



HAL
open science

Programme OSR4 2015-2017. Action II.2: Géophysique aquatique - Etude de faisabilité

Thierry Winiarski, Brice Mourier, Gwenaëlle Roux

► To cite this version:

Thierry Winiarski, Brice Mourier, Gwenaëlle Roux. Programme OSR4 2015-2017. Action II.2: Géophysique aquatique - Etude de faisabilité. [Rapport de recherche] CNRS UMR 5023 - ENTPE LEHNA-IPE; EGEOS. 2017, 28 p. hal-03700791

HAL Id: hal-03700791

<https://hal.science/hal-03700791>

Submitted on 21 Jun 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

OSR4 2015-2017
Géophysique Aquatique
Etude de faisabilité



Observatoire
Sédiments
du Rhône

Action II.2

Version finale, novembre 2017

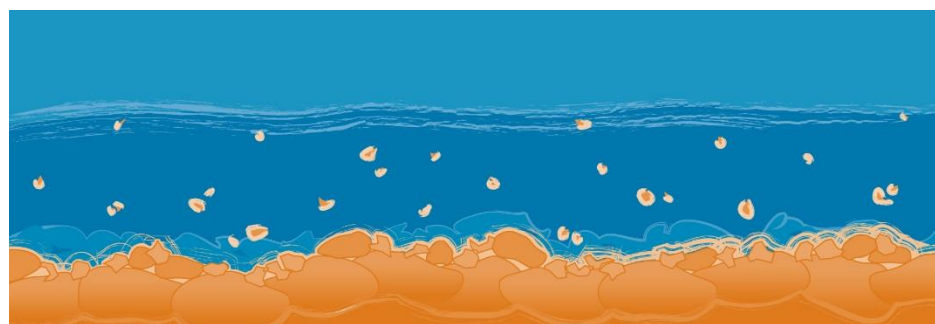


© Bianca Raeppe

2015 - 2020



Donnons un avenir à notre fleuve



Personnes impliquées	Equipe de recherche
Thierry Winiarski	LEHNA-IPE
Brice Mourier	LEHNA-IPE
Gwenaëlle Roux	EGEOS sous contrat LEHNA

Géophysique aquatique appliquée au milieu fluvial : Radar Géologique Aquatique et Sondeur de Sédiments Etude de faisabilité dans un contexte rhodanien

Résumé

Ce rapport ne constitue pas une étude exhaustive mais plutôt un compte-rendu d'essai concernant la faisabilité d'utiliser les méthodes GPR aquatique (WPR) et sondeur de sédiment (SBP) sur le Rhône et ses annexes fluviales. Il montre à travers ces deux essais la possibilité de les utiliser dans un contexte fluvial.

Il est rappelé que ces essais ont été effectués dans le cadre d'un autre programme et sur fond propre.

Mots-clés

Radar géologique aquatique ou GPR aquatique ou Water Penetrating Radar (WPR), sondeur de sédiment ou Sub Bottom Profiler (SBP).

Table des matières

Introduction	6
1. Essai au Radar géologique aquatique ou WPR (Water Penetrating Radar)	7
1.1. Principe de la mesure	7
1.2. Localisation de l'étude, matériel et méthode	8
1.3. Résultats	9
1.4. Conclusion	9
2. Essai au sondeur de sédiment ou SBP	11
2.1. Principe de la mesure	11
2.2. Localisation de l'étude, matériel et méthode	12
2.3. Résultats	13
2.4. Conclusion	15
Conclusion générale	16
Bibliographie	17
Annexes	19

Figures

<i>Figure 1 : Localisation des profils présentés (GPR MTE 5-S1, S2, S3, S4 ; antenne de 400 MHz) et de la carotte prélevée en 2008 (MTE 08-03)</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2 : Dispositif d'acquisition GPR embarqué.</i>	<i>9</i>
<i>Figure 3 : Radargramme obtenu avec une antenne de 400 MHz effectué sur la Morte.</i>	<i>10</i>
<i>Figure 4 : Principe du sondeur de sédiments.....</i>	<i>11</i>
<i>Figure 5 : Localisation des acquisitions effectuées dans le cadre de cette étude.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 6 : Dispositif mis en place dans une petite embarcation.....</i>	<i>13</i>
<i>Figure 7 : Présentation et interprétation du profil 1 (puissance de 20% à 1 ms).</i>	<i>14</i>
<i>Figure 8 : Interpolation spatiale du réflecteur bleu et vert</i>	<i>14</i>
<i>Figure 9 : Projection des profils étudiés et des réflecteurs (vert et bleu) sur l'image Sonar fournie par la CNR ...</i>	<i>14</i>
<i>Figure 10 Position des profils sur les photos aériennes correspondant au début et à la fin des travaux de la retenue de Champagneux.</i>	<i>15</i>

Introduction

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'Observatoire des Sédiments du Rhône (OSR) dont un des objectifs consiste à caractériser les stocks de sédiments fluviaux (Axe II de l'OSR4). En effet, la mise en place et la gestion des aménagements ont considérablement perturbé les régimes hydrologiques et sédimentaires du fleuve depuis 150 ans. Sur le Rhône, la mise en place des barrages et des aménagements Girardon ont généré des stocks de sédiments qu'il faut actuellement gérer, et potentiellement remobiliser, dans un objectif de restauration. A l'échelle d'un tronçon hydrologique ou d'un tronçon court-circuité, les stocks sédimentaires présentent de fortes hétérogénéités de taille, de forme et de nature (teneur en MO, présence de polluants, ...). Cette organisation spatiale est contrôlée par des phénomènes naturels (crues) et par la gestion des ouvrages et du fleuve. La connaissance des stocks en présence, de leur nature et des facteurs responsables de leur mobilité n'est que partielle. Alors que l'estimation des modes de dépôt terrestre a été établie, d'importantes lacunes méthodologiques existent sur la connaissance de ces modes de dépôt sous eau. Cette étape est essentielle pour connaître les stocks sous tranche d'eau qui peuvent constituer une réserve importante de sédiments qu'il faudra caractériser afin d'étudier leur état de contamination.

Dans un contexte aquatique, deux méthodes traditionnelles peuvent être effectuées à partir d'une embarcation : des sondages à la benne Eckman et des carottages associés à des coordonnées GPS (Przedwipski et al., 1995 ; Kalf, 2002). Les carottages ont l'avantage de permettre le prélèvement d'échantillons, de valider des techniques géophysiques et autres relevés non intrusifs et d'obtenir une archive sédimentaire datée permettant ainsi d'évaluer l'impact potentiel des aménagements et des contaminations. Toutefois, le nombre de points de prélèvement est habituellement limité en raison des efforts logistiques importants. Les techniques aéroportées à balayage laser altimétrie (LIDAR — Irish and White, 1998) peut être également utilisée pour cartographier la bathymétrie dans les environnements aquatiques très clairs, mais ne peut pas pénétrer dans les sédiments.

Cependant, plusieurs techniques géophysiques existent pour évaluer la bathymétrie et la géométrie des couches sédimentaires (Lin et al., 2009). Ces techniques diffèrent tant sur le plan de leur applicabilité et sur les échelles spatiales et temporelles. Ces techniques géophysiques embarquées ont déjà fait leurs preuves en milieu océanique, elles sont encore très peu utilisées en milieu fluvial. La miniaturisation des appareils, la diminution de leurs prix ainsi que l'amélioration de leurs performances sous faible tranche d'eau permettent actuellement d'envisager leur utilisation. Ainsi, les techniques géophysiques offrent des méthodes à fort rendement et sont non destructives ce qui permet une cartographie continue de la bathymétrie et obtenir de l'information dans les couches sédimentaires proches du lit de la rivière. Elles peuvent aussi fournir de grandes profondeurs de pénétration sur de longues distances (Scholz, 2001). Axées sur l'acoustique, ces méthodes sont couramment utilisées dans les milieux aquatiques (balayage sonar, sondeur de sédiments ou SBP — Garcia et al., 2004 ; Nitsche et al., 2004 ; Schrottke et al., 2006) pour la bathymétrie et les sédiments sous-jacents. D'autres techniques reposent sur les propriétés électriques et magnétiques de l'eau et des sédiments à des fréquences différentes. Ces techniques comprennent la résistivité électrique (ER) et le radar géologique (GPR). Pour l'ER, des électrodes flottantes sont utilisées pour mesurer le champ potentiel causé par les sédiments, mais installer des électrodes subaquatiques à l'interface eau-sédiment est difficile en raison des difficultés liées à la mise en place du matériel sous la ligne de flottaison (Kwon et al., 2005 ; Rinaldi et al., 2006). Les levées GPR utilisent les propriétés diélectriques de l'eau et des sédiments, il est alors possible de remorquer les antennes émettrice et réceptrice dans ou derrière un bateau (Annan and Davis, 1977 ; Mellett, 1995 ; Yang et al., 2006).

Des études antérieures ont documenté l'utilité de chaque technique géophysique pour différentes gammes de résolution, de profondeurs de pénétration et d'autres paramètres physiques associés à la mesure des types de couche de sédiments (Davis and Annan, 1989 ; Pilkington and Grieve, 1992 ; Zelt and Smith, 1992). La résolution et la pénétration varient avec la fréquence du signal et la configuration de l'instrument. En règle générale, la résolution de ER est de l'ordre du mètre et diminue avec la profondeur. La résolution du SBP et du GPR peut être de l'ordre du centimètre selon la fréquence d'excitation ou la vitesse de l'onde électromagnétique dans chaque matériau. Les méthodes ER fournissent des profondeurs de pénétration beaucoup plus grandes que les méthodes SBP et GPR. Les signaux SBP peinent à pénétrer à travers les sédiments grossiers (sable et gravier) en raison de la

consommation d'énergie et de la diffusion des signaux (Morang et al., 1997). L'intensité du signal électromagnétique dans les essais GPR sont rapidement atténués dans des matériaux de haute conductivité, par exemple le signal ne pénètre que de quelques centimètres dans l'eau de mer (Annan, 2005) et les sédiments argileux. En raison des avantages et des inconvénients offerts par chaque technique géophysique, l'utilisation des méthodes GPR et SBP peuvent fournir une image complète et complémentaire des sédiments sous aquatique (McCann and Forster, 1990).

Dans le cas de l'étude des sédiments du Rhône se sont les techniques électromagnétique radar géologique aquatique (GPR aquatique ou WPR) et acoustique sondeur de sédiment (SPB) qui ont été choisies en raison de leur rendement, leur faisabilité et de leur résolution. Le document présente un essai de GPR aquatique (WPR) et un essai au sondeur de sédiment (SBP) qui ont été effectués pendant l'été 2017 dans le contexte rhodanien, ainsi le lecteur pourra évaluer le potentiel de ces techniques.

1. Essai au Radar géologique aquatique ou WPR (Water Penetrating Radar)

1.1. Principe de la mesure

La technique du radar géologique permet d'obtenir une image de la subsurface à haute résolution. Une impulsion électro-magnétique est envoyée dans le sous-sol, via une antenne émettrice, à une fréquence déterminée. Cette impulsion se propage en s'atténuant dans les matériaux et, à chaque interface entre des milieux différents, une partie de son énergie est réfléchiée vers la surface ; les échos successifs sont enregistrés en fonction du temps par l'antenne de réflexion. La juxtaposition des signaux temporels enregistrés lors du déplacement de l'antenne radar permet d'obtenir une coupe-temps, ou radargramme qui donne des informations géométriques sur la structure auscultée.

Les principaux avantages du WPR sont qu'il peut renseigner sur la structure du fond pour des études de sédimentation. Sa capacité à être utilisé dans une variété de lieux de faibles profondeurs (petits barrages, lacs, réservoirs, rivières) est un avantage sur de nombreuses autres méthodes géophysiques. En outre, il fournit une lecture continue et claire sous la surface du lit de la rivière ou du lac plutôt qu'à des endroits choisis à priori. Le WPR peut servir à faire des mesures sur de grandes distances sans efforts logistiques importants. Un autre avantage du WPR est que l'image obtenue est de haute résolution semblable à celle de sismique réflexion. La collecte de données nécessite un minimum d'effort mais l'interprétation exige de bonnes connaissances en géophysique.

Pour les eaux peu profondes le WPR est un avantage en raison d'une taille compacte en comparaison avec les autres techniques géophysiques. Il peut être chargée sur un petit bateau ou remorqué dans des eaux peu profondes où les techniques de sismique où ne sont pas possibles.

La principale limitation du WPR est son incapacité à être utilisés en milieux salins. La conductivité électrique de l'eau induit une atténuation des ondes et donc pénètre peu dans le sédiment. Cela rend l'application de WPR limitée aux lacs d'eau douce, étangs, barrages, rivières. Les milieux estuariens sont censés ne pas être des emplacements possibles pour l'application du WPR, même si cela nécessite de le tester. La conductivité de l'eau est à considérer avant l'application du WPR. La littérature suggère une gamme d'antenne entre 100 et 500 MHz pour une profondeur d'eau comprise entre 1 et 2 m.

Le lecteur désirant plus d'information concernant cette technique électro-magnétique pourra se reporter aux livrables précédents traitant du GPR.

1.2. Localisation de l'étude, matériel et méthode.

L'étude présentée a été effectuée dans le cadre du projet ArcheoRhône (ZABR), dont le but est de prélever une carotte représentative de la sédimentation du Rhône dans le secteur de la Morte près de de Groslée (01). Un profil de 335 m d'orientation Sud-Nord a été effectué sur un étang et son cours d'eau associé (**Figure 1**). La profondeur d'eau est d'environ 1 m.



Figure 1 : Localisation des profils présentés (GPR MTE 5-S1, S2, S3, S4 ; antenne de 400 MHz) et de la carotte prélevée en 2008 (MTE 08-03).

Nous avons utilisé le radar géologique de la marque GSSI (SIR-3000) du laboratoire LEHNA-IPE de l'ENTPE avec deux antennes : 200 MHz et 400 MHz. Ce matériel a été couplé à un GPS mesurant la trace du cheminement. Tout le matériel a été embarqué sur une barque en PEHD à fond plat (**Figure 2**). Le traitement du signal des profils radar a été effectué avec le logiciel Radan7 de la société GSSI suivant les étapes : normalisation en distance, sommation, correction de l'offset, correction du bruit de fond, application de filtres, aucune migration n'été effectuée, application d'un gain.

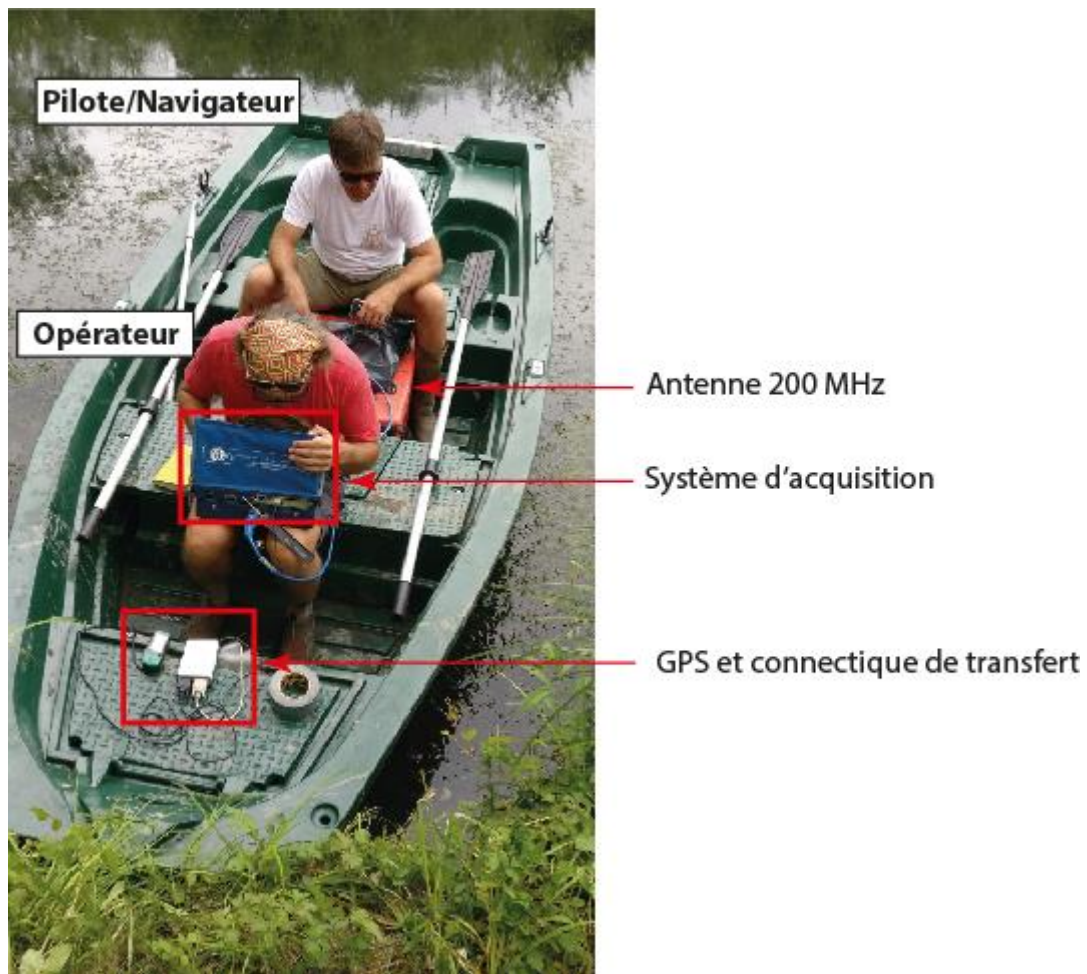


Figure 2 : Dispositif d'acquisition GPR embarqué.

1.3. Résultats

Les résultats obtenus (**Figure 3**) ont permis d'obtenir une image d'une résolution suffisante permettant d'optimiser la position de la carotte à effectuer. En effet, il s'agissait de choisir un site représentatif différent de l'étang à l'amont (la carotte MTE 08-03 est déjà étudiée) et peu perturbé par le delta en aval (**Figure 3**). De plus : la longueur et l'amplitude des réflecteurs dans la zone choisie permettra d'extrapoler les résultats sur une partie du profil.

1.4. Conclusion

Les résultats obtenus lors de cet essai ont été très positifs, ils ont permis de localiser un site de carottage potentiel et explicatif. Afin de mieux connaître les conditions d'applicabilité de cette technique, il serait nécessaire de l'utiliser dans des milieux de conductivités différentes et avec des profondeurs variées.

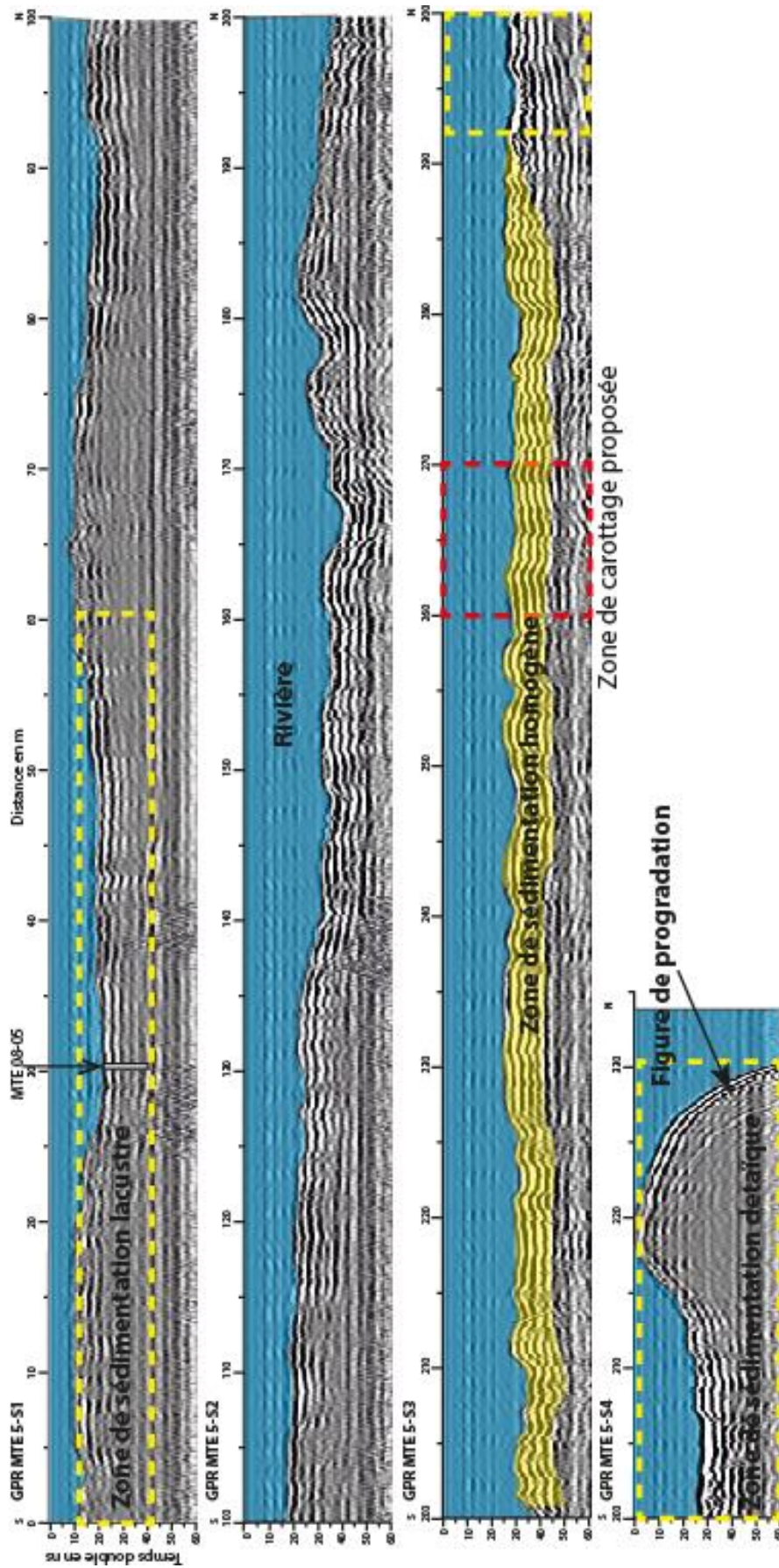


Figure 3 : Radargramme obtenu avec une antenne de 400 MHz effectué sur la Morte.

2. Essai au sondeur de sédiment ou SBP

2.1. Principe de la mesure

Le sondeur de sédiments (SBP), utilise une bande de fréquence plus élevée que les systèmes d'imagerie sismiques classiques il fait donc partie des systèmes de sismique réflexion très haute résolution avec sa bande de 3500 Hz. Son principe repose sur la capacité qu'ont les ondes acoustiques basses fréquences à pénétrer les strates sédimentaires. Mieux que dans la sismique réflexion, on connaît le signal émis (CHIRP), puisque celui-ci est généré par des transducteurs électro-acoustiques. L'onde acoustique, émise à partir du navire, se propage dans la couche d'eau, puis dans le sédiment (**Figure 4**). La succession de tirs permet de reconstituer les horizons sédimentaires. On obtient ainsi une coupe verticale du sous-sol, l'abscisse représentant l'avancée du bateau, et l'ordonnée la profondeur de pénétration. Il est à noter que cette profondeur est exprimée en secondes, car les propriétés géoacoustiques du sédiment (densité et célérité) sont, à ce moment, encore inconnues. Néanmoins, afin d'avoir une idée de cette profondeur, on approche la célérité du son dans les sédiments par 1500 m/s.

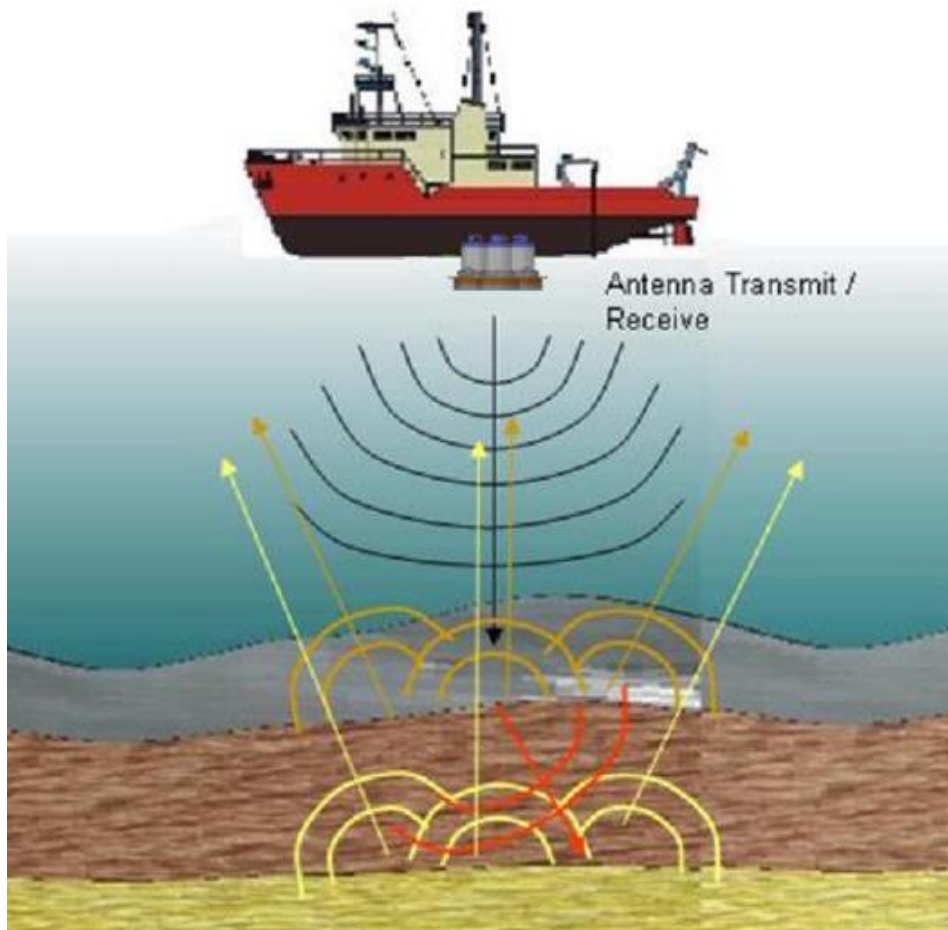


Figure 4 : Principe du sondeur de sédiments.

Traditionnellement, c'est la même antenne qui fait office d'émetteur et de récepteur. Cette configuration d'acquisition présente deux avantages majeurs par rapport à la sismique : l'offset nul (réflexion en incidence normale) et facilité de mise en œuvre. De plus, la génération du signal par des transducteurs électro-acoustiques permet d'une part de maîtriser la directivité, et d'autre part d'effectuer un contrôle qualité en temps-réel, puisque les signaux reçus peuvent être corrélés à une réplique du signal émis.

2.2. Localisation de l'étude, matériel et méthode

En accord avec la CNR, le site du barrage de Brégnier-Cordon (01) a été choisi. C'est un site avec une tranche d'eau supérieure à un mètre et qui est bien renseigné par diverses études de la CNR. Huit profils ont été effectués, seulement cinq sont présentés (**Figure 5**).

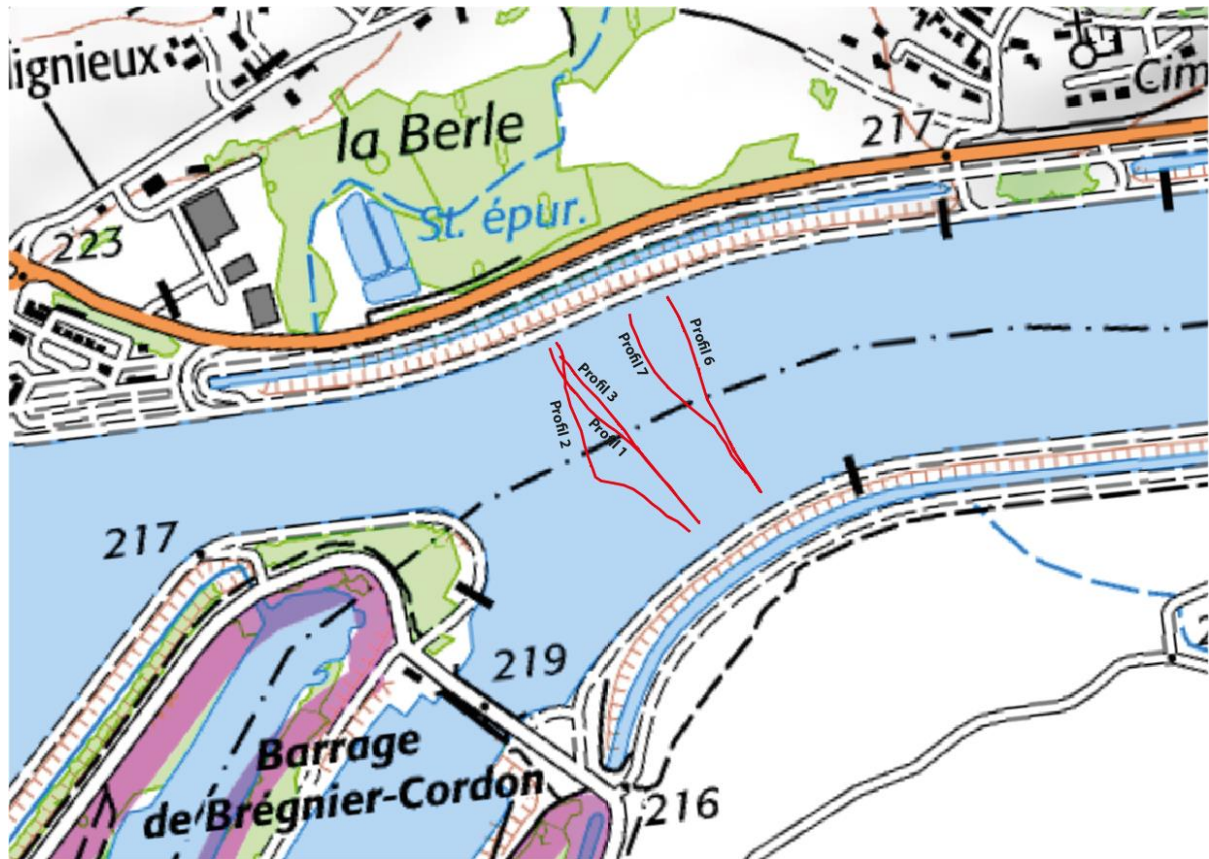


Figure 5 : Localisation des acquisitions effectuées dans le cadre de cette étude.

Pour ces essais nous avons utilisé un SBP ECHOES 10 000 de la société iXBlue acquis par l'ENTPE en 2017 couplé à un GPS. Après une phase de modification et d'optimisation (ce matériel a été conçu pour des bateaux de taille importante), le tout a été installé sur une embarcation en PEHD munie d'un moteur (**Figure 6**). Ce sondeur de sédiments ECHOES est basé sur une antenne acoustique utilisant les propriétés piézo-électriques de céramiques dans lesquels est envoyé un fort courant dont la forme caractérise celle de l'onde acoustique émise (CHIRP). Grâce à ces propriétés piézo-électriques, cette même antenne peut être utilisée pour mesurer les ondes réfléchies. Le paramétrage et l'acquisition des profils se fait par l'intermédiaire du logiciel Delph acquisition (© iXblue). Les profils acquis sont ensuite traités et interprétés par le logiciel Delph interprétation (© iXBlue).

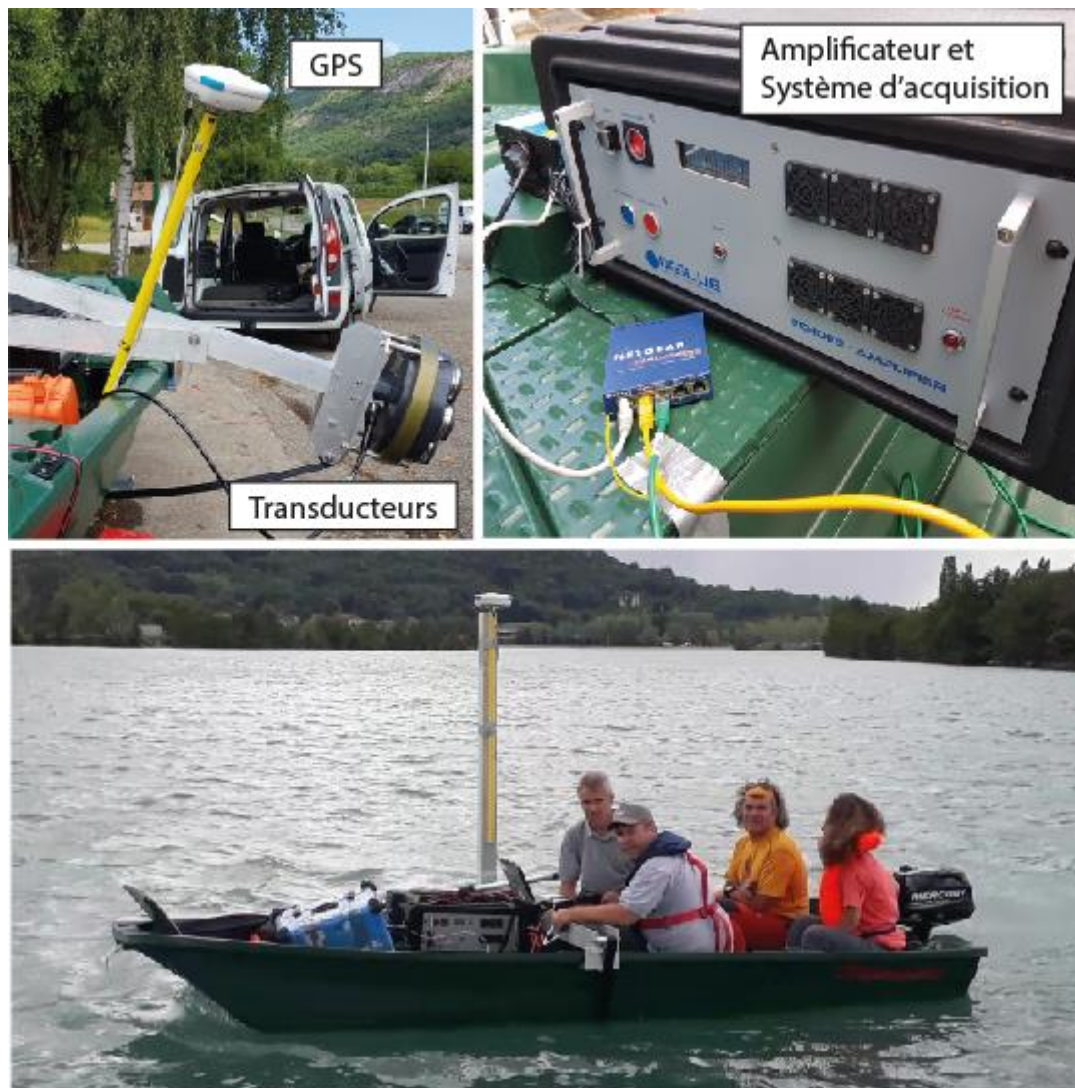


Figure 6 : Dispositif mis en place dans une petite embarcation.

2.3. Résultats

Le traitement et l'interprétation des profils ont permis de distinguer 2 réflecteurs significatifs (**Figure 7**), correspondant potentiellement à deux structures sédimentaires différentes :

- un réflecteur (en vert) subparallèle au fond délimitant une couche d'épaisseur entre 0,5 m et 1,20 m
- un réflecteur (en bleu) avec une inclinaison d'environ 45°.

Cette configuration a été observée sur les profils 2, 3, 6 et 7 (voir annexes).

L'interpolation entre les réflecteurs des 5 profils a permis d'obtenir deux surfaces (**Figure 8**). La superposition des images sonar fournies par des études antérieures de la CNR semble montrer un lien entre la zone gris foncé de l'image Sonar et du premier réflecteur (vert), cela peut correspondre à des sédiments fins (**Figure 9**).

Entre ces deux réflecteurs des structures sédimentaires de 2-3 m d'épaisseur se distinguent aisément, il pourrait s'agir soit d'un dépôt ancien correspondant à l'ancien lit du Rhône, soit à une sédimentation plus récente après les travaux de mise en place de la retenue (**Figure 10**). Cette hypothèse reste à confirmer par l'étude des carottes de sédiments et l'acquisition d'autres profils.

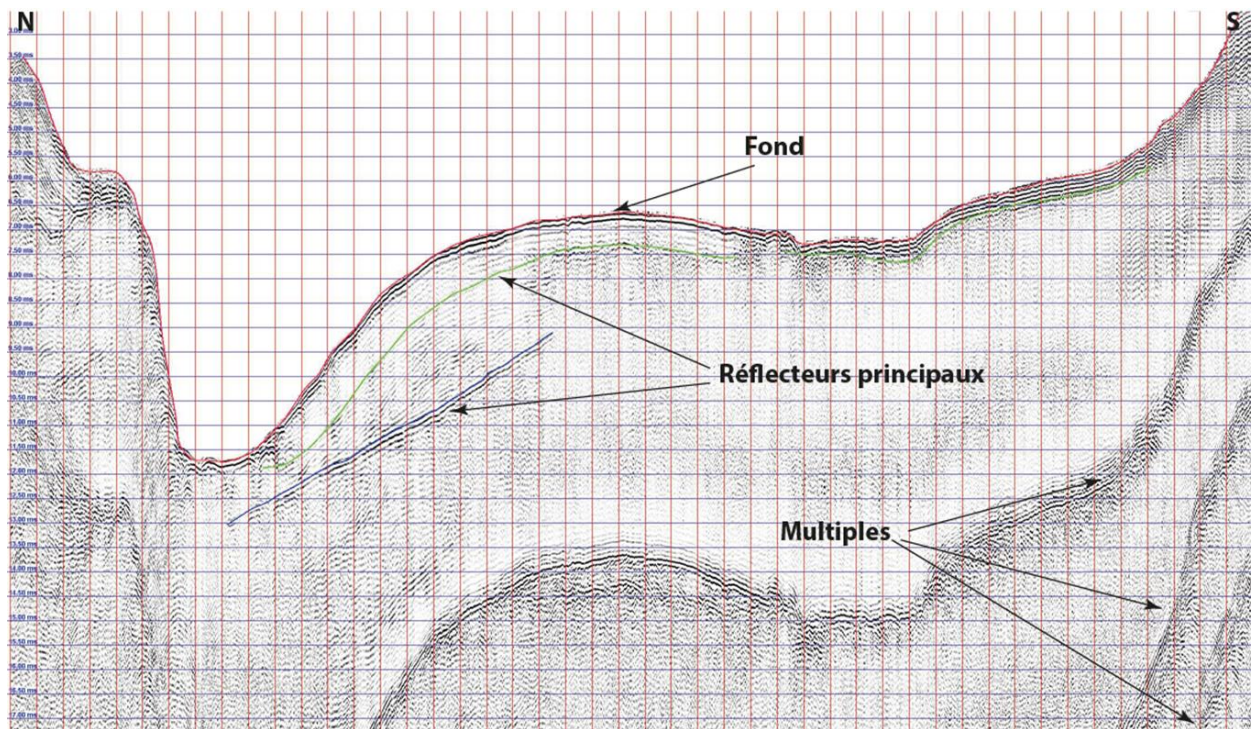


Figure 7 : Présentation et interprétation du profil 1 (puissance de 20% à 1 ms).

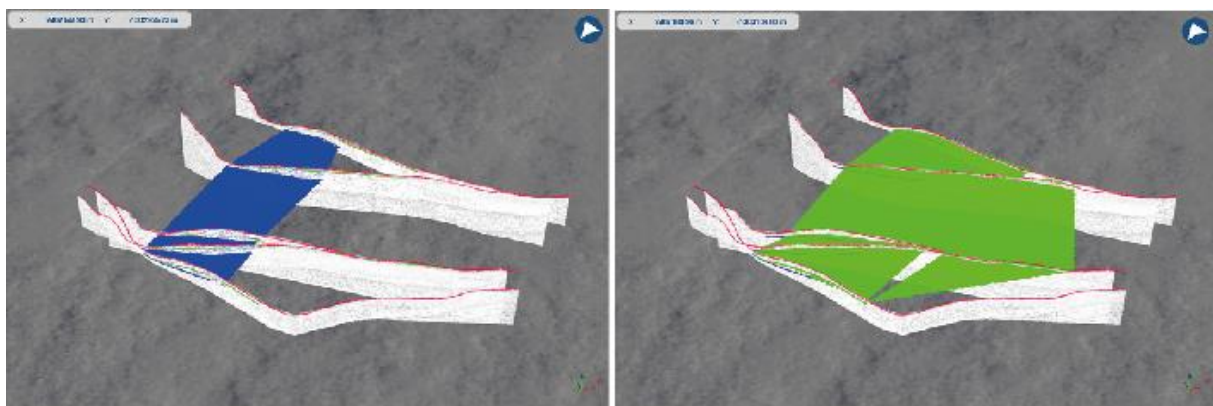


Figure 8 : Interpolation spatiale du réflecteur bleu et vert.

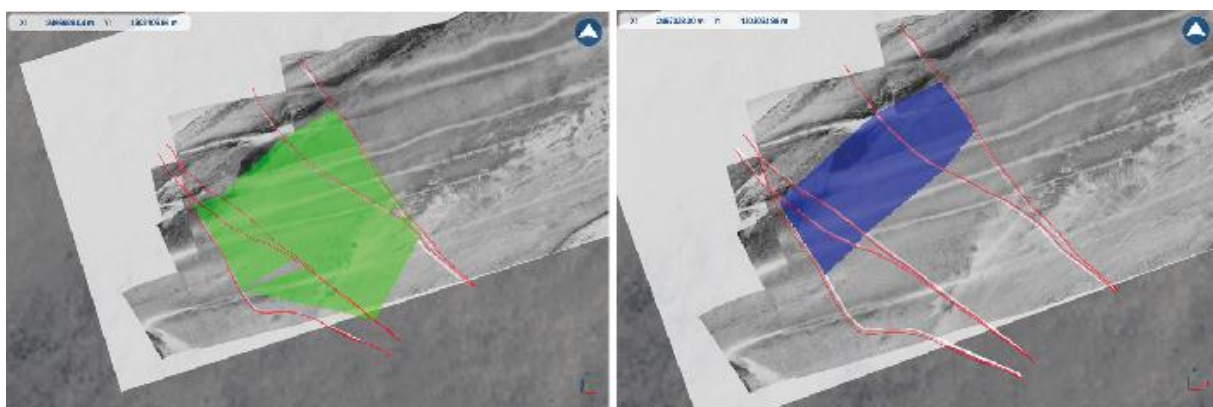


Figure 9 : Projection des profils étudiés et des réflecteurs (vert et bleu) sur l'image Sonar fournie par la CNR.

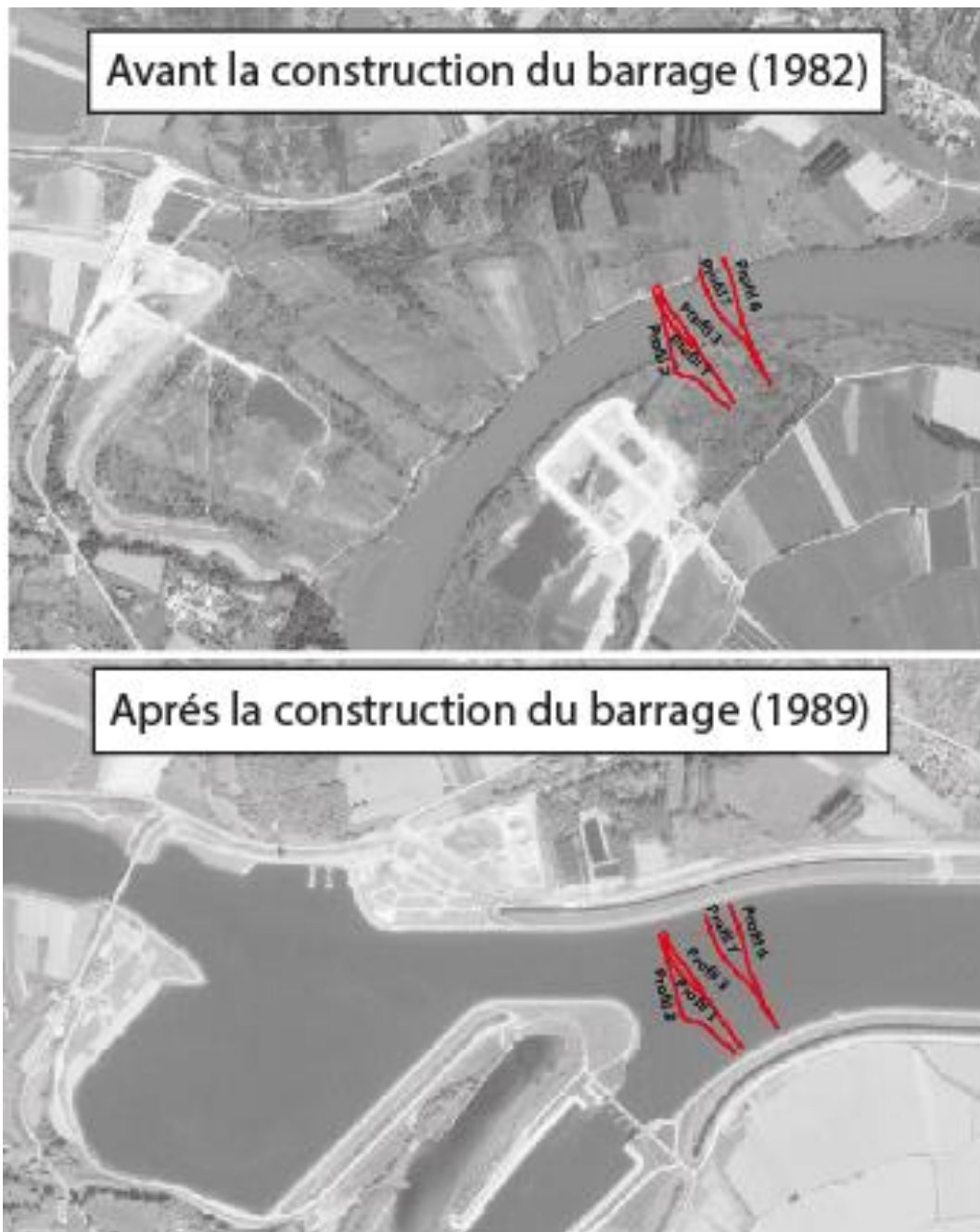


Figure 10 Position des profils sur les photos aériennes correspondant au début et à la fin des travaux de la retenue de Champagneux.

2.4. Conclusion

Cette étude préliminaire avait pour but de tester le SBP et son paramétrage dans le contexte d'une retenue de barrage. Ces premiers résultats très positifs montrent une continuité dans la structuration spatiale des deux réflecteurs identifiés. Cette structuration est également cohérente avec les données sonar fournies par la CNR et avec les photos aériennes prises avant la mise en place de la retenue. La comparaison de ces données préliminaires avec les carottages CNR effectués dans la zone d'étude permettra de valider ces résultats et de renforcer la méthodologie en général.

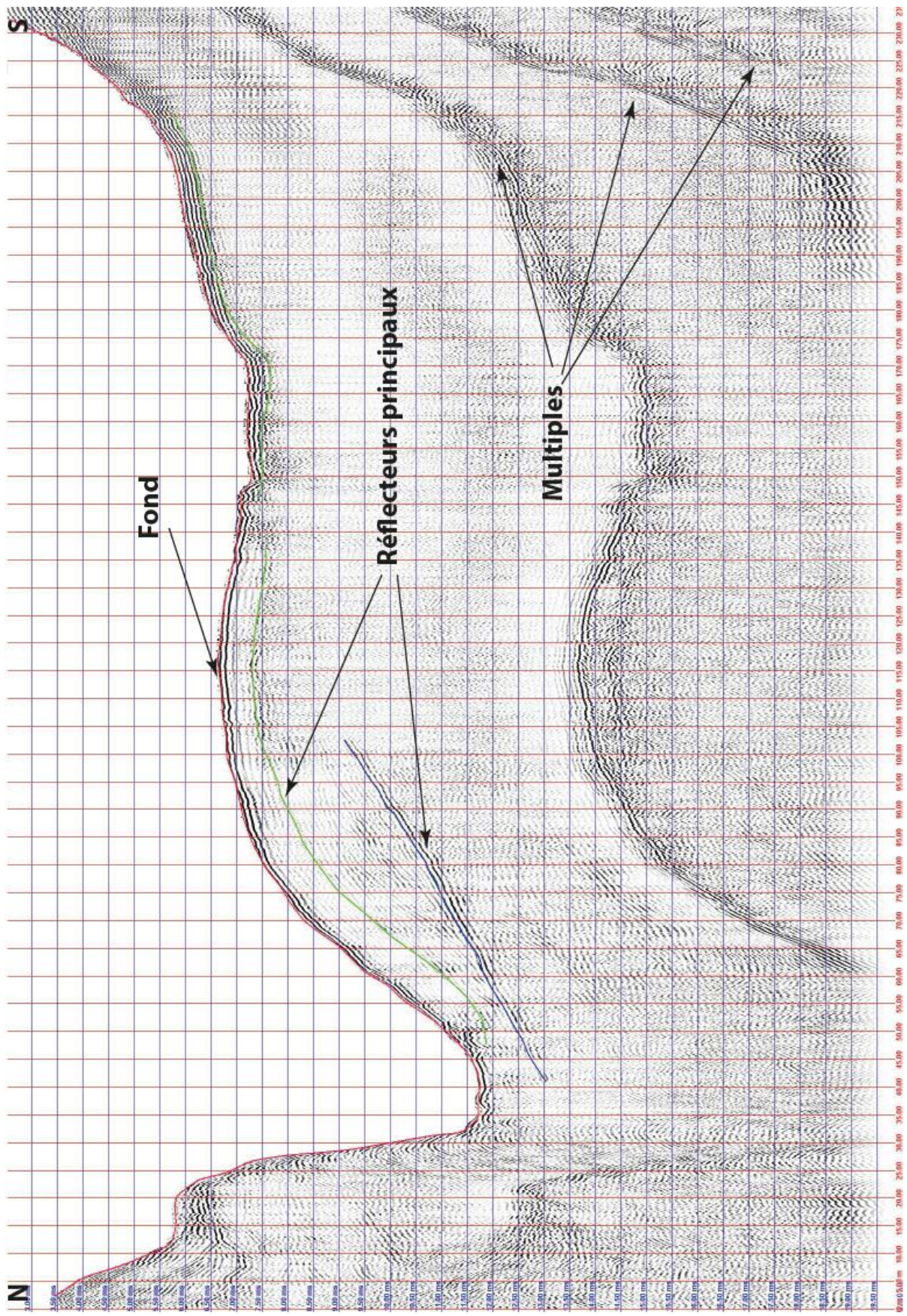
Conclusion générale

Les deux méthodes choisies montrent un réel potentiel en termes de résolution et d'information sédimentaire. De plus, la qualité des profils obtenus avec les deux méthodes est suffisante pour renseigner les époques récentes (150 ans). Une démarche d'optimisation des méthodes sera sans doute nécessaire mais nous pouvons dire dès à présent qu'il est possible d'obtenir dans le contexte rhodanien des données sédimentaires sous eau permettant de positionner d'une manière précise des carottes afin d'évaluer l'impact des aménagements permettant aussi d'étudier la contamination en termes qualitatifs et quantitatif (estimation des volumes).

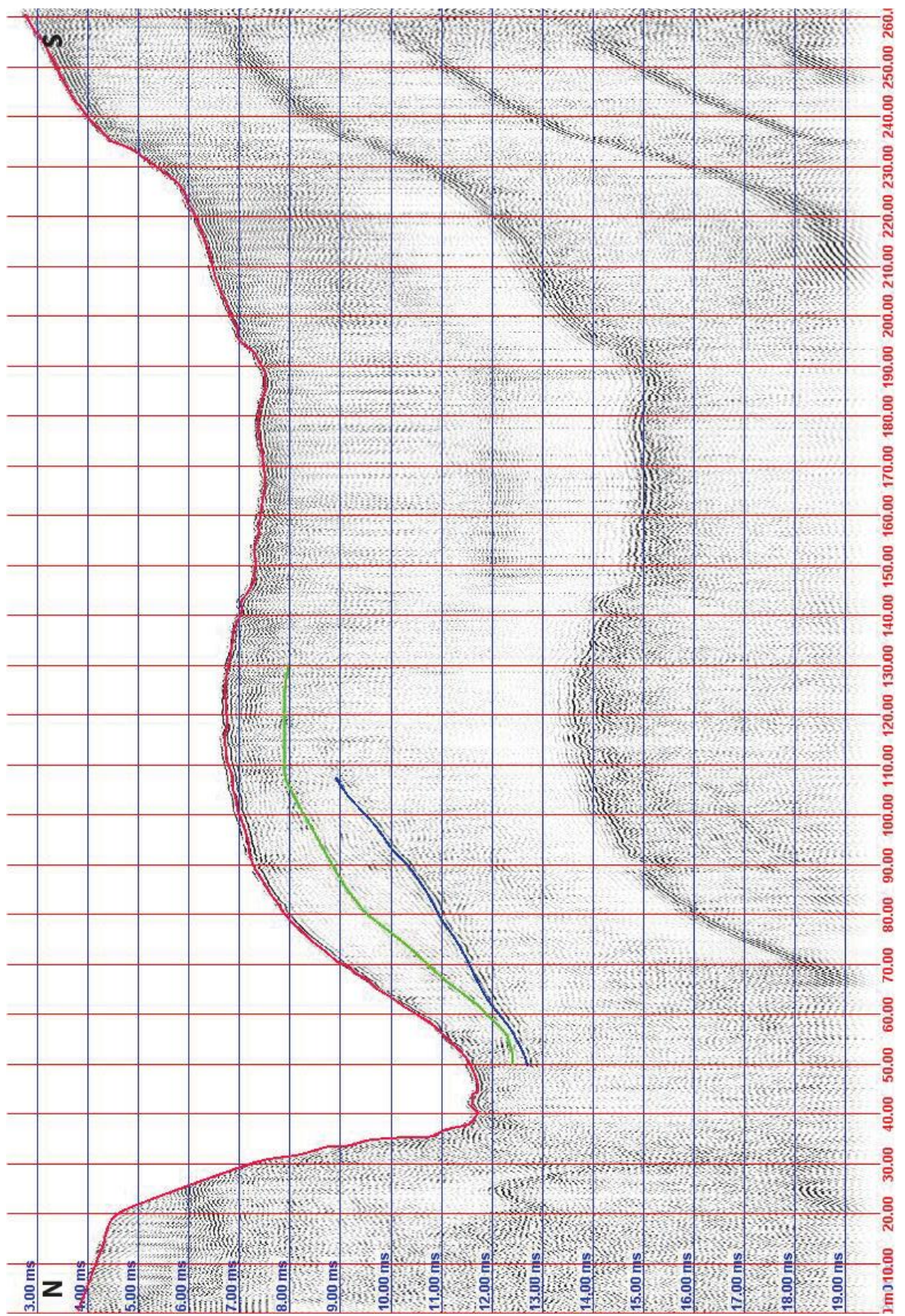
Bibliographie

- Lin Y.-T, Schuettplz C.C., Wu C.H. and Fratta D., 2009. A combined acoustic and electromagnetic wave-based techniques for bathymetry and subbottom profiling in shallow waters. *Journal of Applied Geophysics*, 68 (2009), pp 203-218.
- Przedwpjski, B., Blazejewski, R., Pilarczyk, K.W., 1995. *River Training Techniques-Fundamentals, Design, and Applications*. A.A. Balkema. 625 pages.
- Kalff, J., 2002. *Limnology*. Prentice-Hall. 592 pages.
- Scholz, C.A., 2001. Application of seismic sequence stratigraphy in lacustrine basins. In: Last,W.M., Smol, J.P. (Eds.), *Tracking Environmental Changes Using Lake Sediments. Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*, vol. 1. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 7–22.
- Garambois, S., Senechal, P., Perroud, H., 2002. On the use of combined geophysical methods to assess water content and water conductivity of near-surface formations. *J. Hydrol.* 259 (1–4), 32–48.
- Garcia, G.A., Garcia-Gil, S., Vilas, F., 2004. Echo characters and recent sedimentary processes as indicted by high-resolution sub-bottom profiling in Ria de Vigo, NW Spain). *Geo Mar. Lett.* 24, 32–45.
- Nitsche, F.O., Bell, R., Carbotte, S.M., Ryan, W.B.F., Flood, R., 2004. Process-related classification of acoustic data from Hudson River Estuary. *Mar. Geol.* 209, 131–145.
- Schrottke, K., Marius, B., Alexander, B., Burghard, F., Dierk, H., 2006. Fluid mud dynamics in theWeser estuary turbidity zone tracked by high-resolution side-scan sonar and parametric sub-bottom profiler. *Geo-Mar. Lett.* 26 (3), 185–198.
- Kwon et al., 2005 Kwon, H.S., Kim, H., Ahn, H., Yoon, J., Kim, K., Jung, C., Lee, S., Uchida, T., 2005. Delineation of a fault zone beneath a riverbed by an electrical resistivity survey using a floating streamer cable. *Expl. Geophys.* 36, 50–58.
- Rinaldi, V., Guichon, M., Ferrero, V., Serrano, C., Ponti, N., 2006. Resistivity survey of the subsurface conditions in the estuary of the Rio de la Plata. *J. Geotech. Geoenviron. Eng.* 132 (72), 74–79.
- Annan, A.P., Davis, J.L., 1977. Impulse radar applied to the thickness measurements and freshwater bathymetry. *Geol. Surv. Can., Paper 77–1b*, 63–65
- Mellett, J.S., 1995. Profiling of ponds and bogs using ground-penetrating radar. *J. Paleolimnol.* 14, 233–240.
- Yang, C.H., Tong, L.T., Yu, C.Y., 2006. Integrating GPR and RIP method for water surface detection of geological structures. *Terr. Atmos. Oceanogr. Sci.* 17, 391–404.
- Davis, J.L., Annan, A.P., 1989. Ground penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophys. Prospect.* 37, 531–551.
- Pilkington, M., Grieve, R.A.F., 1992. The geophysical signature of terrestrial impact craters. *Rev. Geophys.* 30 (2), 161–181.
- Zelt, C.A., Smith, R.B., 1992. Seismic travel-time inversion for 2-D crustal velocity structure. *Geophys. J. Int.* 108 (1), 16–34.
- Morang, A., Larson, R., Gorman, L., 1997. Monitoring the coastal environment; Part III: Geophysical and research methods. *J. Coast. Res.* 13 (4), 1064–1085.
- Annan, A.P., 2005. Ground penetrating radar. In: Butler, K. (Ed.), *Near Surface Geophysics*, pp. 357–438
- McCann, D.M., Forster, A., 1990. Reconnaissance geophysical methods in landslide investigations. *Eng. Geol.* 29 (1), 59–78.

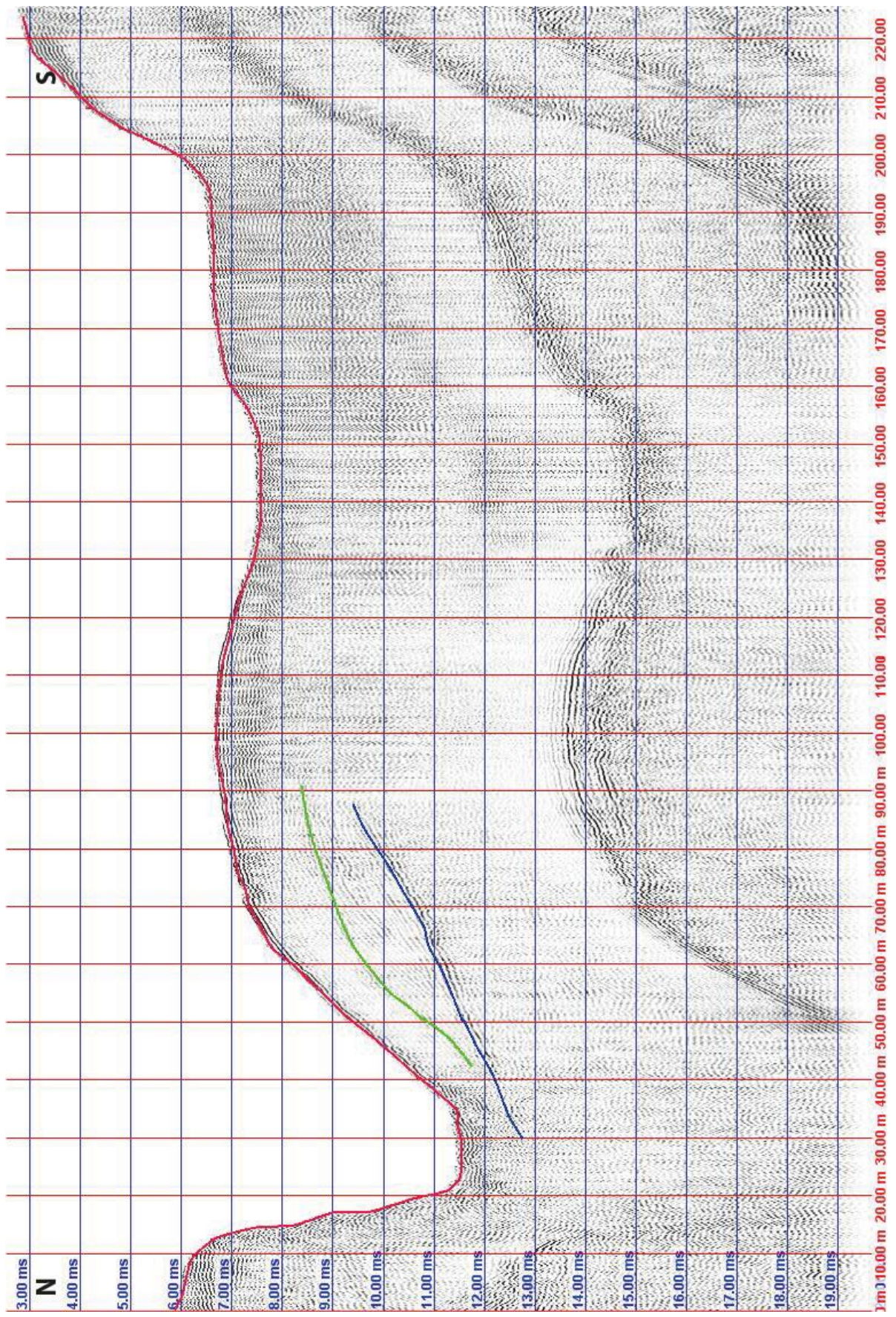
Annexes



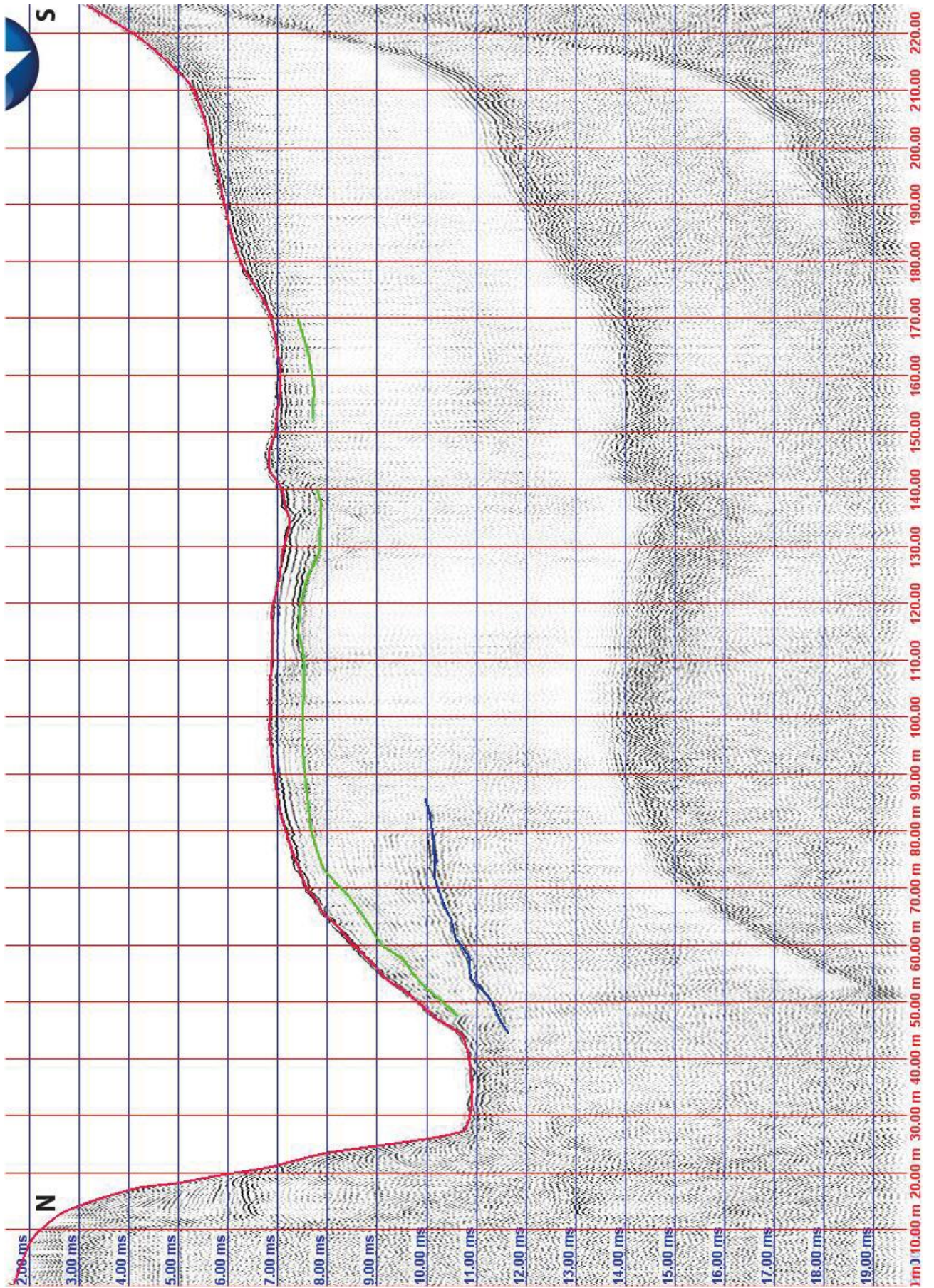
Présentation et interprétation du profil 1 (puissance de 20% à 1 ms).



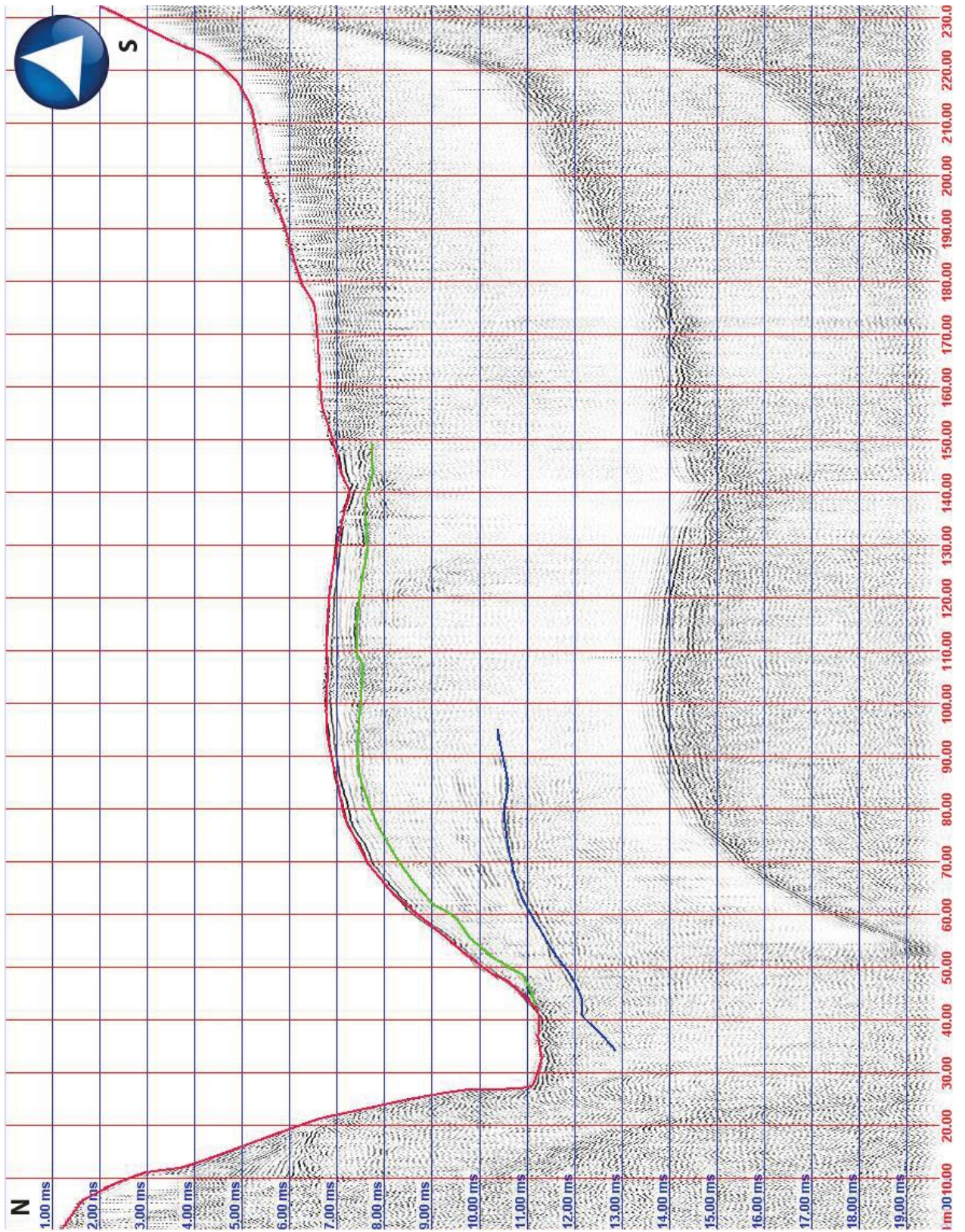
Présentation et interprétation du profil 2 (puissance de 50% à 1 ms).



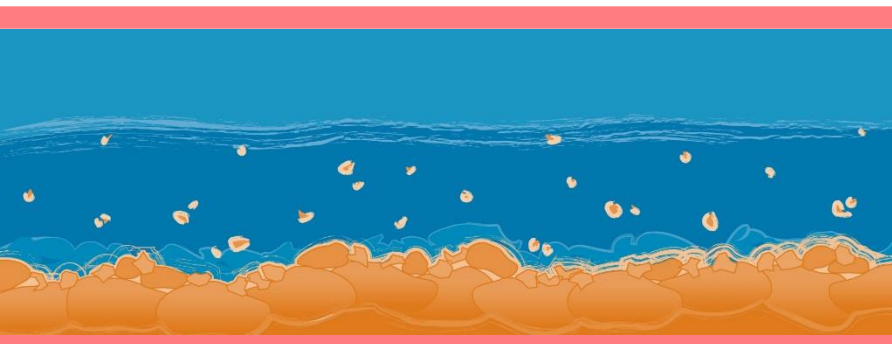
Présentation et interprétation du profil 3 (puissance de 70% à 1 ms).



Présentation et interprétation du profil 6 (puissance de 20% à 2 ms).



Présentation et interprétation du profil 7 (puissance de 40% à 2 ms)



Observatoire des Sédiments du Rhône



Provence-Alpes-Côte d'Azur



Observatoire des Sédiments du Rhône

GRAIE – OHM Vallée du Rhône
66 bd Niels Bohr – CS 52132
69603 Villeurbanne Cedex
www.graie.org/osr/

Contact : dad.roux@graie.org