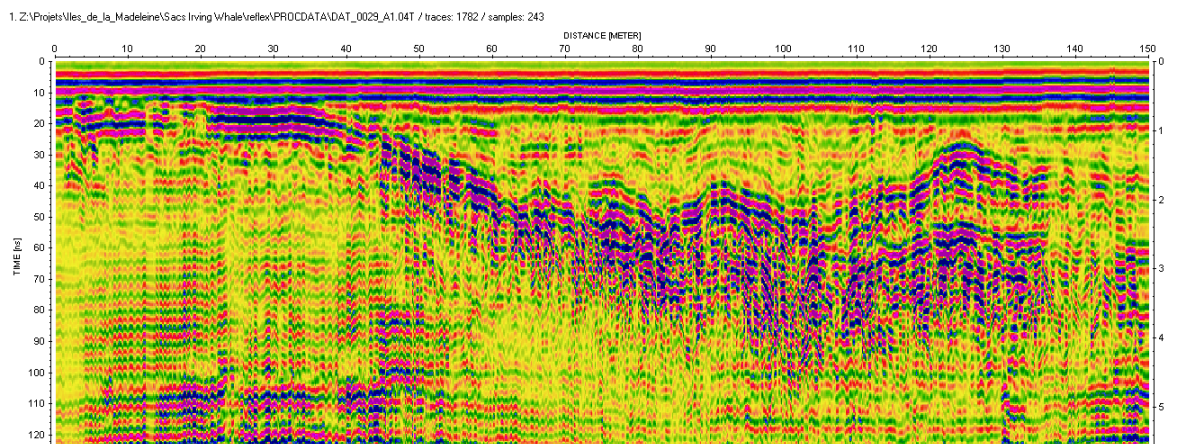


Figure 5 - Profil acquis à la Dune de l'Ouest avec les antennes 200 MHz.

Une analyse sommaire a permis d'estimer la vitesse de propagation de l'onde radar dans les dunes à environ 0.09 m/ns. Cette vitesse correspond à une valeur moyenne de permittivité relative de **11.1^b**. Par ailleurs, la profondeur d'investigation approximative est de 5m dans le cas des antennes 100 MHz et de 4m dans le cas des 200 MHz. La résolution verticale théorique (définie comme $\lambda/4$, où λ est la longueur de l'onde radar) est estimée à 23cm pour les antennes 100 MHz et 11 cm pour les antennes 200 MHz. La longueur d'onde est déterminée à partir de la vitesse de propagation v et de la fréquence f , tel que $\lambda = v/f$. Plus la résolution verticale est fine, meilleure est la capacité à distinguer des couches ou objets minces.

Propriétés des sacs

Les propriétés du contenu des sacs sont estimées à partir des caractéristiques d'échantillons prélevés dans certains sacs au fil des ans et de la littérature scientifique (Olhoeft, 1981; Schön, 2004). Véronique Gagnon (GCC) m'a transmis des valeurs de teneur en eau *massique* mesurées sur quatre échantillons de sable contenu dans des sacs prélevés lors de deux interventions réalisées en août 2008 (20080638) et en mai 2009 (20081018). Ces valeurs sont les suivantes :

- Cas # 20081018:
 - Échantillon 20081018-02: **5%**
 - Échantillon 20081018-04: **6%**
 - Échantillon 20081018-07: **4%**
- Cas # 20080638:
 - Échantillon 1255345: **4%**

La relation de Topp relie la teneur en eau *volumique* à la permittivité; les valeurs doivent donc être converties. Par définition, la teneur en eau *massique* est le rapport entre le poids de l'eau et le poids de la fraction sèche, et la teneur en eau *volumique* est le rapport entre le volume d'eau et le volume total de l'échantillon. Pour faire la conversion, il faut connaître la masse volumique et les proportions des différents éléments contenus dans le sac. Malheureusement, la nature peu documentée des nodules d'hydrocarbures ne me permet pas d'estimer la masse volumique de ce

^b Dans les milieux de faible conductivité électrique, la permittivité relative du milieu est égale à $(c/v)^2$, où c est la vitesse de la lumière et v est la vitesse de l'onde radar dans le milieu.

constituant. Compte tenu qu'en moyenne les nodules comptent pour une proportion faible (7.6%) et que l'on cherche ici à obtenir un ordre de grandeur représentatif, on supposera que le contenu des sacs est constitué uniquement de sable et d'eau. Des valeurs de masse volumique de 1.0 et 2.3 g/cm³ ont été utilisées pour l'eau et le sable respectivement. On obtient alors les valeurs suivantes :

- Cas # 20081018:
 - Échantillon 20081018-02: **10.3%** (vol)
 - Échantillon 20081018-04: **12.1%** (vol)
 - Échantillon 20081018-07: **8.4%** (vol)
- Cas # 20080638:
 - Échantillon 1255345: **8.4%** (vol)

La relation de Topp nous permet d'obtenir les valeurs de permittivité relatives suivantes :

- Cas # 20081018:
 - Échantillon 20081018-02: $\epsilon_r = 5.5$
 - Échantillon 20081018-04: $\epsilon_r = 6.2$
 - Échantillon 20081018-07: $\epsilon_r = 4.8$
- Cas # 20080638:
 - Échantillon 1255345: $\epsilon_r = 4.8$

Si on considère maintenant le cas un peu plus réaliste pour lequel le contenu des sacs n'est pas complètement saturé, et que 5% du volume est occupé par de l'air, on remarque que la permittivité relative du contenu diminue légèrement :

- Cas # 20081018:
 - Échantillon 20081018-02: $\epsilon_r = 5.3$
 - Échantillon 20081018-04: $\epsilon_r = 5.9$
 - Échantillon 20081018-07: $\epsilon_r = 4.7$
- Cas # 20080638:
 - Échantillon 1255345: $\epsilon_r = 4.7$

Par rapport à la valeur de permittivité de 11.1 pour la dune, les sacs offrent *a priori* un bon contraste avec une valeur maximale estimée ici 6.2.

Modèle numérique

Deux propriétés physiques doivent être définies pour construire le modèle numérique : la permittivité diélectrique et la conductivité électrique. La permittivité a été estimée dans les sections précédentes. Une valeur de 6.0 est retenue car elle correspond à la limite supérieure des valeurs obtenues, et qu'une valeur plus faible occasionnera une réflexion plus forte de l'onde puisque le contraste de permittivité avec le milieu sera plus élevé. On modélise en quelque sorte le scénario du pire. Les valeurs de conductivité ont été déterminées en se basant sur mon expérience personnelle. La Tableau 1 regroupe les valeurs utilisées.

Tableau 1 – Propriétés physiques des modèles numériques

Matériau	Permittivité relative	Conductivité électrique
Sable	11.1	0.005 S/m
Sac	6.0	0.001 S/m
Sable saturé d'eau de mer	20.0	0.01 S/m

Différentes géométries ont été simulées : sac seul ou empilement de 25 sacs, profondeur des sacs variable, profondeur de l'interface du niveau phréatique variable. Une ellipse d'axes court et long de 20cm et 50cm respectivement sert à représenter un sac. La taille des sacs est la même dans tout les cas. La Figure 6 illustre deux exemples de modèles.

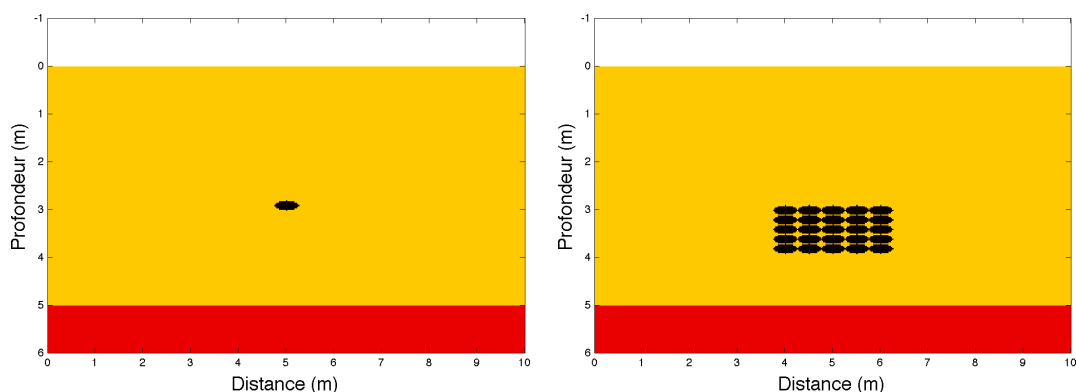


Figure 6 – Exemple de géométries utilisées pour simuler les profils radar.

Résultats

Le programme GprMax (<http://www.gprmax.org>) a été utilisé pour simuler les profils radar. La totalité des profils simulés est présentée en annexe. Pour illustrer la discussion qui va suivre, on présente les profils simulés avec des antennes de 200 MHz pour les modèles de la Figure 6.

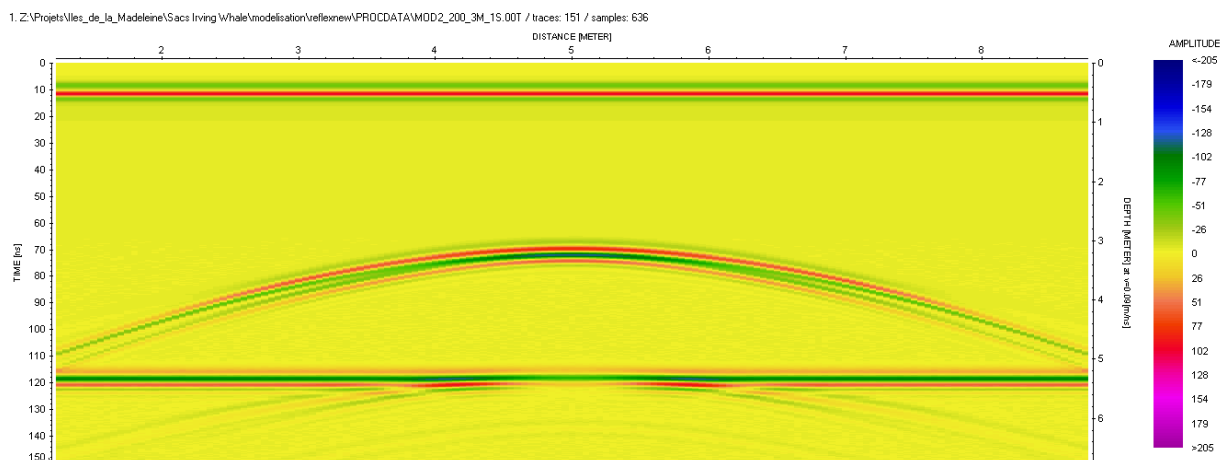


Figure 7 – Profil radar 200 MHz pour le modèle 1 sac de la Figure 6.

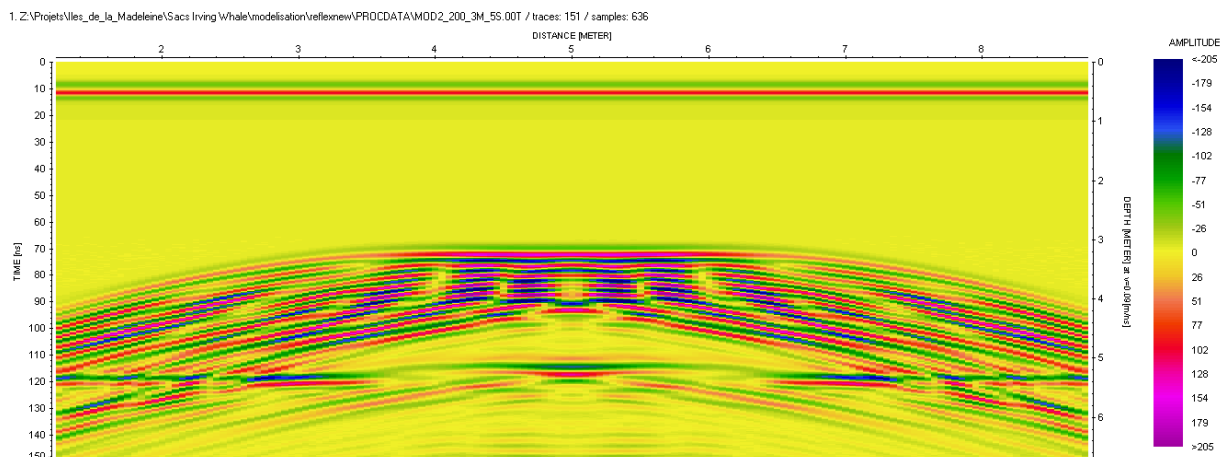


Figure 8 - Profil radar 200 MHz pour le modèle de sacs empilés de la Figure 6.

Les Figure 7 et Figure 8 montrent que le contraste estimé entre le(s) sac(s) et la dune est suffisant pour générer une réflexion nette. Les autres modélisations en annexe montrent que cette réflexion est détectable même pour des sacs enfouis à 5 m de profondeur. La situation est cependant moins claire lorsque le sac est situé à la profondeur du niveau phréatique (page 20 et suivantes).

Par ailleurs, dans le cas de l'empilement (Figure 8), on remarque que les réflexions causées par les sacs génèrent un patron assez complexe. Il est possible d'améliorer l'image par un traitement nommé *migration* (Yilmaz, 2000). Le résultat de ce traitement est illustré à la Figure 9. La migration des profils radar pourrait permettre de réduire des ambiguïtés d'interprétation car, comme le montre la figure, elle améliore la résolution latérale (patron de réflexion moins étalé).

La résolution étant plus faible avec les antennes 100 MHz (voir l'annexe en page 18), il est souhaitable d'utiliser des antennes 200 MHz. Il est à noter que le pas de mesure des profils 200 MHz est de 5 cm, alors qu'il est de 10 cm pour les profils 100 MHz. Un pas de 10 cm permet d'échantillonner adéquatement le sous-sol. Le Tableau 2 donne les valeurs recommandées et maximales pour l'intervalle de mesure.

Tableau 2 – Valeurs recommandées et maximales de l'intervalle de mesure

Fréquence de l'antenne	Intervalle recommandé	Intervalle maximal
200 MHz	0.125 m	0.25 m
100 MHz	0.250 m	0.50 m

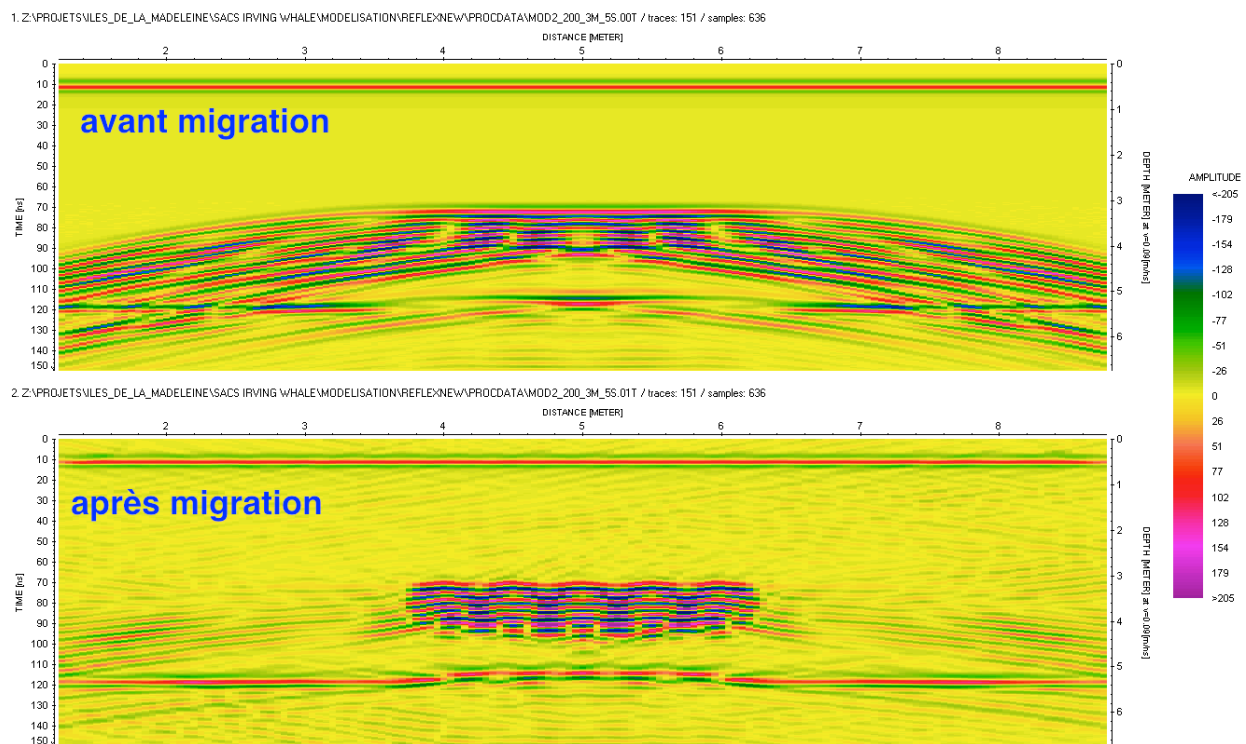


Figure 9 – Exemple du résultat de la migration sur un profil radar. Une migration de type $f-k$ a été appliquée dans ce cas.

Conclusion et recommandations

Les informations disponibles et des résultats de la modélisation numérique indiquent que les sacs génèrent un signal qui se distingue de celui des dunes. Ainsi, la probabilité que le géoradar puisse détecter les sacs est vraisemblablement élevée. Malheureusement, cette probabilité ne peut être quantifiée sur la base seule de ces résultats. Parmi les points qui n'ont pu être évalués dans cette étude, on dénombre les éléments suivants :

- L'hétérogénéité du milieu dunaire n'est pas prise en compte. Il est possible que la structure interne des dunes complique l'interprétation des profils radar.
- La variabilité de la teneur en eau dans les dunes d'un site à un autre ou d'une époque à une autre (saison sèche *versus* saison pluvieuse) n'est pas considérée.
- La position des sacs par rapport au biseau d'eau de mer n'est pas prise en compte. L'eau de mer a une conductivité électrique très élevée, ce qui occasionne une très forte atténuation de l'onde radar. Ainsi la profondeur d'investigation n'est jamais plus profonde que la profondeur du biseau salé. Des sacs situés sous ce niveau ne pourront être détectés avec le géoradar.

Ainsi, des tests sur un site mieux connu sont nécessaires pour valider les résultats présentés dans ce document. Dans le cas où des tests devraient être menés, les éléments suivants sont à considérer :

- Favoriser l'utilisation d'antennes 200 MHz car elles offrent une meilleure résolution que les antennes 100 MHz. L'utilisation d'antennes de fréquences plus élevées ne devrait pas permettre d'obtenir une profondeur d'investigation suffisante compte tenu du fait que, dans le cas rencontré à la Dune de l'Ouest, cette profondeur est limitée à 4 m pour les antennes 200 MHz et à 5 m pour les antennes 100 MHz.
- Utiliser un pas de 10 cm entre les points de mesure le long des profils.
- Pour pouvoir faire une interprétation 3D, la distance maximale entre des profils parallèles est de 25 cm dans le cas des antennes 200 MHz.
- Favoriser l'utilisation d'un GPS différentiel permettant d'obtenir une précision verticale centimétrique, ceci afin de pouvoir effectuer une correction topographique adéquate.

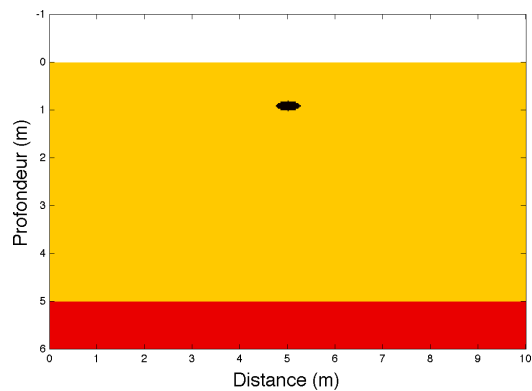
Par ailleurs, compte tenu du temps requis pour faire les mesures (de l'ordre de 50 min par km linéaire), il est difficile d'envisager que le géoradar puisse être utilisé pour couvrir l'ensemble des dunes suspectées de contenir des sacs. La technique serait mieux adaptée pour investiguer une zone bien ciblée, par exemple une zone définie par un périmètre centré sur un point où un ou des sacs ont ressurgi. Des levés 3D, réalisés en effectuant des profils parallèles, seraient alors souhaitables.

Références

- Davis, J.L. et Annan, A.P. 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting* 37, 531-551.
- Olhoeft, G. R., 1981. Electrical properties of rocks, chap. 9 de Physical Properties of Rocks and Minerals, Touloukian, Y. S.; Judd, Y. S. & Roy, R. F. (ed.), McGraw-Hill, 257-330
- Schön, J. H., 2004. Physical properties of rocks: Fundamentals and principles of petrophysics. Helbig, K. & Treitel, S. (ed.), Elsevier.
- Topp, G. C.; Davis, J. L. & Annan, A. P. 1980. Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines. *Water Resources Research*, 16, 574-582.
- Yilmaz, O., 2000. Seismic Data Analysis. Society of Exploration Geophysicists.

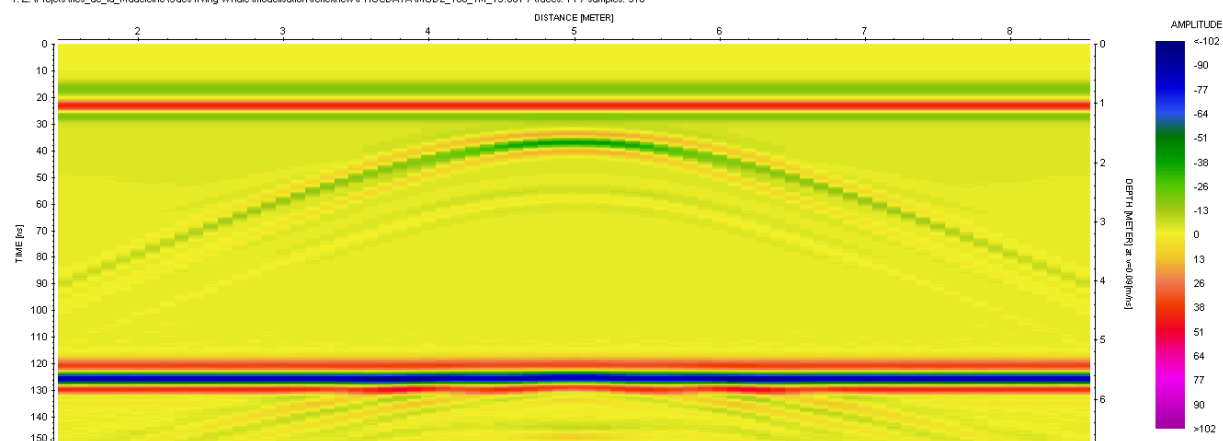
Annexes

Sac seul à 1 m de profondeur



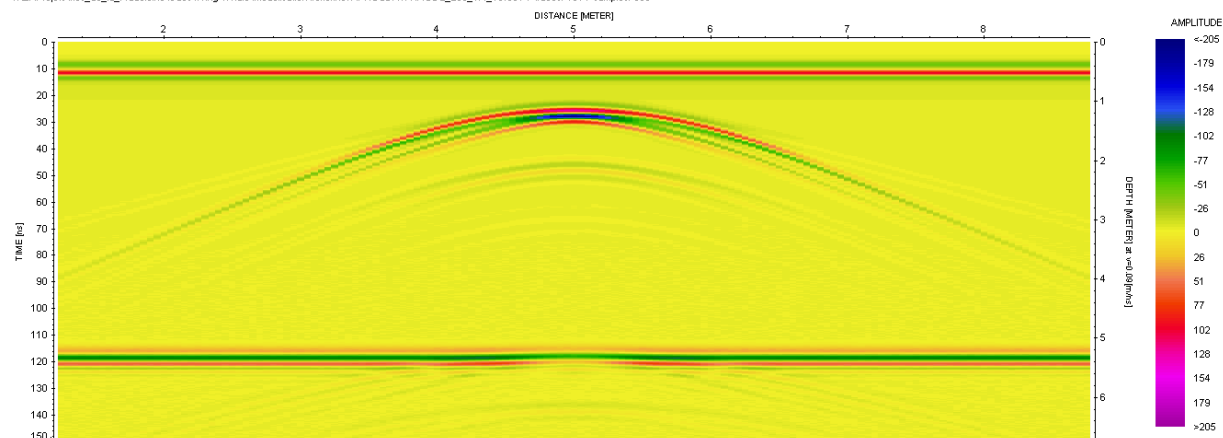
100 MHz

1. Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving Whale\modelisation\veflexnew\PROC DATA\MOD2_100_1M_15.00T / traces: 71 / samples: 318

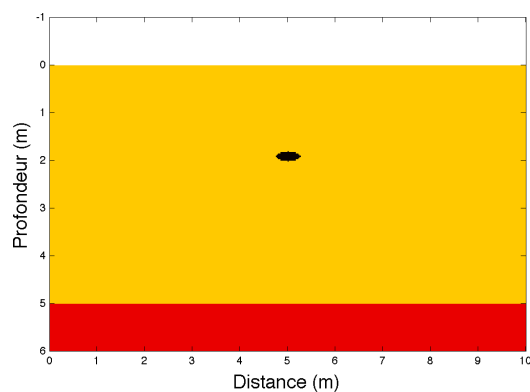


200 MHz

1. Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving Whale\modelisation\veflexnew\PROC DATA\MOD2_200_1M_15.00T / traces: 151 / samples: 636

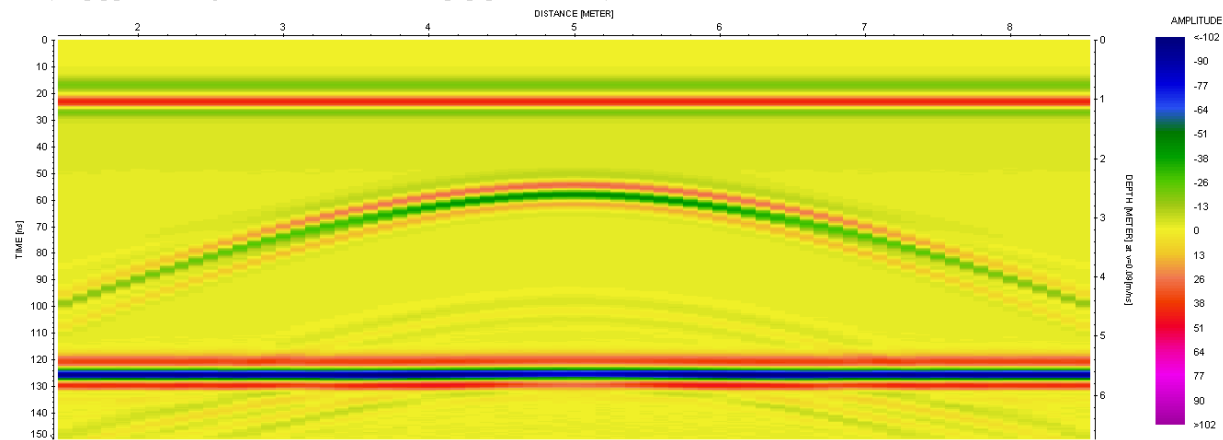


Sac seul à 2 m de profondeur



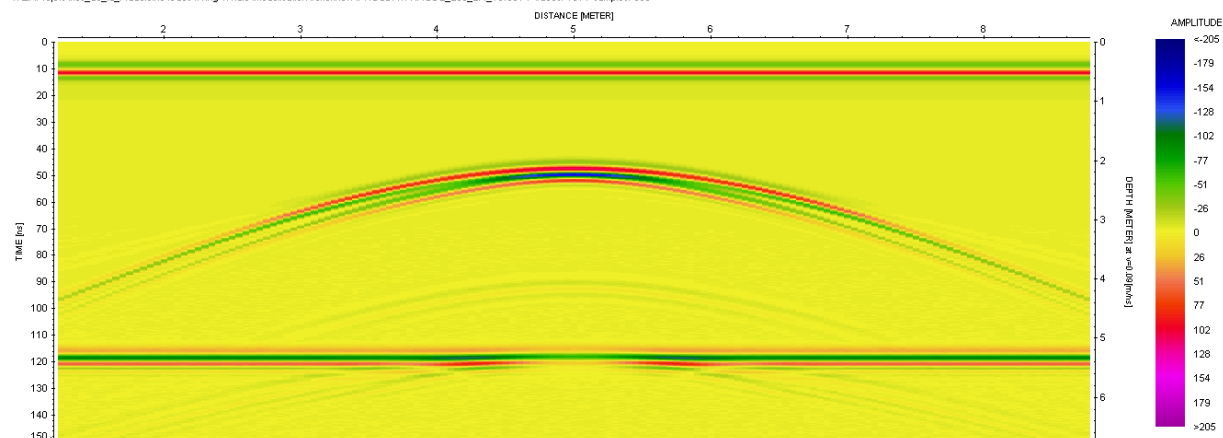
100 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_2M_1S.00T / traces: 71 / samples: 318

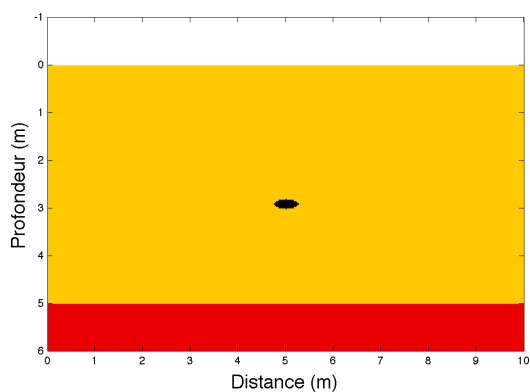


200 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_2M_1S.00T / traces: 151 / samples: 636

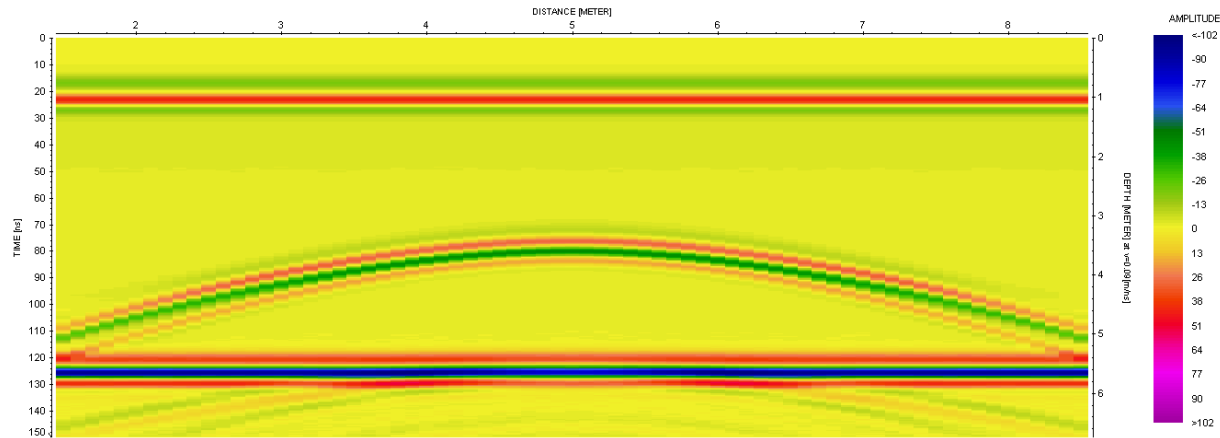


Sac seul à 3 m de profondeur



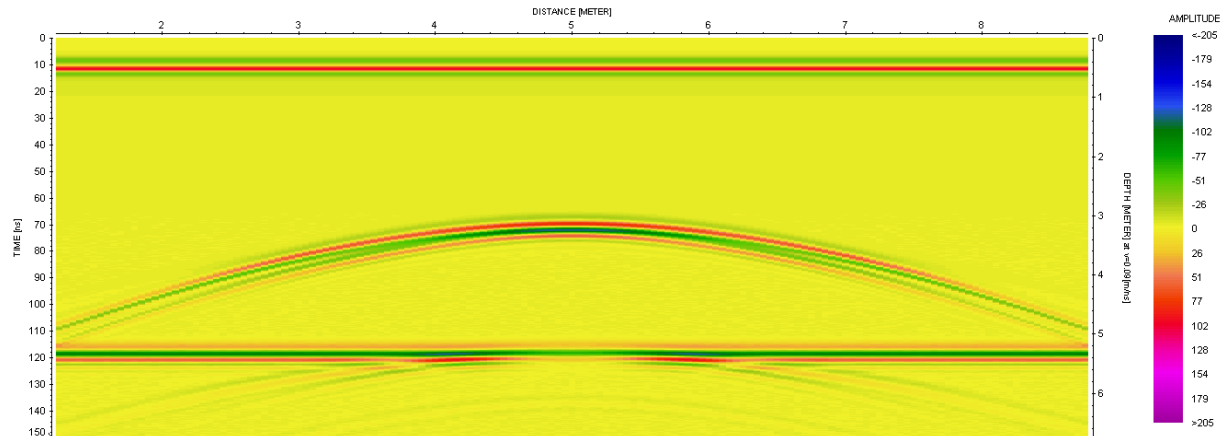
100 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_3M_1S.00T / traces: 71 / samples: 318

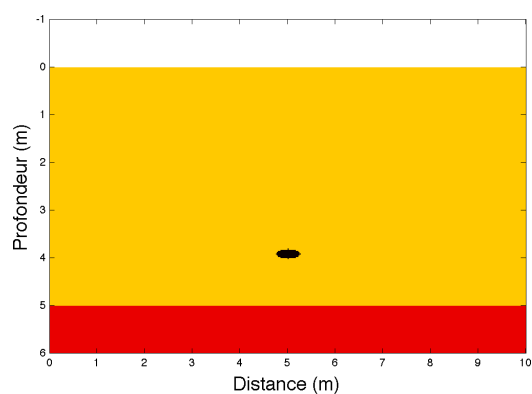


200 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_3M_1S.00T / traces: 151 / samples: 636

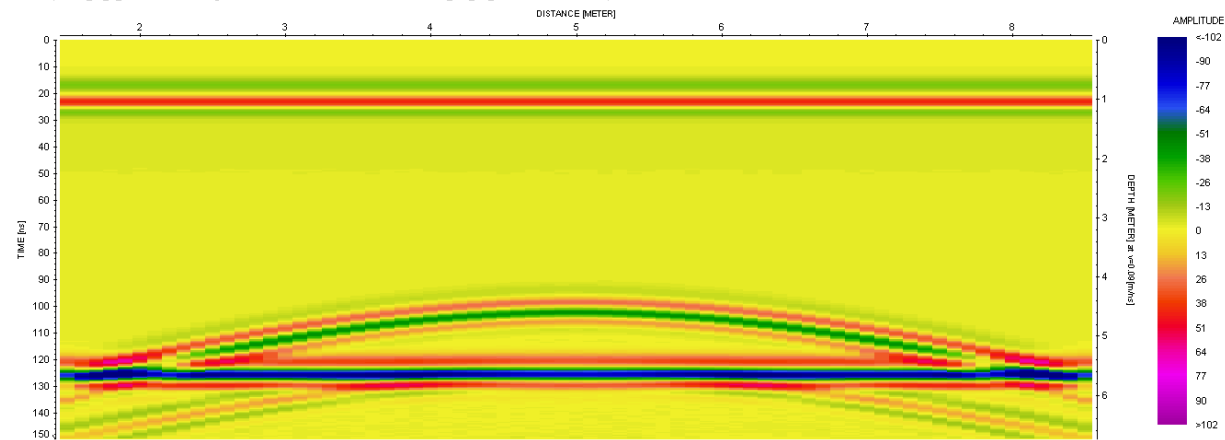


Sac seul à 4 m de profondeur



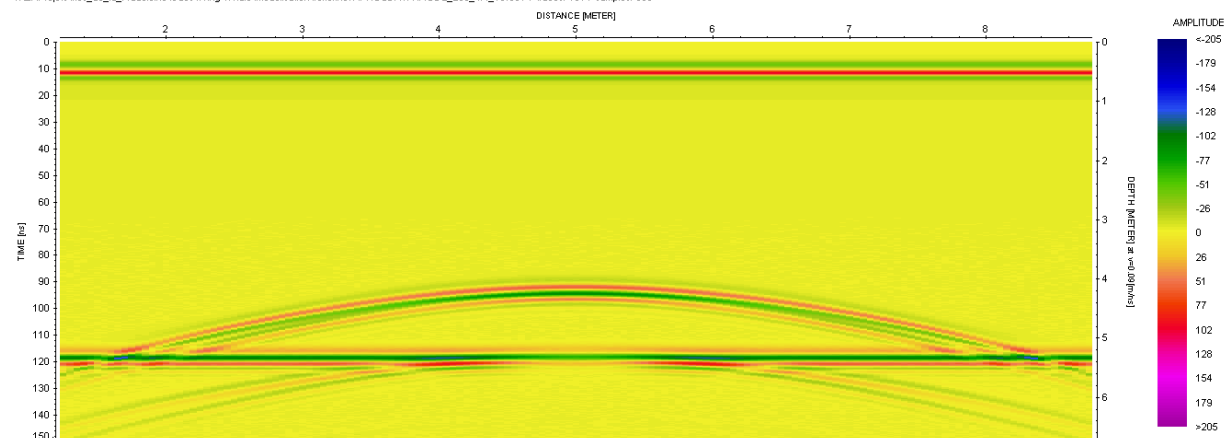
100 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_4M_1S_00T / traces: 71 / samples: 318

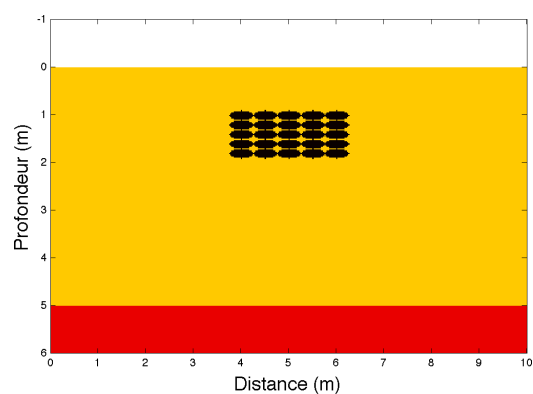


200 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_4M_1S_00T / traces: 151 / samples: 636

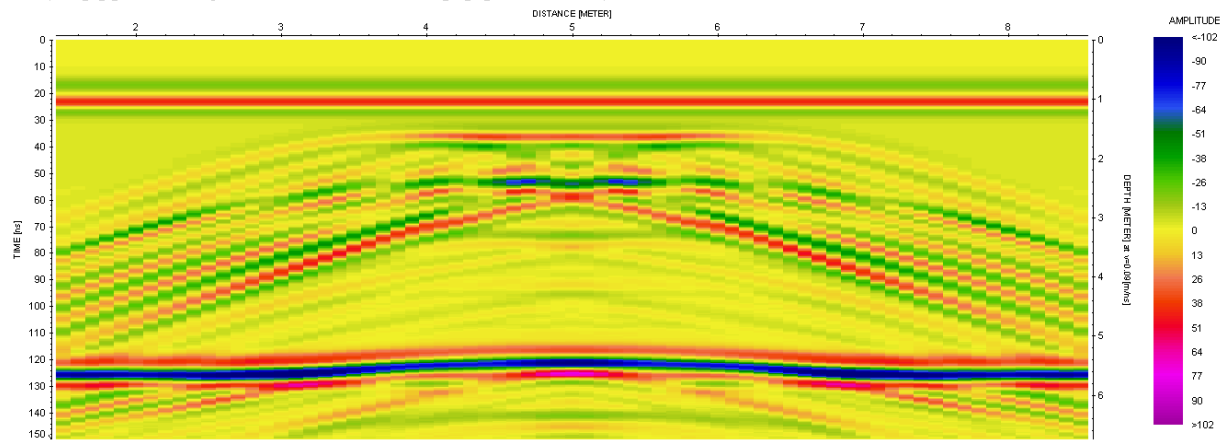


Empilement à 1 m de profondeur



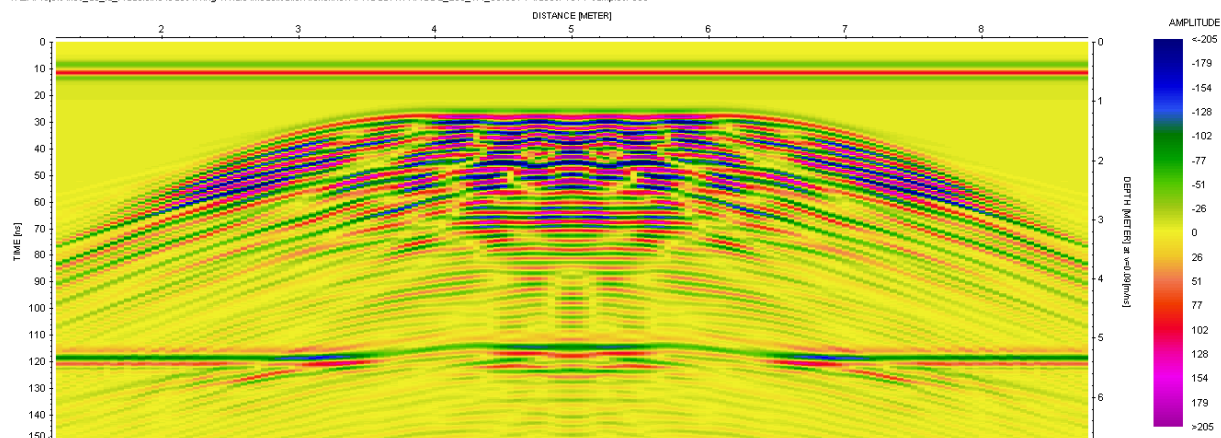
100 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_Ja_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_1M_5S_00T / traces: 71 / samples: 318

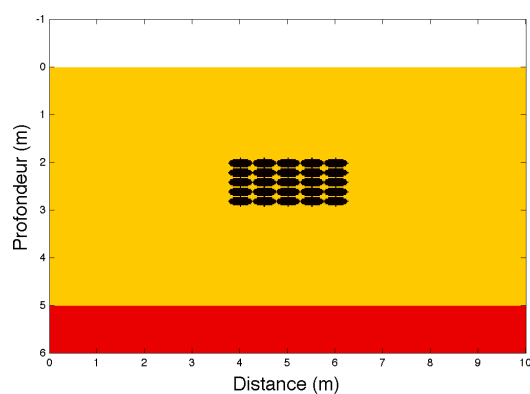


200 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_Ja_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_1M_5S_00T / traces: 151 / samples: 636

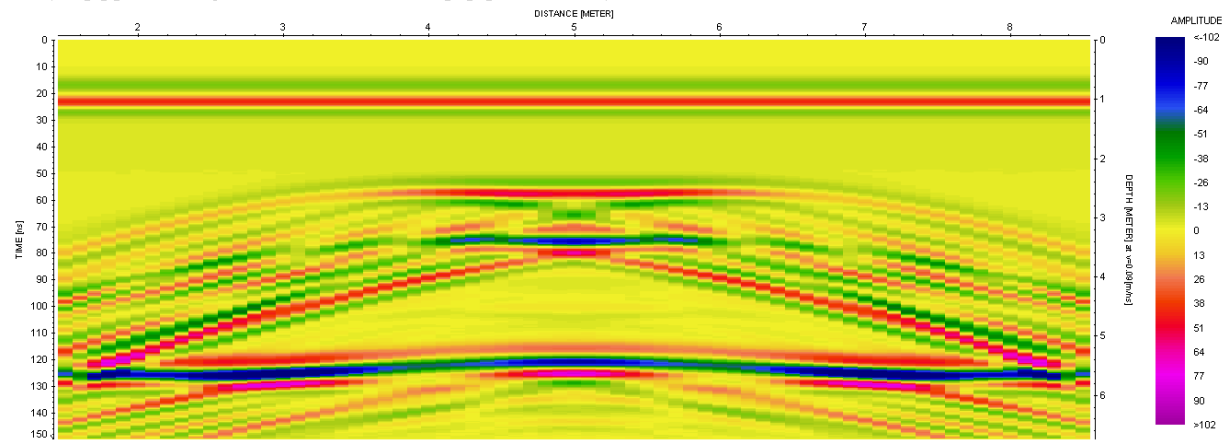


Empilement à 2 m de profondeur



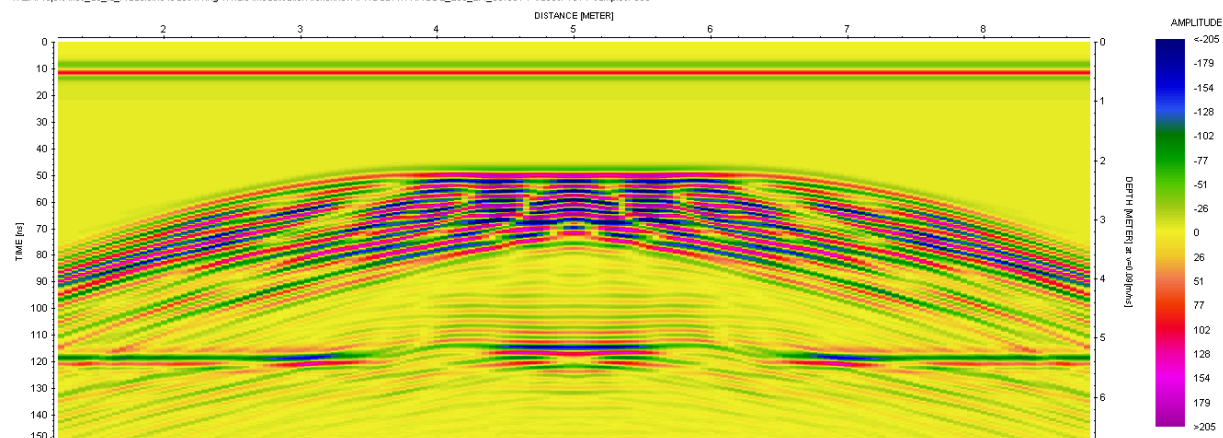
100 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_2M_5S_00T / traces: 71 / samples: 318

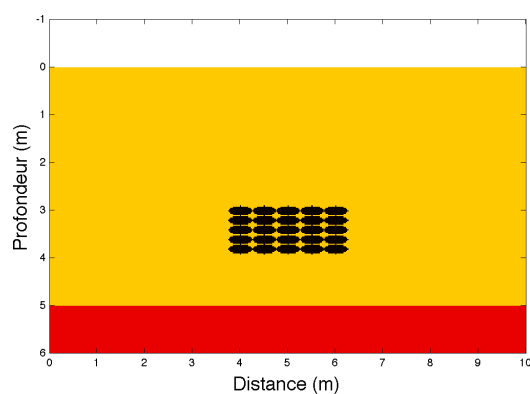


200 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_2M_5S_00T / traces: 151 / samples: 636

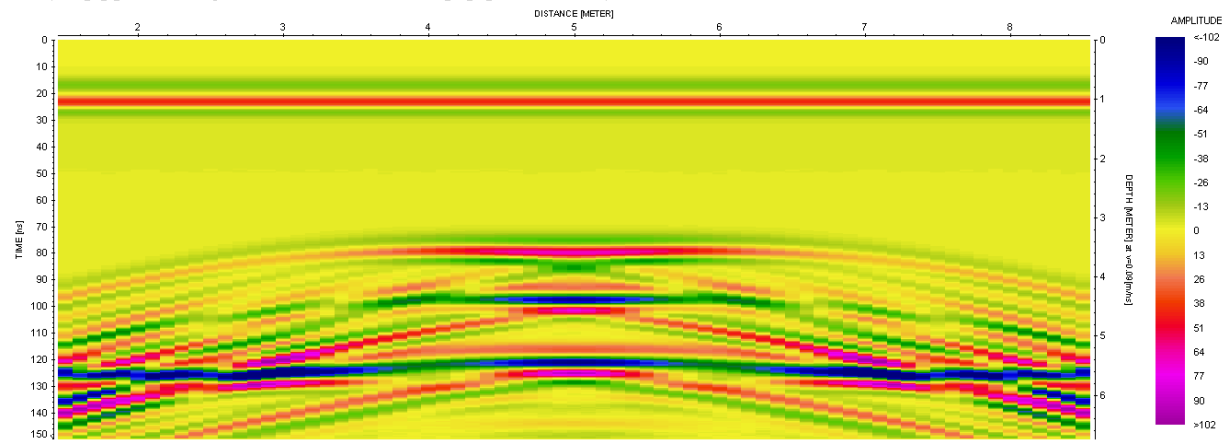


Empilement à 3 m de profondeur



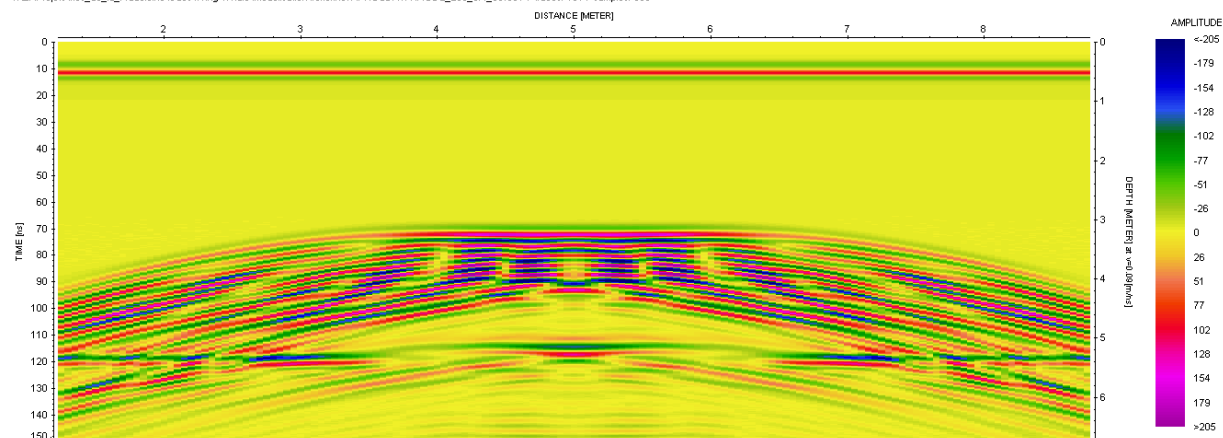
100 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_3M_5S_00T / traces: 71 / samples: 318

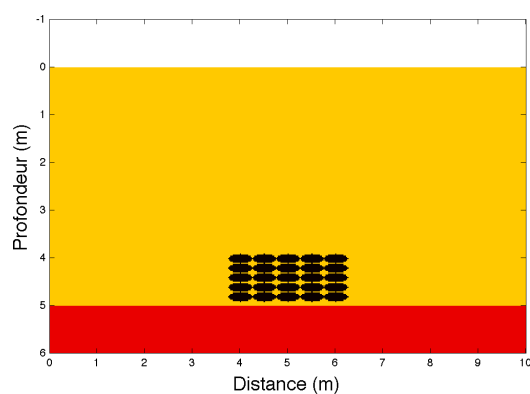


200 MHz

1_Z:\Projets\Viles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_3M_5S_00T / traces: 151 / samples: 636

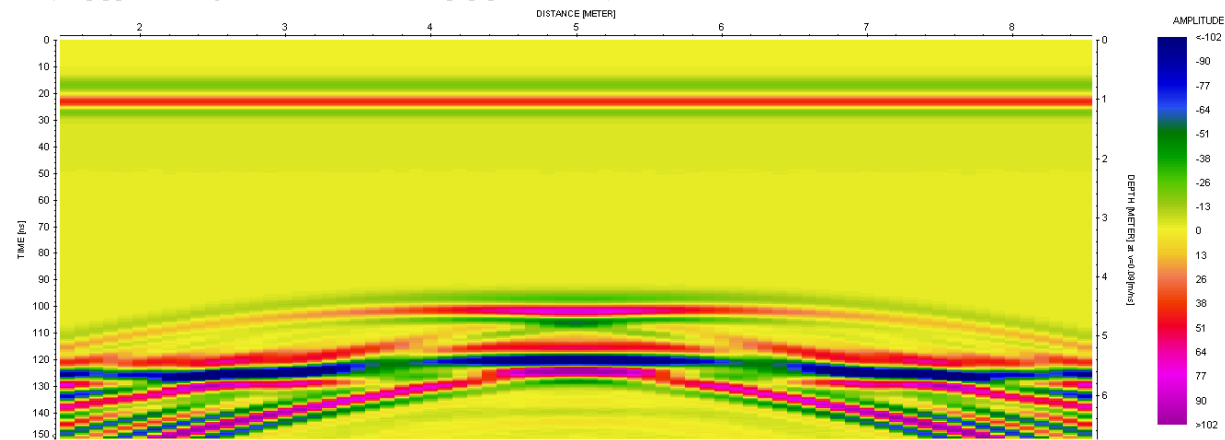


Empilement à 4 m de profondeur



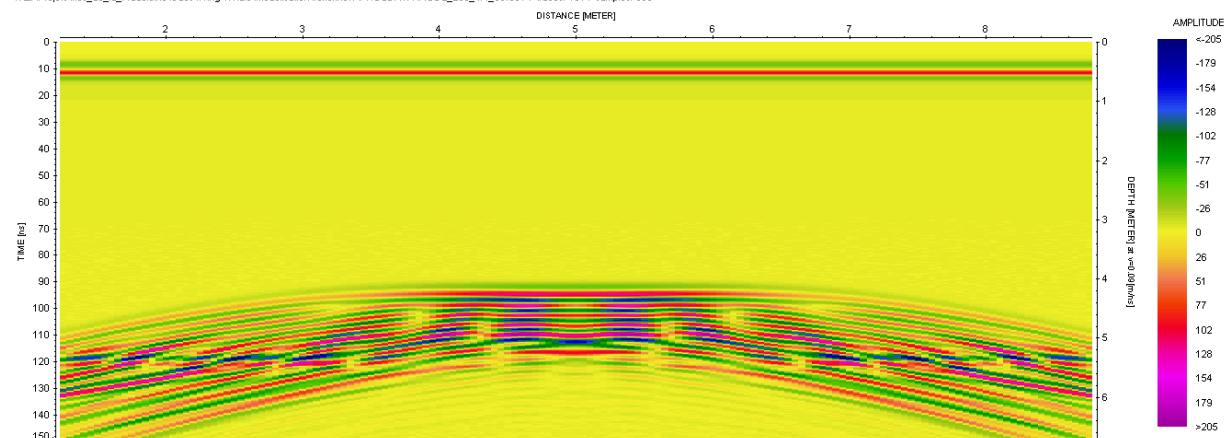
100 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_4M_5S_00T / traces: 71 / samples: 318

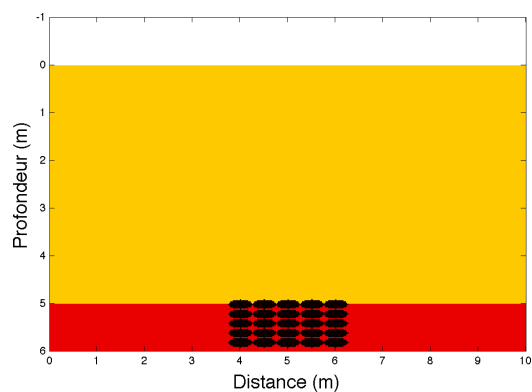


200 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_4M_5S_00T / traces: 151 / samples: 636

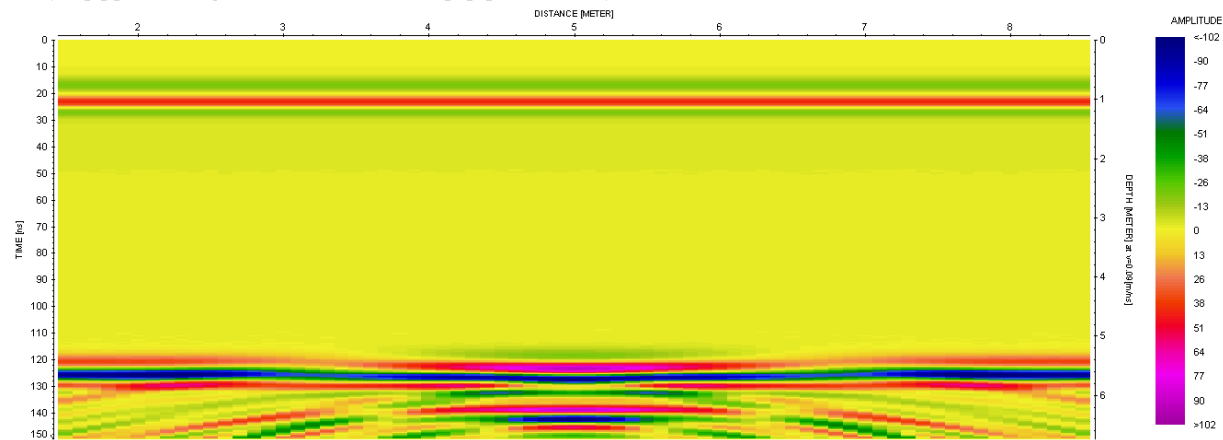


Empilement à 5 m de profondeur



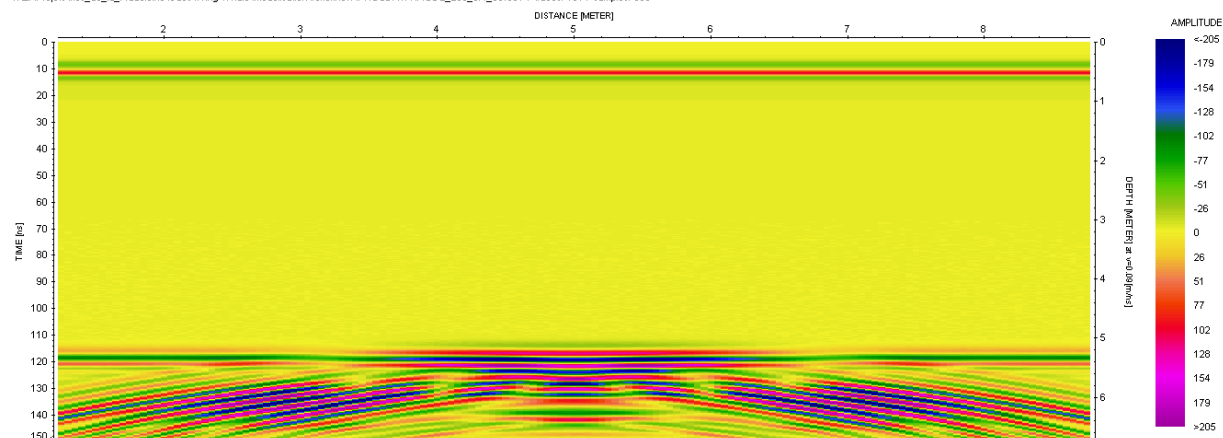
100 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_100_5M_5S_00T / traces: 71 / samples: 318

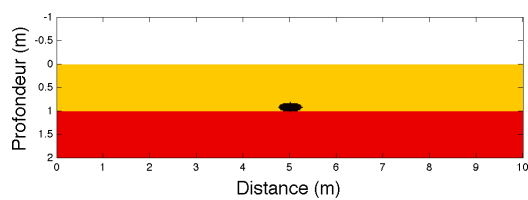


200 MHz

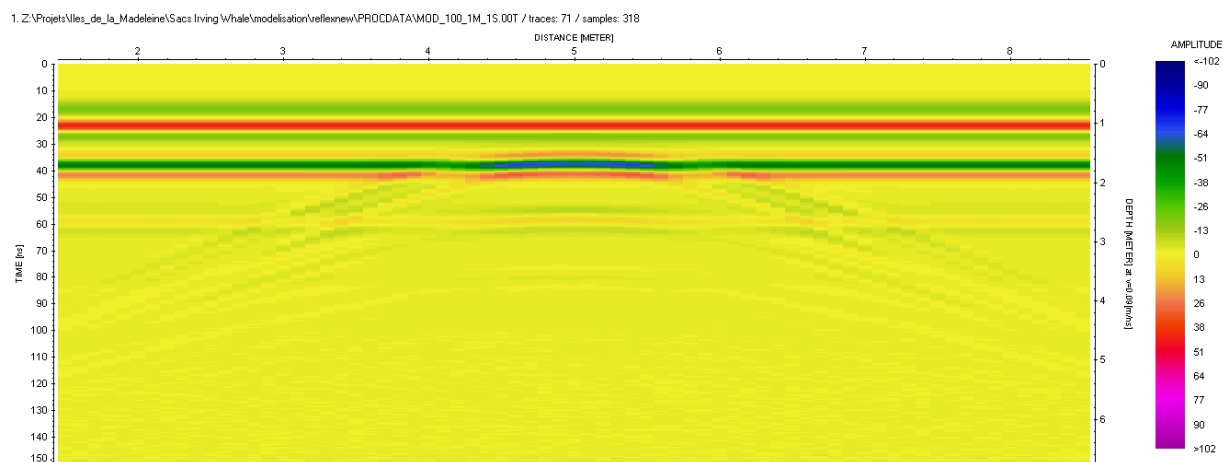
1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD2_200_5M_5S_00T / traces: 151 / samples: 636



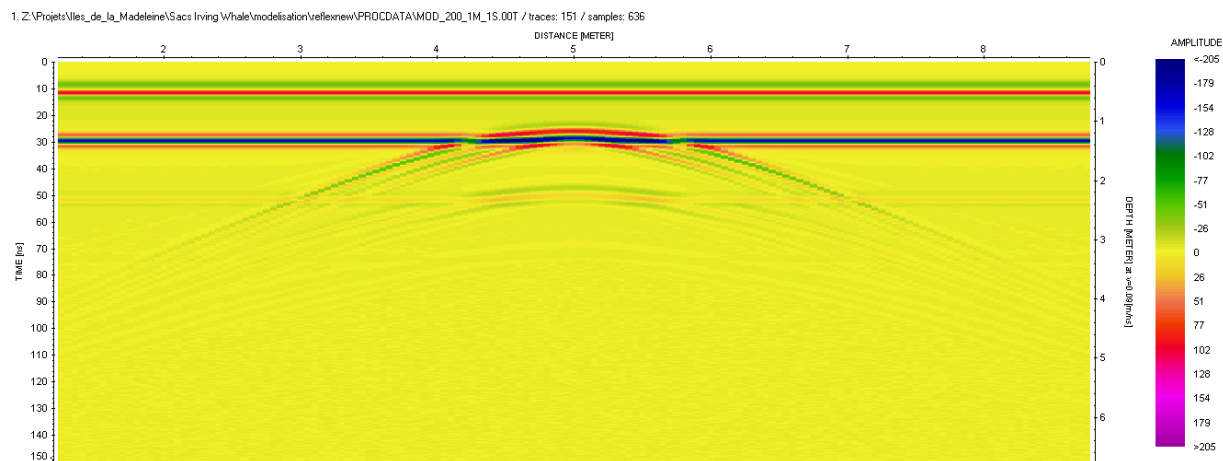
Sac seul à 1 m de profondeur, niveau phréatique à 1 m



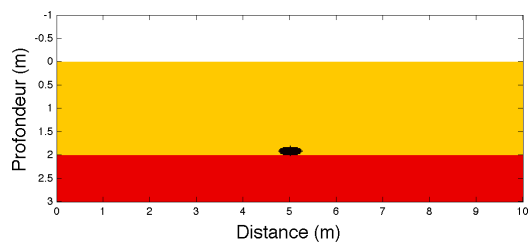
100 MHz



200 MHz

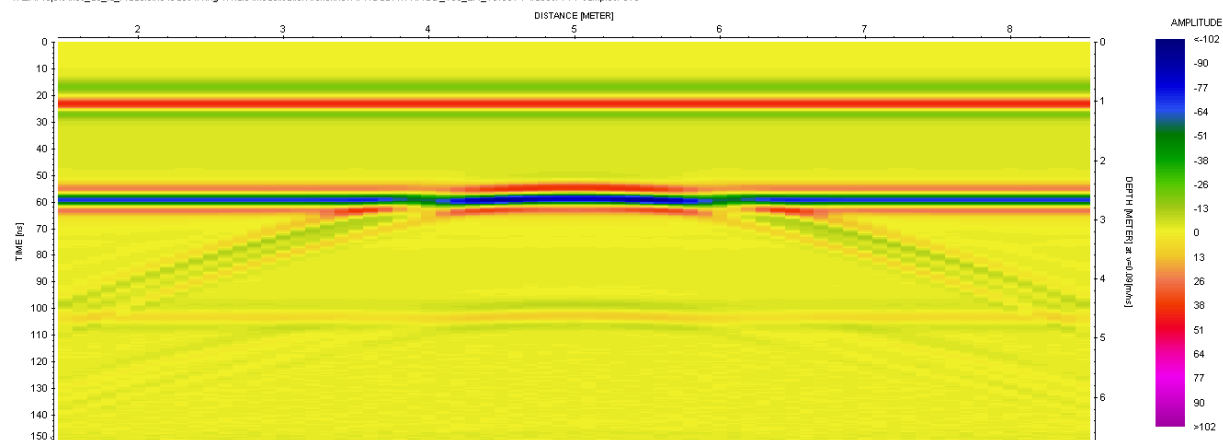


Sac seul à 2 m de profondeur, niveau phréatique à 2 m



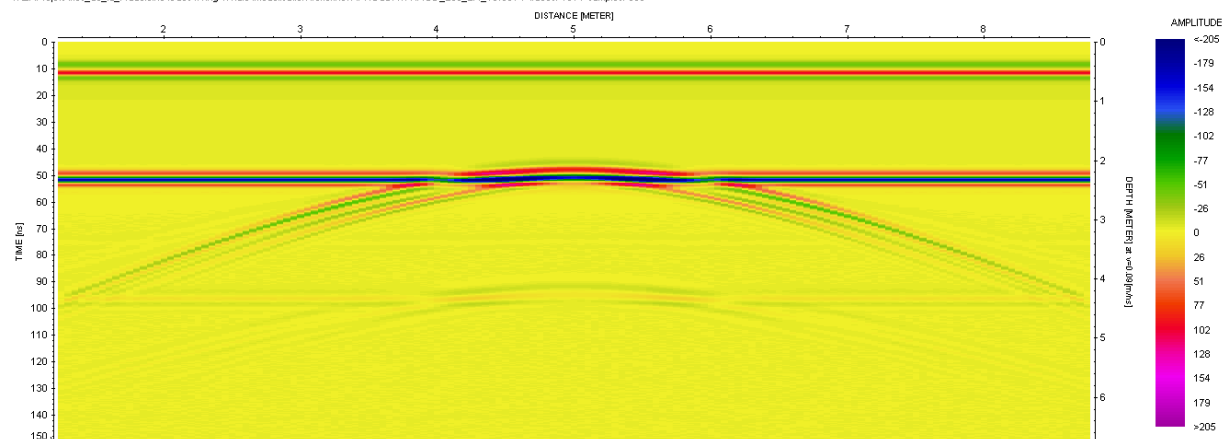
100 MHz

1. Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_100_2M_1S.00T / traces: 71 / samples: 318

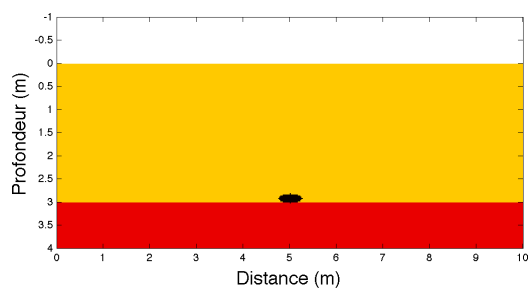


200 MHz

1. Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_200_2M_1S.00T / traces: 151 / samples: 636

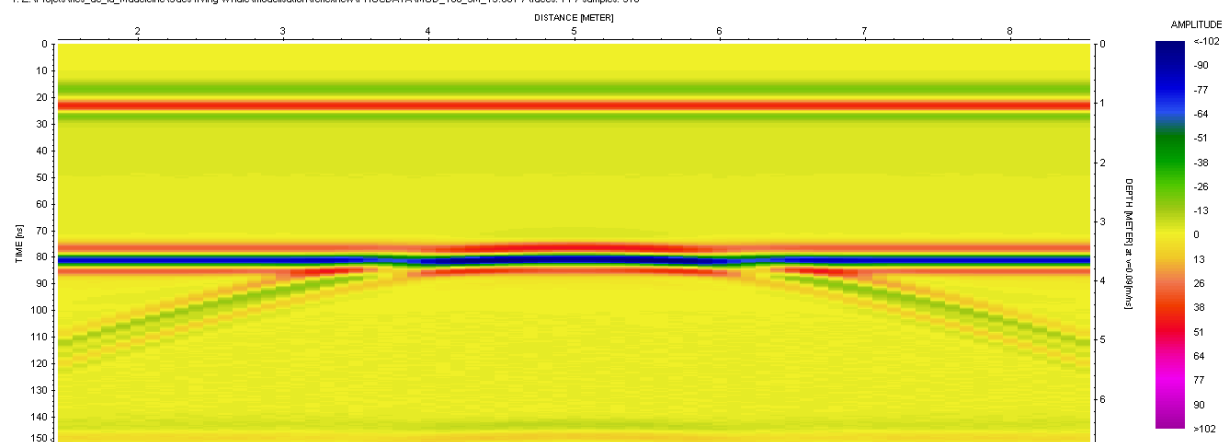


Sac seul à 3 m de profondeur, niveau phréatique à 3 m



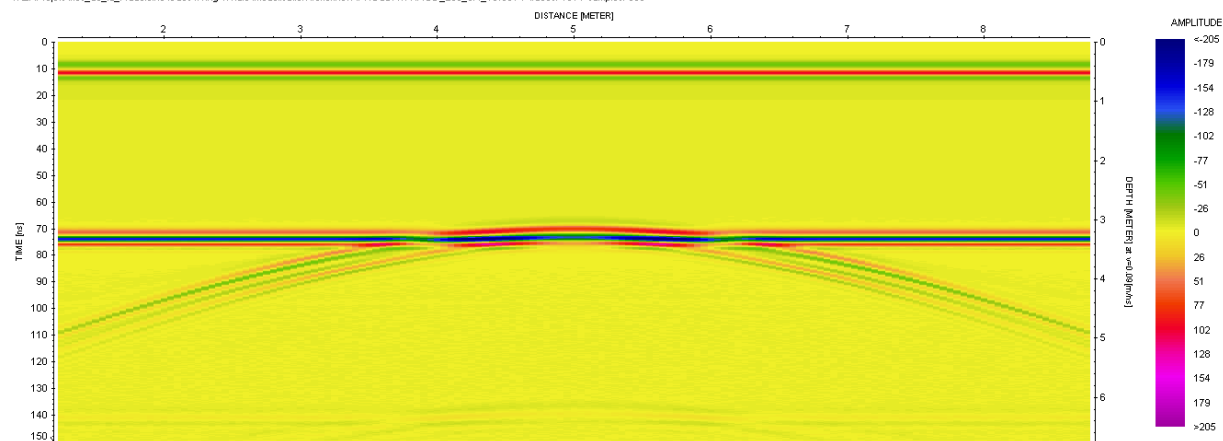
100 MHz

1. Z:\Projets\Nles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_100_3M_1S.00T / traces: 71 / samples: 318

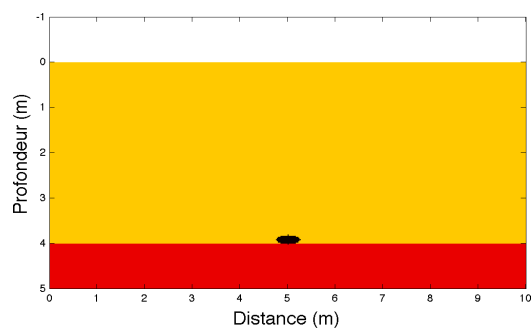


200 MHz

1. Z:\Projets\Nles_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_200_3M_1S.00T / traces: 151 / samples: 636

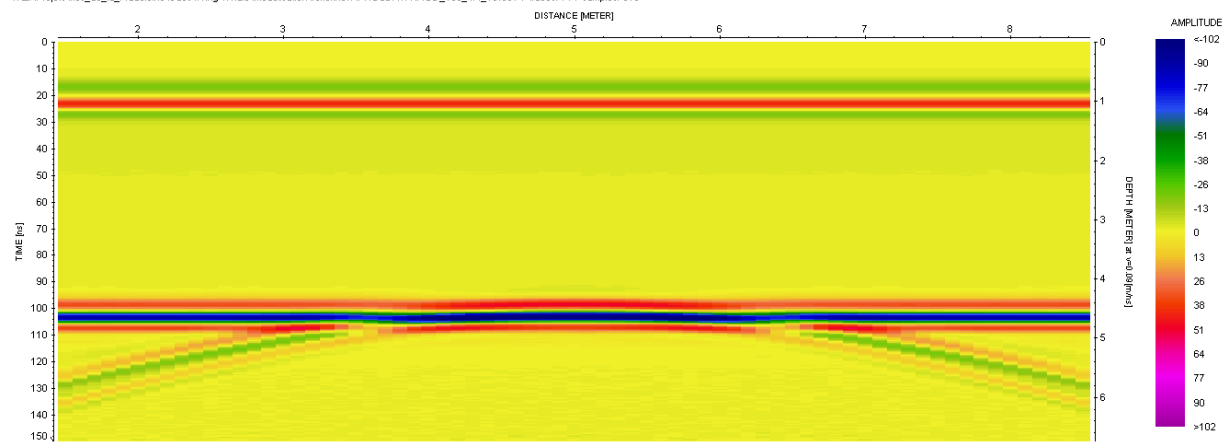


Sac seul à 4 m de profondeur, niveau phréatique à 4 m



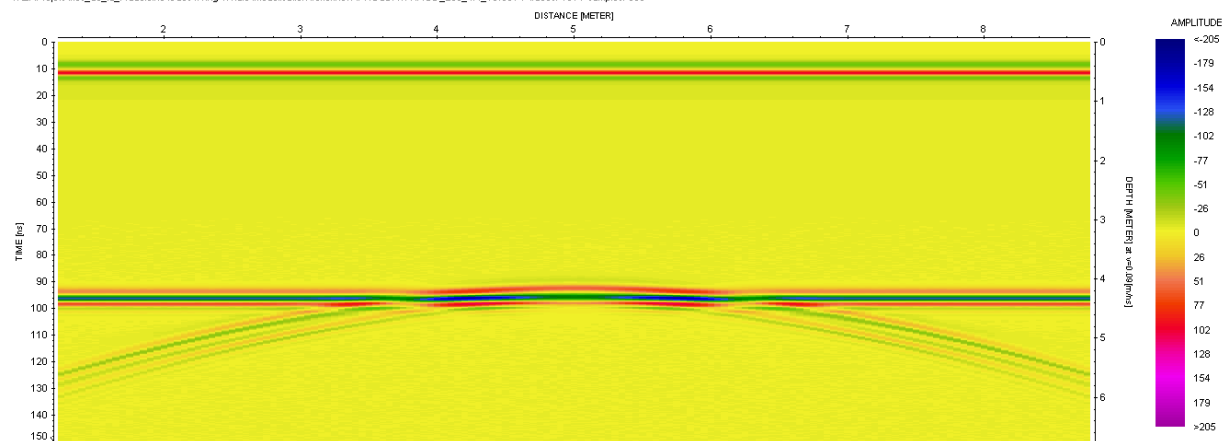
100 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_Ja_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_100_4M_1S.00T / traces: 71 / samples: 318

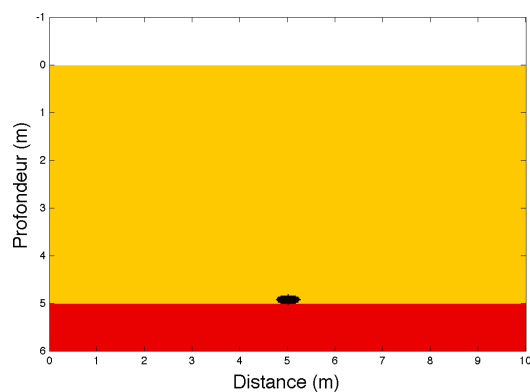


200 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_Ja_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_200_4M_1S.00T / traces: 151 / samples: 636

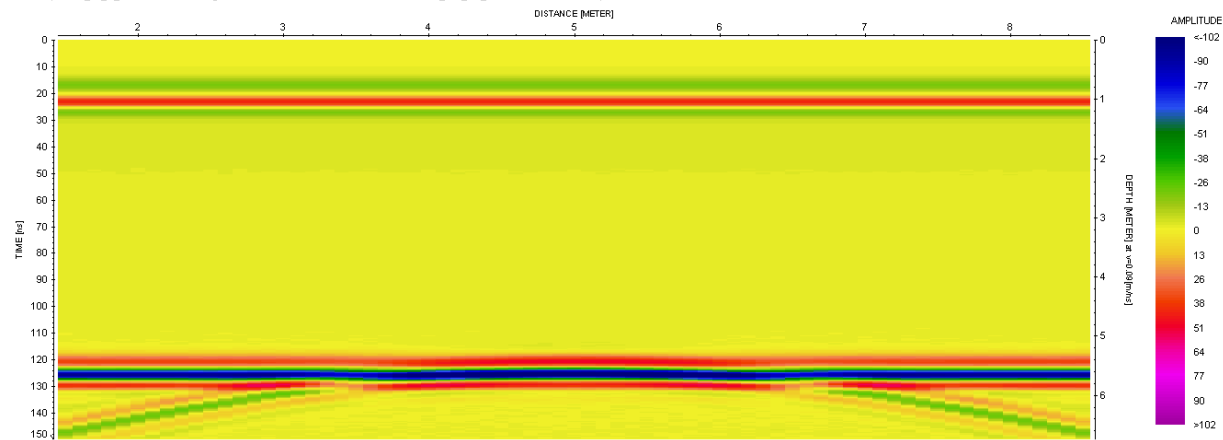


Sac seul à 5 m de profondeur, niveau phréatique à 5 m



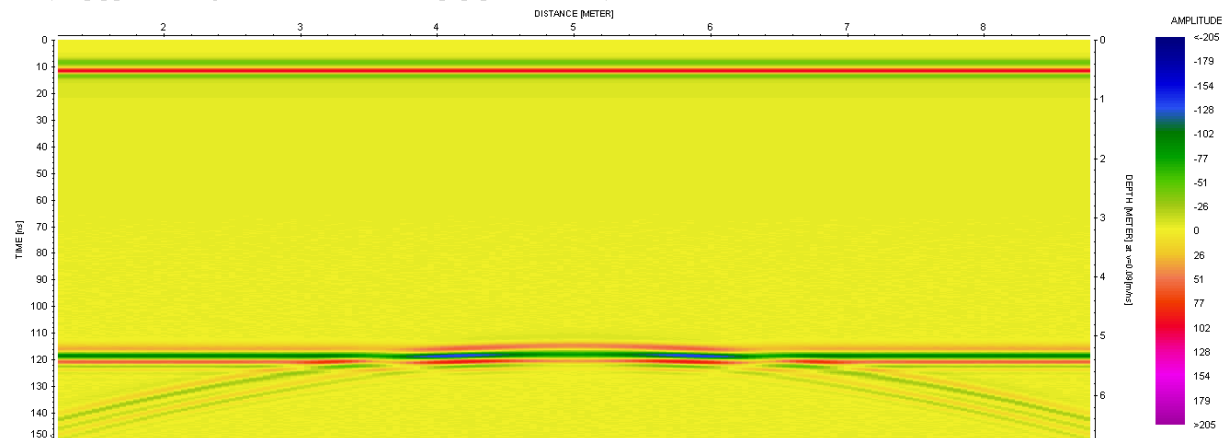
100 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_100_5M_15.00T / traces: 71 / samples: 318



200 MHz

1_Z:\Projets\Vies_de_la_Madeleine\Sacs Irving\Whale\modelisation\reflexnew\PROC\DATA\MOD_200_5M_15.00T / traces: 151 / samples: 636



Positions GPS des profils radar

Profil 200 MHz

1	2009-10-07	16:59:32	47.25411 N	62.00756 W	2.54 M
102	2009-10-07	17:00:03	47.25411 N	62.00760 W	2.50 M
198	2009-10-07	17:00:41	47.25420 N	62.00765 W	2.31 M
300	2009-10-07	17:01:06	47.25422 N	62.00766 W	2.24 M
403	2009-10-07	17:01:32	47.25429 N	62.00770 W	2.18 M
502	2009-10-07	17:01:57	47.25433 N	62.00774 W	2.01 M
604	2009-10-07	17:02:23	47.25439 N	62.00779 W	4.46 M
697	2009-10-07	17:02:48	47.25446 N	62.00784 W	4.94 M
797	2009-10-07	17:03:13	47.25454 N	62.00789 W	5.12 M
898	2009-10-07	17:04:12	47.25464 N	62.00779 W	5.00 M
1004	2009-10-07	17:04:37	47.25469 N	62.00772 W	5.45 M
1096	2009-10-07	17:04:57	47.25474 N	62.00766 W	5.39 M
1204	2009-10-07	17:05:23	47.25481 N	62.00758 W	4.45 M
1301	2009-10-07	17:05:49	47.25487 N	62.00749 W	5.07 M
1402	2009-10-07	17:06:15	47.25493 N	62.00742 W	4.95 M
1500	2009-10-07	17:06:39	47.25498 N	62.00736 W	4.44 M
1596	2009-10-07	17:07:03	47.25503 N	62.00727 W	3.99 M
1698	2009-10-07	17:07:29	47.25507 N	62.00720 W	4.37 M
1779	2009-10-07	17:07:48	47.25510 N	62.00713 W	4.47 M

Profil 100 MHz

1	2009-10-07	17:22:38	47.25512 N	62.00707 W	5.20 M
98	2009-10-07	17:23:04	47.25512 N	62.00706 W	5.28 M
200	2009-10-07	17:23:30	47.25508 N	62.00715 W	4.73 M
301	2009-10-07	17:23:56	47.25502 N	62.00728 W	4.61 M
403	2009-10-07	17:24:21	47.25498 N	62.00736 W	5.17 M
505	2009-10-07	17:24:41	47.25493 N	62.00742 W	5.53 M
604	2009-10-07	17:25:07	47.25488 N	62.00747 W	5.59 M
696	2009-10-07	17:25:32	47.25484 N	62.00753 W	5.54 M
798	2009-10-07	17:25:57	47.25478 N	62.00761 W	5.35 M
900	2009-10-07	17:26:22	47.25472 N	62.00767 W	5.94 M
1000	2009-10-07	17:26:48	47.25466 N	62.00774 W	5.42 M
1102	2009-10-07	17:27:14	47.25459 N	62.00781 W	5.21 M
1204	2009-10-07	17:27:39	47.25452 N	62.00788 W	5.15 M
1305	2009-10-07	17:28:05	47.25445 N	62.00783 W	4.95 M
1397	2009-10-07	17:28:30	47.25439 N	62.00778 W	4.64 M
1496	2009-10-07	17:28:55	47.25434 N	62.00773 W	4.65 M
1598	2009-10-07	17:29:20	47.25428 N	62.00769 W	4.67 M
1701	2009-10-07	17:29:46	47.25423 N	62.00765 W	4.66 M