



HAL
open science

**Programme OSR4 2015-2017. Action II.2 et II.3 :
Traitement et analyse des radargrammes –
Péage-de-Roussillon**

Thierry Winiarski, Cédric Chabrier, David Goutaland, Gwenaëlle Roux

► **To cite this version:**

Thierry Winiarski, Cédric Chabrier, David Goutaland, Gwenaëlle Roux. Programme OSR4 2015-2017. Action II.2 et II.3 : Traitement et analyse des radargrammes – Péage-de-Roussillon. [Rapport de recherche] CNRS UMR 5023 - ENTPE LEHNA-IPE; CEREMA; EGEOS. 2016, 78 p. hal-03700752

HAL Id: hal-03700752

<https://hal.science/hal-03700752>

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

Traitement et analyse des
radargrammes – PDR



Observatoire
Sédiments
du Rhône

Action II.2 et II.3

Version de septembre 2016

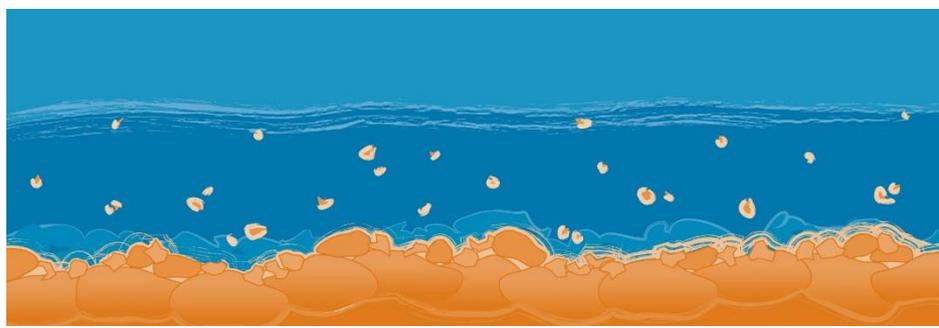


© Bianca Raepple

2015 - 2020



Donnons un avenir à notre fleuve



Personnes impliquées	Equipe de recherche
Thierry Winiarski	LEHNA-IPE
Cédric Chabrier	LEHNA-IPE
David Goutaland	CEREMA pour LEHNA-IPE
Gwenaëlle Roux	EGEOS sous contrat LEHNA-IPE

Traitement et analyse des radargrammes (acquisitions au radar géologique GPR) + analyse physique des carottes sur la plaine alluviale - secteur de Péage-de-Roussillon

Résumé

Après une première phase d'acquisition GPR (radar géologique) sur le Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon (RCC1) en décembre 2015, une seconde phase de deux campagnes de terrain en 2016 : du 17 au 19 février et du 30 mars au 1er avril a permis l'acquisition :

- de quatre profils de résistivité électrique (ERT) sur une longueur totale d'environ 1 km. Ces acquisitions géophysiques sont présentées traitées et interprétées.
- d'une vingtaine de profils au radar géologique (GPR), présentant un total de plusieurs kilomètres.

Ces résultats ont permis de positionner et d'effectuer 6 carottes. Les descriptions et les paramètres physiques (granulométrie, susceptibilité magnétique) sont présentés dans ce livrable. **Concernant les paramètres chimiques et de datation, ils seront présentés dans le prochaine livrable.**

Mots-clés

RCC1 (Péage-de-Roussillon), caractérisation géophysique (GPR, ERT), structures sédimentaires, carottes, granulométrie, susceptibilité magnétique.

Table des matières

I.	Introduction.....	8
II.	Prospection par Tomographie de Résistivité Electrique (ERT).....	10
	Objectif.....	10
	Nomenclature	10
	Localisation (Figure 2)	10
	Matériel et méthode.....	11
	Résultats.....	13
	Conclusion	14
III.	Prospection par Radar géologique (GPR).....	15
	Objectif.....	15
	Nomenclature	15
	Localisation (Figure 8)	15
	Matériel et méthode.....	16
	Résultats.....	18
	Les profils singuliers des Casiers Girardon.....	18
	De nombreux chenaux détectés	19
	Des sites de sédimentation monotone	19
	Conclusion	20
IV.	Carottages	21
	Objectif.....	21
	Nomenclature	21
	Localisation.....	21
	Position sur le RCC1 (Figure 14)	21
	Position sur les profils géophysiques	22
	Matériel et méthode.....	24
	Résultats.....	26
	Annexe 1 : Profils Tomographie de Résistivité Electrique (ERT).....	30
	Annexe 2 : Profils Radar Géologique (GPR) Antenne 200MHz.....	36
	Annexe 3 : Description, granulométrie et Susceptibilité Magnétique des carottes prélevées.	62

Table des figures

<i>Figure 1 : a/ localisation des douze sites du RCC1 ; b/ positions des principaux travaux sur le MNT CNR-OSR-TopoLIDAR_PDR2013.</i>	9
<i>Figure 2 : localisation des 6 profils ERT réalisés sur le RCC1. La figure de droite représente les profils GPR positionnés sur la carte de J.P. Bravard (seuls les bras en tresses et les bancs du XIXème siècle sont représentés en jaune et jaune/vert).</i>	10
<i>Figure 3 : dispositifs d'électrodes couramment utilisés : a) Wenner, b) Schlumberger, c) Pôle-Dipôle, d) Dipôle-Dipôle</i>	11
<i>Figure 4 : principe de mesure de l'imagerie de résistivité électrique</i>	11
<i>Figure 5 : a) pseudo-section de résistivités apparentes mesurées. b) pseudo-section de résistivités apparentes calculées à partir d'un modèle de répartition des résistivités. c) modèle de répartition de résistivités électriques correspondant à la pseudo-section de résistivité apparente calculée (b).</i>	12
<i>Figure 6 : modèle de répartition de résistivités électriques et interprétation du profil ERT10b, avec écartement d'électrodes de 4,5 m soit 50 m d'investigation en profondeur.</i>	13
<i>Figure 7 : modèle de répartition de résistivités électriques et interprétation du profil ERT12, avec écartement d'électrodes de 2 m, soit 25 m d'investigation en profondeur.</i>	13
<i>Figure 8 : localisation des 28 profils ERT réalisés sur le RCC1 (tous les noms de profils ne sont pas présents). La figure de droite représente les profils GPR positionnés sur la carte de Paléochenaux de J.P. Bravard (seuls les bras en tresses et les bancs du XIXème siècle sont représentés en jaune et jaune/vert).</i>	15
<i>Figure 9 : le SIR-3000 au premier plan, et de gauche à droite les antennes de 100, 200 et 400 Mhz</i>	16
<i>Figure 10 : interprétation du radargramme partiel du profil GPR5c sur le RCC1.</i>	18
<i>Figure 11 : interprétation du radargramme partiel du profil GPR2d sur le RCC1.</i>	18
<i>Figure 12 : interprétation du radargramme partiel du profil GPR7e sur le RCC1.</i>	19
<i>Figure 13 : interprétation du radargramme partiel des profils GPR4 et GPR7a sur le RCC1.</i>	19
<i>Figure 14 : à gauche, localisation des 6 carottes réalisés sur le RCC1. A droite, les carottes positionnés sur la carte de Paléochenaux de J.P. Bravard (seuls les bras en tresses et les bancs du XIXème siècle sont représentés en jaune et jaune/vert).</i>	21
<i>Figure 15 : positionnement et profondeur atteinte de la carotte C3 sur le profil GPR3a.</i>	23
<i>Figure 16 : positionnement et profondeur atteinte des carottes C10a, C10b et C10c sur les profils GPR10a et GPR10b</i>	23
<i>Figure 17 : positionnement et profondeur atteinte des carottes C12a, C12b sur le profil GPR12</i>	23
<i>Figure 18 : échelle granulométrique AFNOR</i>	25
<i>Figure 19 : hypothèses sur la temporalité des dépôts et l'influence des aménagements (sur la base des analyses granulométriques et de susceptibilité magnétique)</i>	28

I. Introduction

L'étude présentée du Rhône court-circuité de Péage de Roussillon (RCC1), objet du présent rapport s'est déroulé de janvier à septembre 2016. En accord avec les objectifs de l'action II de l'OSR 4, l'objectif était d'identifier des sites caractéristiques du remplissage sédimentaire récent du lit majeur du Rhône, de les investiguer par des méthodes géophysiques (Radar géologique ou GPR et Tomographie électrique ou ERT) et d'en fournir une première interprétation (Action II.2).

En accord avec l'équipe d'Hervé Piégay (UMR 5600) une douzaine de sites ont été investigués (Figure 1). Les sites ont été choisis pour obtenir :

- Une représentation amont/aval de l'ensemble du RCC1 ;
- Une image des remplissages sédimentaires en fonction de l'éloignement du fleuve dans sa position actuelle
- Une image des remplissages sédimentaires le long de train de casiers Girardon.

Le présent rapport constitue aussi le livrable de l'action II-3 de l'OSR4 2015-2017. Il fait suite à la caractérisation géophysique par radar géologique (GPR) et tomographie électrique (ERT). Ces caractérisations géophysiques antérieures ont permis d'identifier des zones préférentielles de carottage peu profond inférieur à 3 m (anciens chenaux, remplissages postérieurs au XIXème siècle, etc.)

La mission de prélèvement des archives sédimentaires et de la réalisation de leur analyse sédimentologique (granulométrie, susceptibilité magnétique) s'est déroulée du mois d'avril au mois de juin 2016. La caractérisation de la géométrie du remplissage sédimentaire de Péage-de-Roussillon, subséquente à la campagne géophysique, a permis d'identifier le positionnement des carottages, afin de (i) confirmer les interprétations des radargrammes par des mesures du matériel sédimentaire, (ii) proposer des hypothèses d'évolution temporelle de la sédimentation, par exemple via l'identification dans les prélèvements de l'action des crues et (iii) identifier ultérieurement un plan d'échantillonnage optimisé des carottes en vue des analyses chimiques et de la recherche de radioéléments (^{210}Pb et ^{137}Cs). **L'analyse chimique des carottes fera l'objet du prochain livrable.**

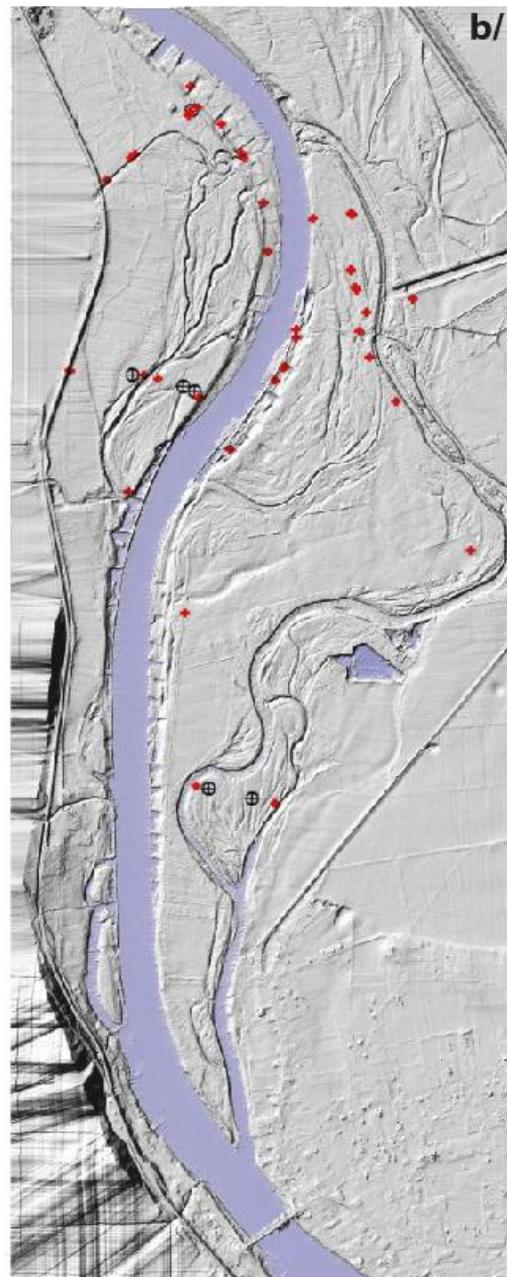
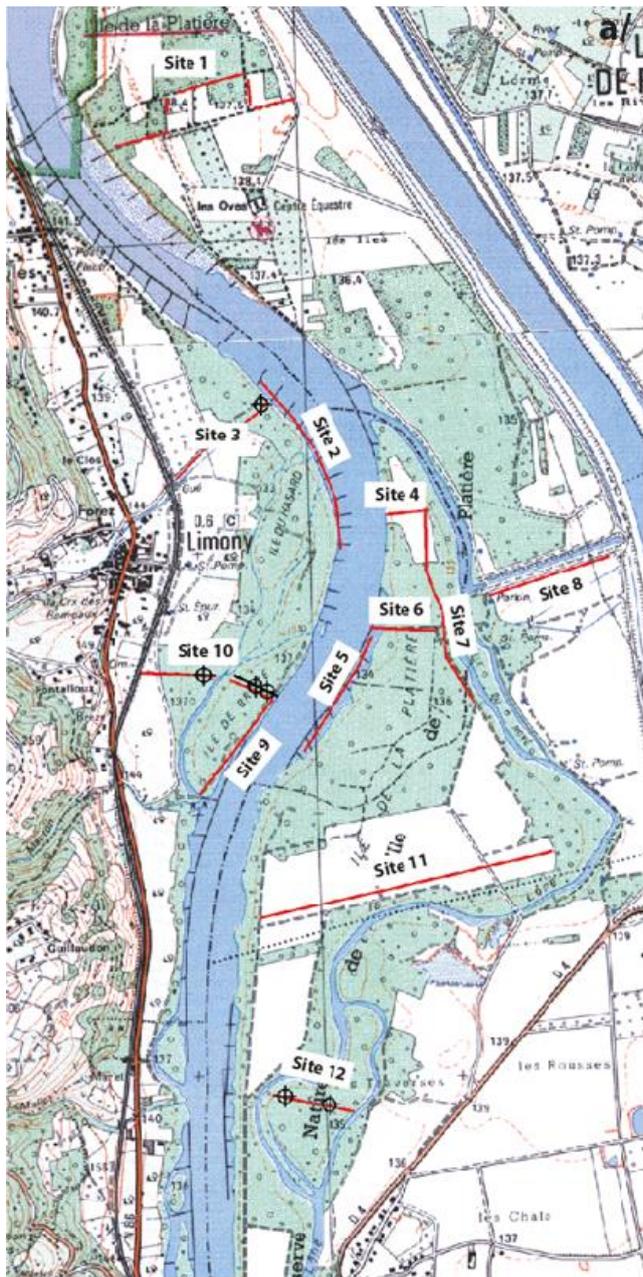


Figure 1 : a/ localisation des douze sites du RCC1 ; b/ positions des principaux travaux sur le MNT CNR-OSR-TopoLIDAR_PDR2013.

II. Prospection par Tomographie de Résistivité Electrique (ERT)

Objectif

Il s'agit d'obtenir des profils en profondeur (au-delà de 20 m) afin d'estimer l'épaisseur totale et la structure des sédiments fluviaux du Rhône jusqu'aux argiles Pliocène. Outre une meilleure connaissance de la géologie de surface du secteur, cette prospection permettra une meilleure interprétation des profils GPR et un meilleur positionnement des carottes.

Nomenclature

Les profils électriques ont été nommés avec le préfixe ERT pour Electrical Resistivity Tomography, auquel a été adjoint le numéro site et une lettre pour identifier chaque profil d'un même site et une lettre minuscule correspondant à l'éloignement par rapport au Rhône : de « a » à « b ». Par exemple, le profil ERT10a est le profil le plus près du Rhône sur le site 10.

Localisation (Figure 2)

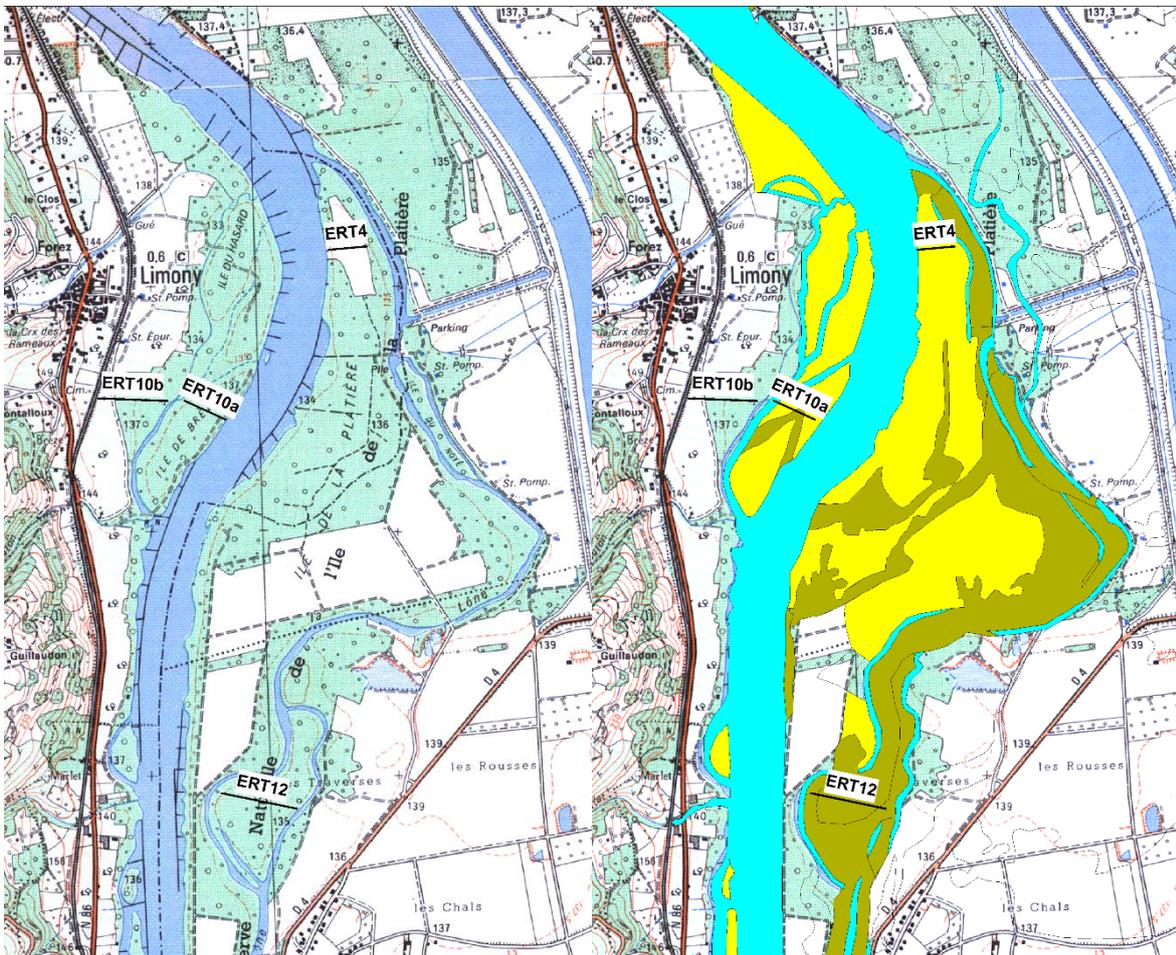


Figure 2 : localisation des 6 profils ERT réalisés sur le RCC1. La figure de droite représente les profils GPR positionnés sur la carte de J.P. Bravard (seuls les bras en tresses et les bancs du XIXème siècle sont représentés en jaune et jaune/vert)

Matériel et méthode

L'imagerie de résistivité électrique ou Tomographie de Résistivité Électrique (Electrical Resistivity Tomography - ERT) consiste à injecter dans le sol un courant électrique continu entre deux électrodes métalliques plantées en surface (définissant un dipôle d'injection généralement noté AB), et à mesurer la différence de potentiel induite entre deux autres électrodes, qui définissent un dipôle de mesure généralement noté MN, réparties sur un profil généralement rectiligne en surface. Les mesures sont effectuées suivant une séquence prédéfinie dépendant de la configuration choisie pour les électrodes (Figure 3), chaque séquence individuelle correspond à la mesure par un quadripôle constitué d'une paire d'électrodes d'injection et d'une paire d'électrodes de mesure.

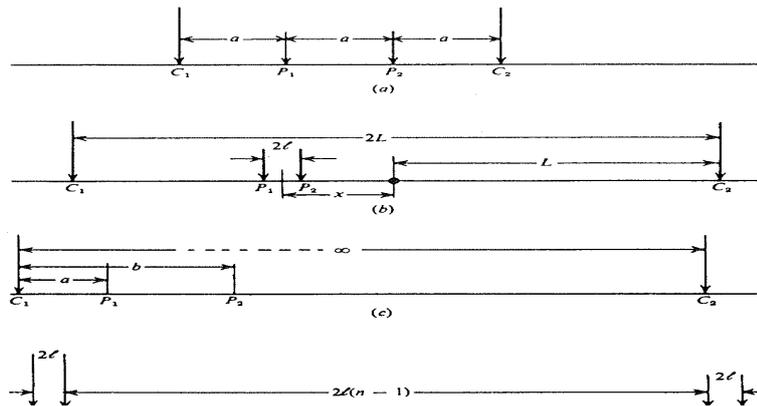


Figure 3 : dispositifs d'électrodes couramment utilisés : a) Wenner, b) Schlumberger, c) Pôle-Dipôle, d) Dipôle-Dipôle

Les valeurs de résistivités apparentes obtenues pour chacun des quadripôles de mesure sont reportées sur une pseudo-section, représentant les variations de la résistivité apparente du sous-sol dans le plan vertical défini par la ligne d'électrodes en surface. La résistivité apparente correspond aux valeurs de résistivité obtenue sur le terrain, et est dépendante de la configuration des électrodes. Elle correspond à la résistivité d'un terrain homogène qui, pour une configuration identique des électrodes et un même courant électrique injecté, donnerait la même mesure de potentiel électrique que le sol hétérogène réel. Une pseudo-section est obtenue en reportant les valeurs de résistivité apparente mesurées à une pseudo-profondeur dépendant de l'écartement des électrodes (Figure 4). Cet écartement détermine donc la profondeur d'investigation : plus il est important et plus la profondeur d'investigation est élevée.

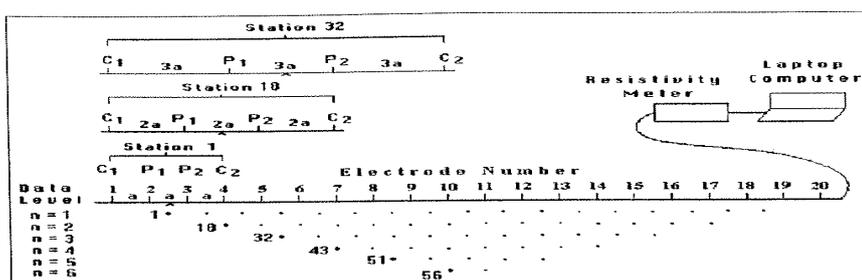


Figure 4 : principe de mesure de l'imagerie de résistivité électrique

La coupe verticale représentant les résistivités réelles en fonction de la profondeur est obtenue par inversion de la pseudo-section de résistivité apparente. L'inversion consiste en un processus itératif qui tente de minimiser l'écart entre la pseudo-section mesurée (Figure 5a) et une pseudo-section calculée (Figure 5b) à partir d'un modèle de résistivité électrique. La minimisation des écarts se fait généralement par la méthode des moindres carrés. Le modèle de résistivité obtenu après inversion n'est pas unique, d'autres solutions peuvent représenter correctement la résistivité réelle du sol. L'inversion a tendance à lisser les contrastes de résistivité.

Cette méthode permet de fournir des coupes verticales (2D) des résistivités du sous-sol (Figure 5c).

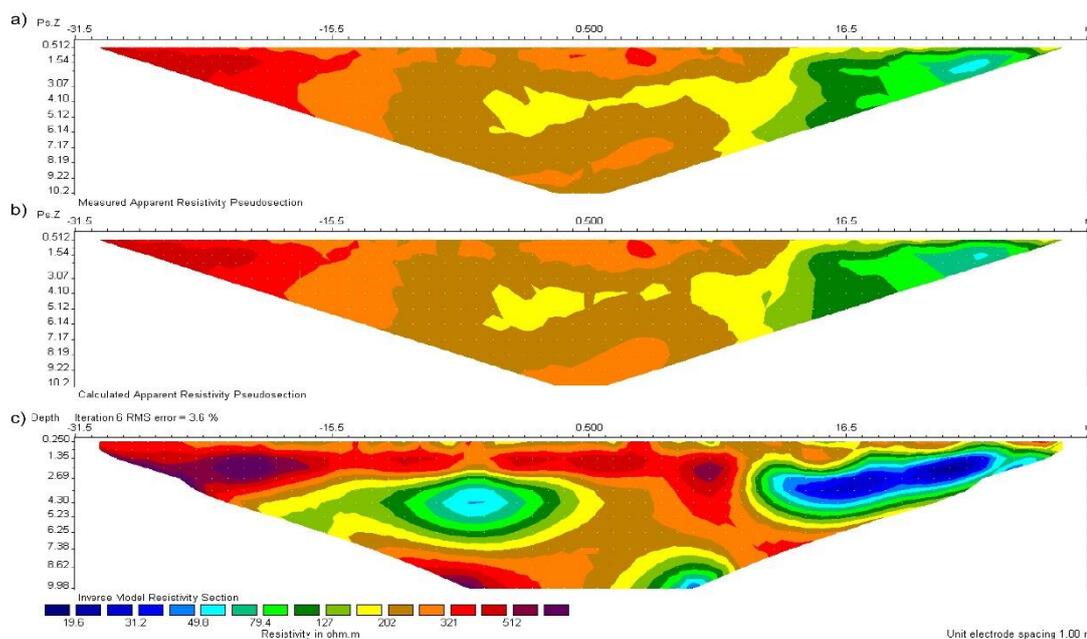


Figure 5 : a) pseudo-section de résistivités apparentes mesurées. b) pseudo-section de résistivités apparentes calculées à partir d'un modèle de répartition des résistivités. c) modèle de répartition de résistivités électriques correspondant à la pseudo-section de résistivité apparente calculée (b).

Les acquisitions ont été réalisées avec le résistivimètre Terrameter LS de la société ABEM. Le dispositif choisi pour les investigations est un dispositif Wenner-Schlumberger (WS).

Quatre profils d'ERT, localisés sur le plan de situation des investigations, ont été mesurés :

- les profils ERT10b et ERT10a, réalisés les 18 et 19 février 2016,
- les profils ERT12 et ERT4, réalisés les 30 et 31 mars 2016.

Le Tableau 1 synthétise les données relatives aux mesures. Les mesures ont été effectuées avec un écartement inter-électrodes soit de 2 m, de 4 m ou de 4,5 m. Elles ont été réalisées en poursuivant le dispositif de base de 64 électrodes par un ou plusieurs roll-along consécutifs de 16 électrodes.

Tableau 1 : données relatives aux mesures ERT effectuées sur le RCC1

Profil	Ecartement inter-électrodes	Dispositif	Nombre d'électrodes	Roll-along	Linéaire total investigué (m)	Profondeur d'investigation approximative (m)
ERT10b	2 m	WS	64	5	286	25
	4,5 m		64	/	283.5	50
ERT10a	2 m		64	2	190	25
	4 m		48	/	188	35
ERT12	2 m		64	6	318	25
ERT4	2 m		64	1	158	25

La résolution verticale des profils peut être estimée à la moitié de l'espacement inter-électrodes.

L'inversion des mesures a été réalisée avec le logiciel Res2Dinv (Loke et Barker, 1996). Ce logiciel effectue l'inversion des résistivités apparentes mesurées par une méthode d'optimisation par moindres carrés. A chaque itération, un modèle de résistivités apparentes calculées est comparé avec la pseudo-section de résistivités apparentes mesurées. Si l'écart RMS (Root-Mean Square) entre le modèle et les

mesures est suffisamment faible, le modèle de résistivité est considéré valide, sinon une nouvelle itération correspondant à un modèle de résistivité différent est proposée. En ce qui concerne les profils mesurés, entre 3 et 4 itérations ont été nécessaires pour converger vers un modèle de résistivité considéré valide.

Les profils de résistivité obtenus après inversion ont tous été représentés avec une échelle identique de couleurs associés aux gammes de résistivité électrique.

Résultats

Les premières interprétations permettent de mettre en évidence (Figure 6 et Figure 7)

- le substratum argileux du Pliocène qui est associé aux plus faibles résistivités mesurées en profondeur (résistivités inférieures à 50 ohm.m)
- au sein des alluvions récentes, on distingue deux types : les alluvions dont les résistivités sont comprises entre 200 et 1000 ohm.m, et celles dont les résistivités associées sont supérieures à 1500 ohm.m. Il faudra creuser l'interprétation concernant cette différence qui semble être associée à une différence de granulométrie. En ce qui concerne le second type, on distingue clairement des ensembles de plus forte résistivité : il pourrait s'agir de zones de migration de chenaux (chenaux divagants ou en tresse).
- qu'au proche de la surface, on observe des diminutions locales de résistivité, associée à des zones de dépressions. Il s'agit de chenaux très récents comblés, qui sont également identifiables sur les profils GPR.

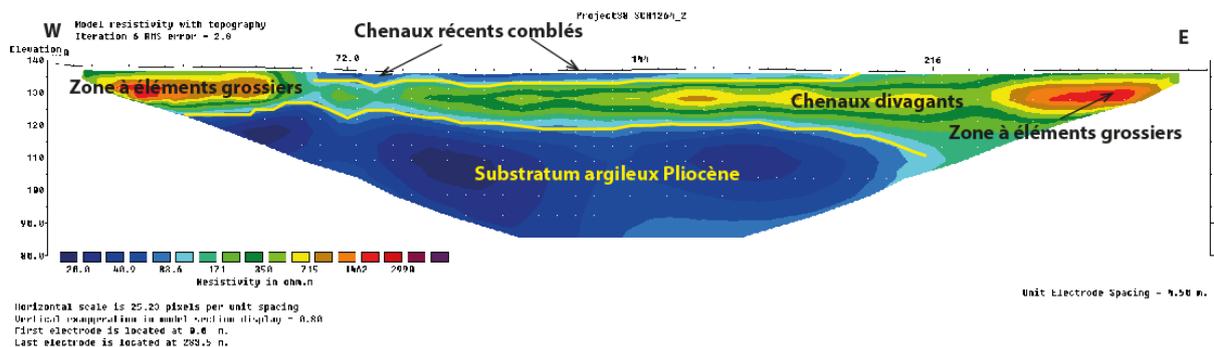


Figure 6 : modèle de répartition de résistivités électriques et interprétation du profil ERT10b, avec écartement d'électrodes de 4,5 m soit 50 m d'investigation en profondeur.

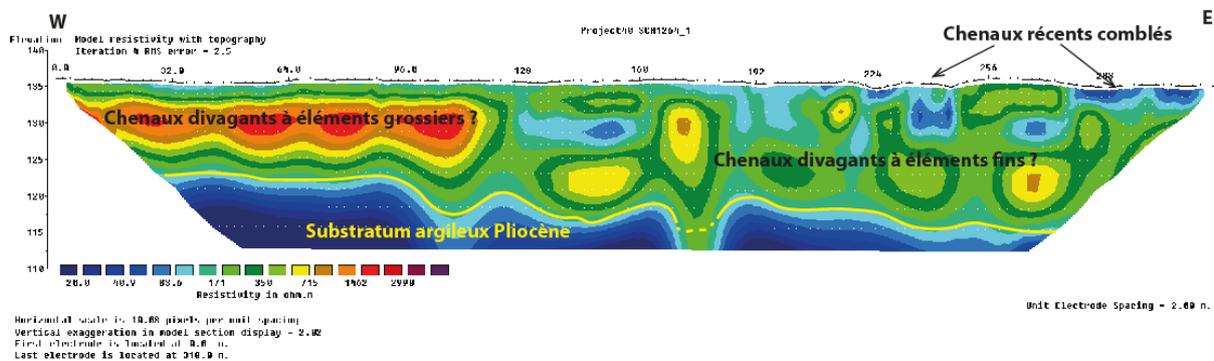


Figure 7 : modèle de répartition de résistivités électriques et interprétation du profil ERT12, avec écartement d'électrodes de 2 m, soit 25 m d'investigation en profondeur.

Conclusion

Les résultats obtenus sont en accord avec les travaux de J.P. Bravard et avec la base de données info terre (en particulier le log géologique 07701X0022/P_LIMO). De plus, cette méthode s'est avérée très efficace pour la détection des grandes structures sédimentaires (Chenaux divagants, chenaux récents comblés) et a permis de mieux renseigner les épaisseurs d'alluvions du Rhône (environ entre 10 et 20 m) dans le secteur.

L'ensemble des profils ERT et leurs interprétations se trouve en annexe 1

III. Prospection par Radar géologique (GPR)

Objectif

L'objectif de cette étude est d'identifier des sites caractéristiques du remplissage sédimentaire sur le RCC1 et de les investiguer à l'aide du radar géologique. L'interprétation de ces profils permettra de mieux comprendre le remplissage sédimentaire récent (XIX^{ème} à actuel) par l'étude des structures sédimentaires alluviales sur une profondeur de 4 à 5 m. De plus, ce travail permettra de positionner d'une manière adéquate les carottages présentés dans la partie suivante.

Nomenclature

Les profils radar ont été nommés avec le préfixe GPR pour Ground Penetrating Radar, auquel a été adjoint le numéro du site et une lettre pour identifier chaque profil d'un même site et une lettre minuscule correspondant à l'éloignement par rapport au Rhône (pour les profils perpendiculaires au fleuve) ou de l'amont vers l'aval (pour les profils parallèles au fleuve) : de « a » à « e ». Par exemple, le profil GPR10a est le profil le plus près du Rhône sur le site 10.

Localisation (Figure 8)

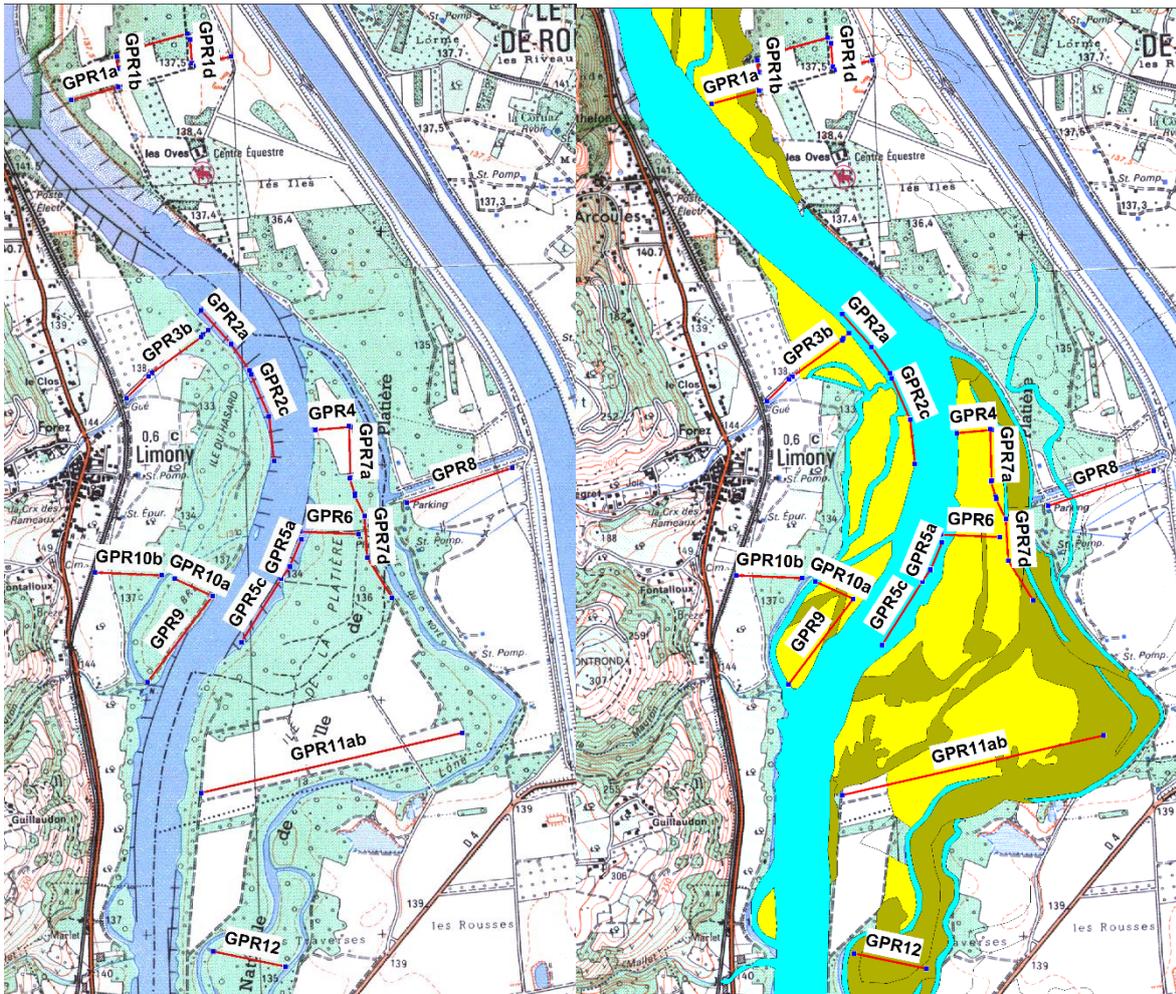


Figure 8 : localisation des 28 profils ERT réalisés sur le RCC1 (tous les noms de profils ne sont pas présents). La figure de droite représente les profils GPR positionnés sur la carte de Paléochenaux de J.P. Bravard (seuls les bras en tresses et les bancs du XIX^{ème} siècle sont représentés en jaune et jaune/vert).

Matériel et méthode

La technique du radar géologique permet d'obtenir une image de la subsurface à haute résolution. Une impulsion électromagnétique est envoyée dans le sous-sol, via une antenne émettrice, à une fréquence déterminée. Cette impulsion se propage en s'atténuant dans les matériaux (ou les sols) et, à chaque interface entre des milieux différents, une partie de son énergie est réfléchi 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.

La vitesse de propagation des ondes dépend principalement de la constante diélectrique (ou permittivité relative) du milieu environnant et peut être présentée en première approche sous la forme suivante : $v=c/\sqrt{\epsilon_r}$, avec v = vitesse de l'onde électromagnétique en m/s, c = célérité de la lumière dans le vide (3.108 m/s), ϵ_r = permittivité relative (sans dimension). Plus un matériau est humide, plus la vitesse de propagation est lente ; cela peut influencer la précision des mesures lorsqu'il existe un gradient d'humidité au sein de ce milieu (comme pour le béton par exemple).

Nous avons utilisé un radar géologique de la marque GSSI (SIR-3000) du laboratoire LEHNA-IPE de l'ENPE. Le choix de l'antenne s'effectue de manière à obtenir le meilleur compromis entre la profondeur d'investigation et la résolution verticale (possibilité de séparer deux couches en profondeur) ; la profondeur maximale d'acquisition étant au préalable très difficile à estimer, trois types d'antennes différents ont été utilisés dans le cadre de cette étude : 100, 200 et 400 MHz (Figure 9).



Figure 9 : le SIR-3000 au premier plan, et de gauche à droite les antennes de 100, 200 et 400 Mhz

La profondeur d'auscultation dépend de plusieurs facteurs :

- La conductivité du matériau encaissant, principale cause de l'atténuation des ondes ;
- Le choix de la fréquence : la profondeur d'investigation décroît lorsque la fréquence augmente ;
- La dynamique du système radar, qui indique le rapport signal/bruit minimal détectable, et que l'on peut relier à une profondeur limite d'auscultation ;
- L'adaptation de l'antenne au matériau (l'aptitude à transmettre le maximum d'énergie rayonnée dans une direction donnée) ;
- La section équivalente radar (valeur décrivant l'énergie réfléchi dans une direction donnée suivant la forme et la taille de l'objet à détecter) ;

- Le contraste électromagnétique de l'objet par rapport au matériau encaissant, en sachant que plus celui-ci est élevé et plus l'énergie rétrodiffusée est importante ;
- Le niveau de bruit diffractant dû à la nature du matériau encaissant (taille et géométrie des granulats ou blocs).

Compte tenu de tous ces paramètres, la profondeur d'investigation peut aller de 0 à quelques mètres dans les cas les plus courants. Elle peut exceptionnellement atteindre quelques dizaines de mètres dans la glace, le sable sec, le rocher très sain.

Il existe une relation entre la profondeur d'investigation possible et la résolution qui sont liées à la longueur d'onde émise. Cette résolution est définie comme la distance minimale entre deux interfaces pour que ces dernières soient visibles sur le radargramme. C'est une fonction de la fréquence de l'onde électromagnétique (inversement proportionnelle à la longueur d'onde). Elle est théoriquement égale à $\lambda/4$ (où λ est la longueur d'onde à la fréquence d'étude) ; la résolution réelle est comprise entre $\lambda/3$ et $\lambda/2$. D'après la relation de la vitesse des ondes électromagnétiques $v = \lambda \cdot f$, la fréquence augmente lorsque la longueur d'onde diminue. La résolution étant proportionnelle à la longueur d'onde, elle sera d'autant plus importante que la fréquence augmente : une grande longueur d'onde induit une faible atténuation et l'onde électromagnétique va pénétrer en profondeur ; corrélativement, la résolution est faible et l'onde n'est pas affectée par les objets de dimension réduite.

Le radar géologique est sensible aux d'interface air/eau/sédiments, à la quantité et au type de fluide occupant les pores des sédiments, au changement de porosité, de granulométrie, de forme des grains et de leur orientation. Les variations d'interface (Van Dam, 2001) peuvent être à l'origine de réflexions radar au sein d'un même faciès sédimentaire. Les permittivités diélectriques des phases air/eau/sédiments sont sensiblement différentes (80 pour l'eau, 4-6 pour les sédiments et 1 pour l'air ; Reynolds, 2005). Des réflexions radar peuvent interférer dans l'interprétation des données recueillies au radar géologique ; il est donc primordial de connaître la capacité d'un faciès sédimentaire à retenir l'eau. D'autres phénomènes peuvent interférer avec les ondes électromagnétiques de l'antenne émettrice comme le bruit environnant (téléphone portable, antennes relais, talkie-walkie...) et peuvent être supprimés avec des filtres fréquentiels.

Tous ces facteurs interagissent sur les ondes radar enregistrées au niveau de l'antenne réceptrice. Cependant, on peut retenir que, dans un même environnement, suivant la nature et la forme d'un objet enterré, la profondeur maximale à partir de laquelle il ne sera plus détecté peut-être notablement différente.

Au cours de cette étude, un seul type d'antenne a été utilisé : 200 MHz. Les résultats de l'étude de décembre 2015 (voir livrable OSR4 2015-2017 : Caractérisation Géophysique du Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon. Rapport de la phase d'acquisition des transects longs et de traitement des radargrammes, OSR4 2015-2017, Action II.2, 21 janvier 2016) ont montré que le rapport résolution/profondeur d'investigation était optimale avec l'antenne de 200 MHz.

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, migration avec une vitesse de $0,089 \text{ m} \cdot \text{ns}^{-1}$ (vitesse obtenue par CMP sur un casier Girardon lors d'une étude précédente), application d'un gain.

Durant cette campagne une vingtaine de profils supplémentaires ont été obtenus en plus de ceux obtenus lors de la campagne d'acquisition de décembre 2015. Ils ont été acquis du 17 au 19 février 2016 et du 30 mars au 1er avril 2016.

Résultats

Les profils singuliers des Casiers Girardon

Deux trains de casiers ont été investigués par un long profil au radar géologique :

- Une dizaine de casiers en rive droite du Rhône : de GPR2a à GPR2d
- Six casiers en rive gauche du Rhône : de GPR5a à GPR5c, en incluant le casier étudié lors de l'étude BRGM (rapport BRGM/RC-60367-FR) et de l'étude ENTPE 2012.

Les résultats montrent que la méthode permet de bien estimer les variations d'épaisseurs du remplissage des casiers et de distinguer l'interface remplissage/toit des graviers sur tous les casiers investigués. De plus, des structures internes du remplissage des casiers sont facilement décelables et constituent souvent un réflecteur continu (Figure 10).

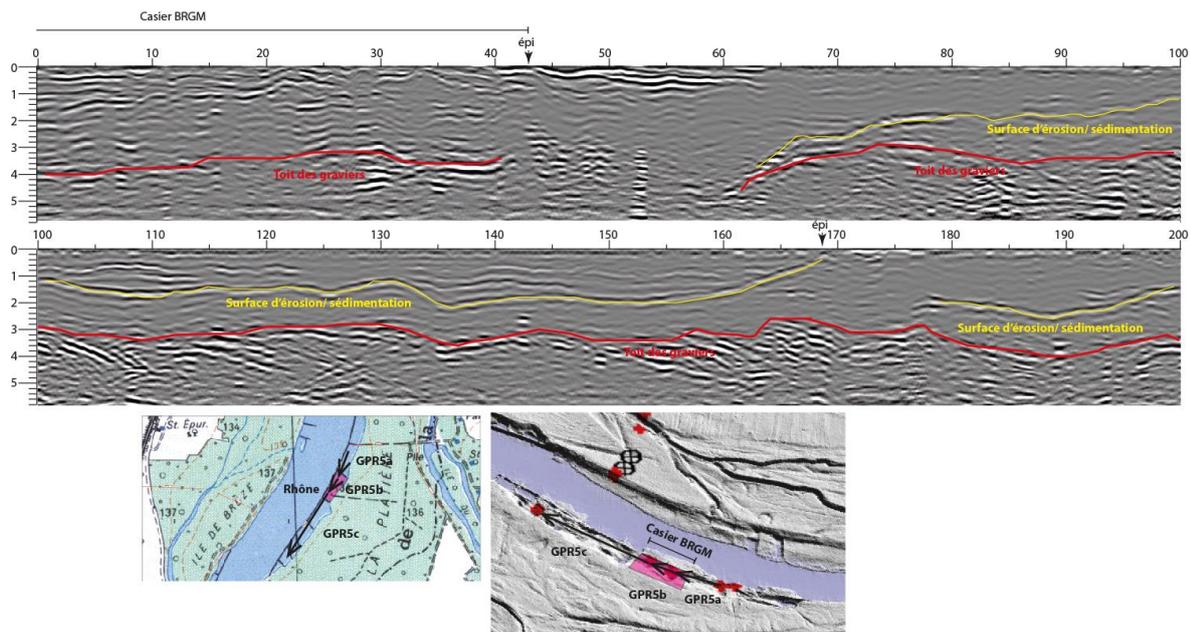


Figure 10 : interprétation du radargramme partiel du profil GPR5c sur le RCC1.

En rive droite et d'une manière assez régulière, un surcreusement dans les alluvions post-casier est observés à l'aval des épis. Ce surcreusement est rempli d'une épaisseur d'environ 2 m de sédiment plus récent (Figure 11).

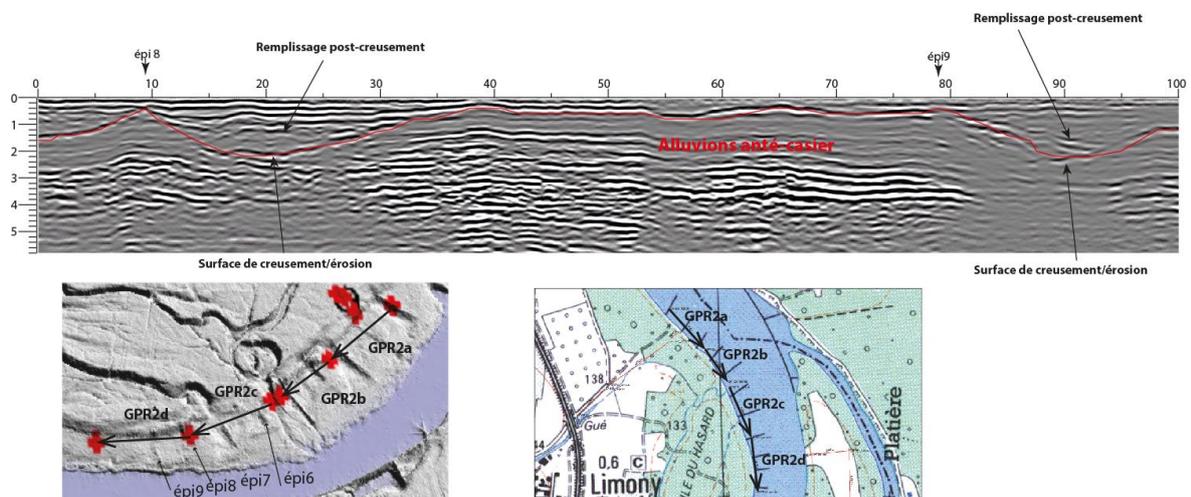


Figure 11 : interprétation du radargramme partiel du profil GPR2d sur le RCC1.

De nombreux chenaux détectés

De nombreux chenaux sont présents sur les profils GPR1, GPR7, GPR8, GPR10, GPR11, GPR12 et sont parfois ils peuvent être observés sur le MNT (voir annexe 2). Ils ont en moyenne 2 m d'épaisseur et peuvent s'étendre sur plusieurs dizaines de m (Figure 12).

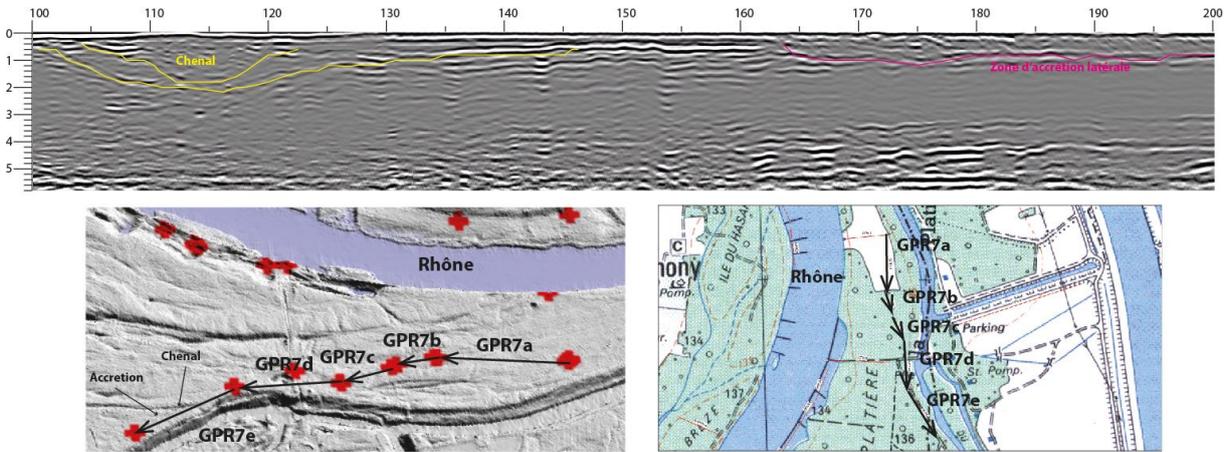


Figure 12 : interprétation du radargramme partiel du profil GPR7e sur le RCC1.

Des sites de sédimentation monotone

La présence de réflecteurs radar continu et subhorizontaux sur les profils GPR1, GPR3, GPR4, GPR7 et GPR9 (voir annexe 2) atteste d'une sédimentation en milieu relativement calme souvent composée de matériaux fins (amplitude des réflecteurs atténuée). Plusieurs périodes de sédimentation peuvent être observées : un nappage de sédiments récents (< 1m), un dépôt de sédiment fin en structure horizontale et parallèle (environ 3 m) et un dépôt d'éléments plus grossier de structure plus chaotique sans pendage particulier (Figure 13)

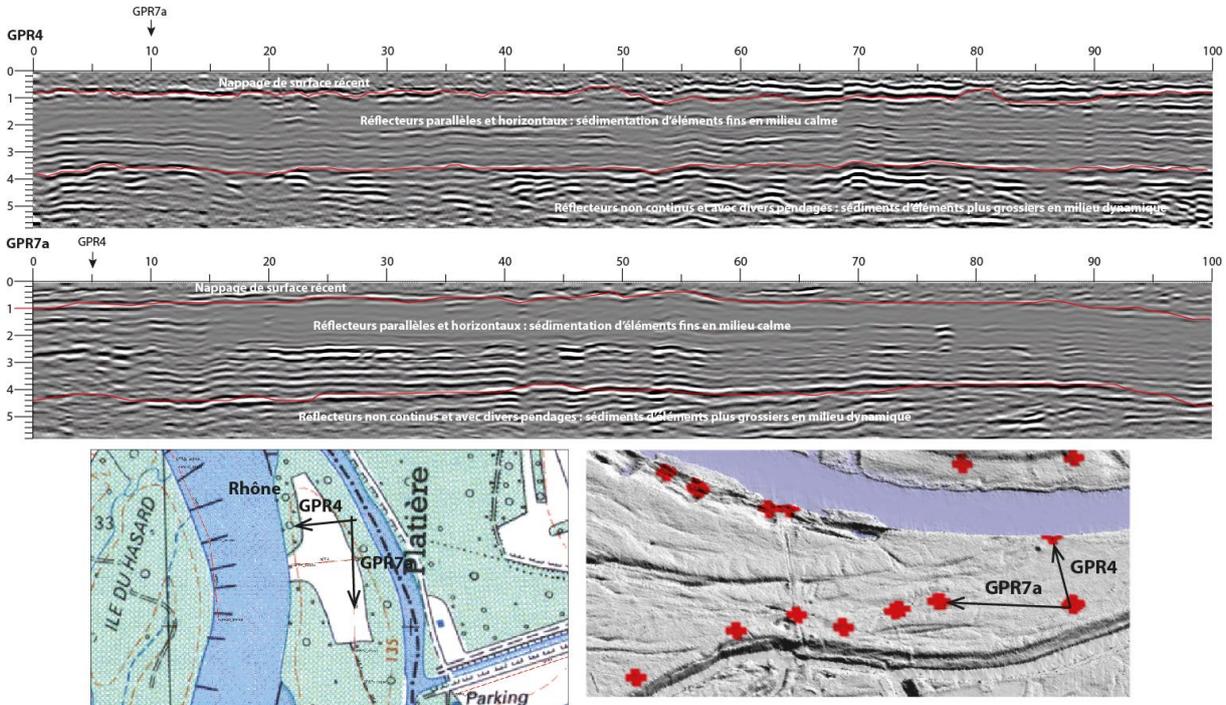


Figure 13 : interprétation du radargramme partiel des profils GPR4 et GPR7a sur le RCC1.

Conclusion

La méthode GPR s'avère un bon outil d'estimation des épaisseurs et des formes sédimentaires sur tous les sites investigués. L'analyse géomorphologique de la surface couplée avec les résultats GPR présentés permettra d'obtenir un canevas des processus de sédimentation sur ce RCC1.

De plus l'analyse de l'ensemble des radargrammes a permis de faire le choix des 6 sites de carottage.

L'ensemble des profils GPR et leurs interprétations se trouve en annexe 2.

IV. Carottages

Objectif

Les sites de carottage qui ont fourni les matériaux de cette étude ont été choisis dans le but de prélever des sédiments susceptibles de contenir la trace des polluants ayant été chargés sur les berges depuis le début des aménagements du Rhône. Les méthodes de caractérisation électriques (tomographie ERT) et électromagnétiques (GPR), ainsi que l'expertise de l'équipe EVS ont permis de sélectionner six sites de carottage de sédiments potentiellement d'âge récent (du XIXème siècle à nos jours) dans une gamme de profondeurs accessibles par carottage peu profond (< 3m).

L'étude des paramètres physiques de ces carottes permettra de proposer un premier schéma d'évolution temporelle de la sédimentation des crues du RCC1 en insistant sur le rôle des aménagements (casier Girardon, barrage de Pierre Bénite) sur cette sédimentation. C'est une étape indispensable avant l'analyse chimique globale (core scanner) et la collecte d'échantillon à des fins d'analyses chimiques (métaux lourds, PCB) et de radioéléments (Césium 137, Plomb 210). **Cette analyse chimique des carottes fera l'objet du prochain livrable.**

Nomenclature

Les carottes ont été nommées avec le préfixe C pour Carotte, auquel a été adjoint le numéro site et une lettre pour identifier chaque carotte d'un même site et une lettre minuscule correspondant à l'éloignement par rapport au Rhône : de « a » (près du fleuve) à « c » (plus éloigné). Par exemple, la carotte C10b est une carotte prélevée sur le site 10, c'est la deuxième carotte en partant du Rhône.

Localisation (Position sur le RCC1 – Figure 14)

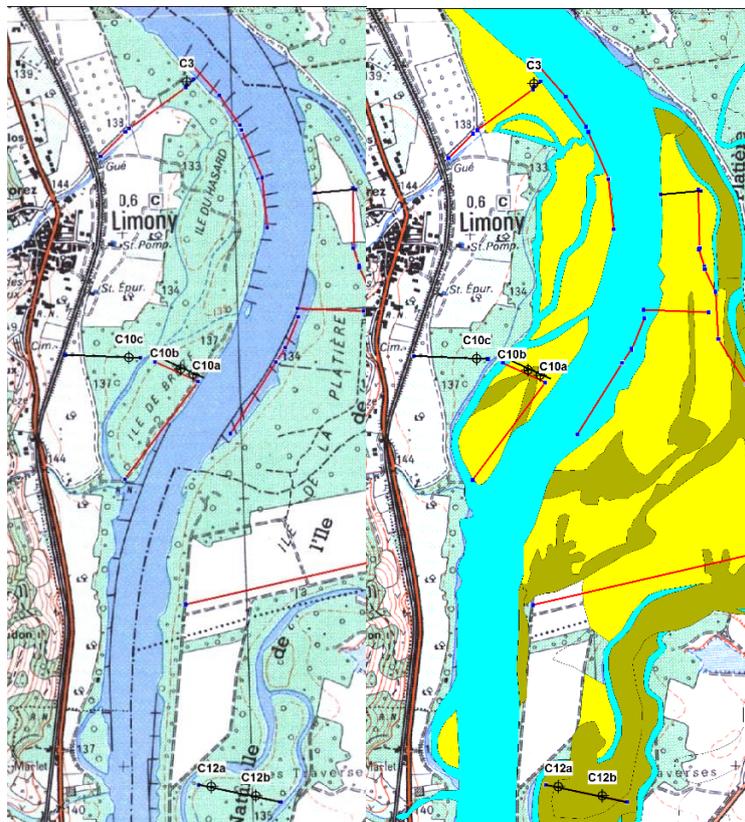


Figure 14 : à gauche, localisation des 6 carottes réalisées sur le RCC1. A droite, les carottes positionnés sur la carte de Paléochenaux de J.P. Bravard (seuls les bras en tresses et les bancs du XIXème siècle sont représentés en jaune et jaune/vert)

Tous les profils sont sur un profil GPR et ERT, seule la carotte C3 n'est pas sur un profil ERT. 4 carottes se trouvent en rive droite et 2 carottes se trouvent en rive gauche. Seule la carotte amont (C3) est seule, les autres carottes (C12a et C12b ; C10a, C10b et C10c) se trouvent sur un transect d'éloignement du Rhône.

Position sur les profils géophysiques

Critères de choix du positionnement des carottes (Tableau 2) :

- La position de la carotte C3 (Figure 14 et Figure 15), la plus au nord du RCC1, a été choisie car elle est à une altitude supérieure à 138 m (les récentes crues ne l'on pas atteinte). Le profil GPR3a montre un enregistrement de réflecteurs sur 3 m de profondeurs, sans doute dû à un enregistrement de crues (succession de couches fines et plus grossières) qui se déroulent avant les aménagements du Rhône.
- Les positions des carottes C10 se trouvent sur l'île du Gouvernement (C10a et C10b) et à l'Ouest de celle-ci (C10c) (Figure 14 et Figure 16), en rive droite du Rhône. Elles sont sur les mêmes transects GPR et ERT et sont disposées selon un gradient de distance d'éloignement par rapport au Rhône. Les carottes C10a et C10b permettront de mieux renseigner la couche de surface d'environ 1 m de sédiments fins (réflecteurs atténués) pouvant être attribué à des événements récents et les couches sous-jacentes. La carotte C10b permettra de renseigner la sédimentation dans le chenal A (Figure 16).
- Les positions des carottes C12 se trouvent la plus au sud du RCC1, en rive gauche du Rhône (Figure 14 et Figure 17). Elles se situent entre deux îlons qui semblent avoir divagué au cours du temps. Elles sont sur les mêmes transects GPR et ERT et sont disposées selon un gradient de distance par rapport au Rhône. Les carottes C12a et C12b permettront de mieux renseigner les effets des aménagements dans cette zone.

Tableau 2 : Synthèse et critères de choix du positionnement de chaque prélèvement par carottage court sur le RCC1 .

Carotte	Coordonnées (long., lat.)	Position sur le fleuve	Campagne(s) géophysique(s) disponible(s)	Critère(s) de choix
C3	4,764539 45,357756	Rive droite	GPR	Position préservée de l'action des crues récentes
C10a	4,764403 45,347887	Rive droite, Ile du Gouvernement	GPR et ERT	Investigation de la couche de surface
C10b	4,763822 45,348082	Rive droite, Ile du Gouvernement	GPR et ERT	Investigation de la couche de surface
C10c	4,761375 45,348514	Rive droite, Ile du Gouvernement	GPR et ERT	Investigation du remplissage d'un ancien chenal
C12a	4,764403 45,333951	Rive gauche	GPR et ERT	Investigation du remplissage d'un ancien chenal
C12b	4,766777 45,333596	Rive gauche	GPR et ERT	Investigation de l'impact des aménagements

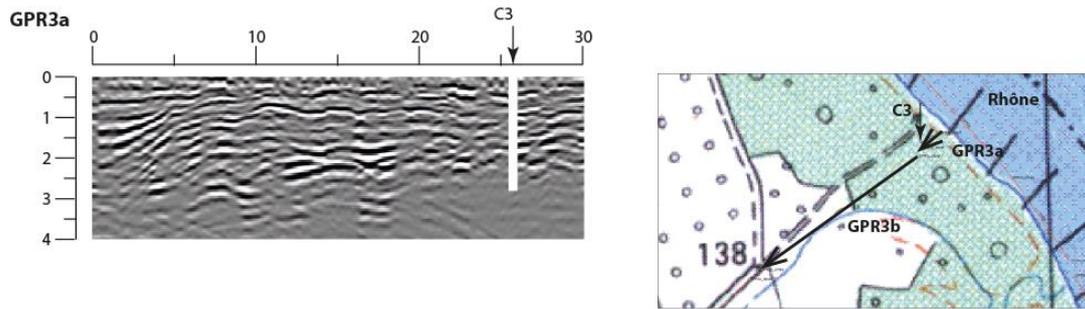


Figure 15 : positionnement et profondeur atteinte de la carotte C3 sur le profil GPR3a.

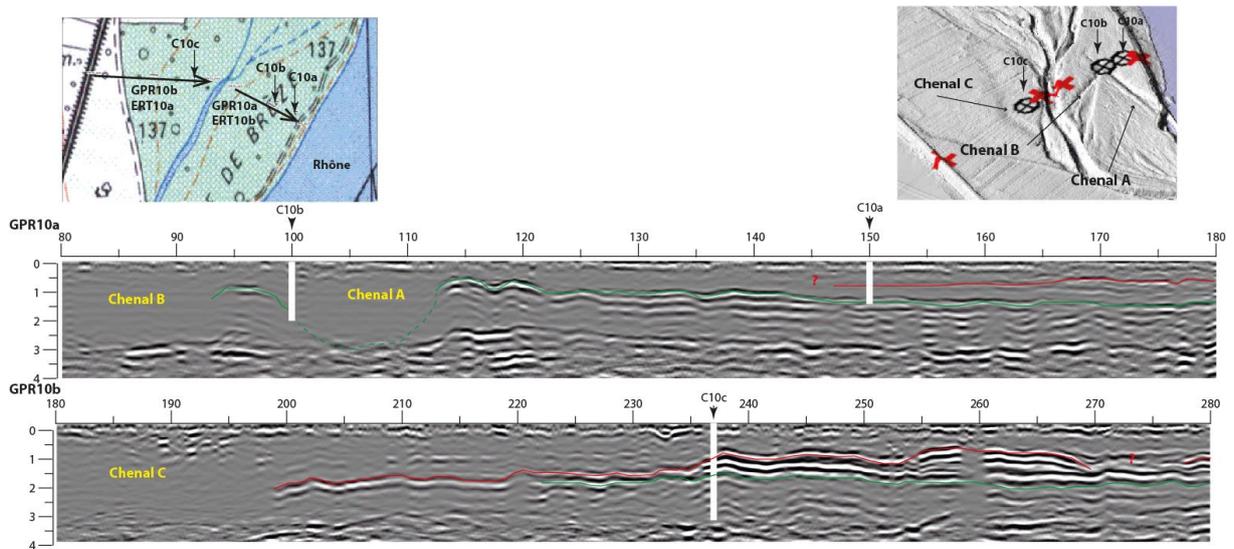


Figure 16 : positionnement et profondeur atteinte des carottes C10a, C10b et C10c sur les profils GPR10a et GPR10b

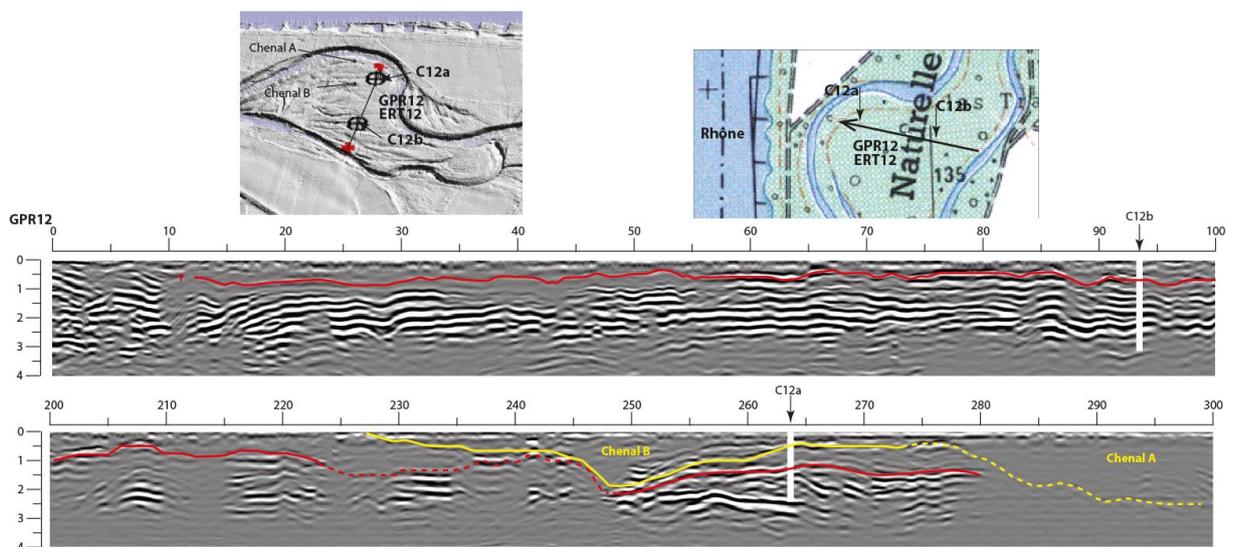


Figure 17 : positionnement et profondeur atteinte des carottes C12a, C12b sur le profil GPR12

Matériel et méthode

Les carottes de sédiments ont été réalisées à l'aide d'un carottier motorisé à percussion Cobra TT conçu pour minimiser le remaniement des sols prélevés. La gouge du carottier permet d'y introduire un tube en plastique translucide, afin d'effectuer carottage et mise en tube des sédiments en une seule étape. La transparence du tube permet d'effectuer un premier contrôle visuel des sédiments prélevés. Six carottes de deux à trois sections ont été prélevés jusqu'au refus.

Le Tableau 3 récapitule la longueur de chaque section et la longueur totale de chaque carotte. Lors du carottage, il existe un phénomène de compaction du matériel sédimentaire au sein du tube ; nous avons donc également indiqué la profondeur atteinte ainsi que le pourcentage de compaction correspondant.

Tableau 3 : Synthèse des longueurs de chaque section, de chaque carotte, de la profondeur atteinte et du taux de compaction

Carotte	Longueur totale	Profondeur totale	Taux de compaction	Section	Longueur (cm)	Profondeur
C3	254	280	9 %	A	94	115
				B	93	215
				C	67	280
C10a	109	137	20 %	A	87	110
				B	22	137
C10b	158	180	12 %	A	92	114
				B	66	180
C10c	284	315	9 %	A	89	105
				B	100	210
				C	95	315
C12a	185	215	14 %	A	88	104
				B	97	215
C12b	272	308	12 %	A	91	106
				B	96	221
				C	85	308

Réalisée dès l'ouverture des carottes, la description des archives sédimentaires permet d'identifier les différents lithofaciés en présence, de renseigner la répartition granulométrique (granoclassement positif ou négatif), de préciser les phénomènes physico-chimiques (oxydo-réduction) et la nature des dépôts (présence de matière organique, passées sableuses, etc.). Des photos ont été réalisées de manière systématique sur chaque archive. Ces deux étapes permettent également de conserver la mémoire des archives sédimentaires et de leur structure. Les informations de description sont compilées sous forme de log à l'aide du logiciel LogPlot 7

Du fait de leur solubilité limitée et de leur grande affinité pour les particules (argile, matière organique), les polluants métalliques et organiques sont retenus essentiellement sur les particules : une caractérisation granulométrique des échantillons est donc indispensable à toute étude de la pollution associée aux sédiments. Ces analyses permettent également de normaliser les données en vue d'une éventuelle comparaison intersites, de mettre en évidence l'impact des processus hydrosédimentaires et de caractériser les différents modes de dépôt (taille des particules, asymétrie de la courbe de répartition granulométrique, mode, moyenne, etc.). De plus, l'évolution de la granulométrie renseigne sur l'enregistrement par un site des événements hydrosédimentaires particuliers, tels que les crues ; ces événements, en raison de l'augmentation des débits, augmentent la taille des éléments déposés. Une augmentation de la taille des grains, et notamment les passées sableuses, indique ainsi un enregistrement d'un épisode de crue, alors qu'une diminution de la taille des grains signe une diminution des débits du fleuve.

La classification granulométrique des sédiments utilisée dans ce rapport est présentée dans la Figure 18.

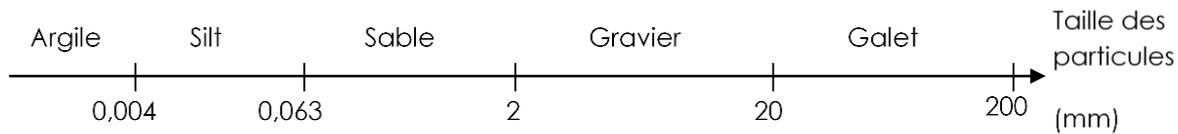


Figure 18 : échelle granulométrique AFNOR

Il est important de préciser qu'il s'agit bien ici de classes granulométriques et non pas minéralogiques.

Les analyses granulométriques ont été réalisées avec un pas d'échantillonnage de 2 cm, au sein du laboratoire LEHNA-IPE, à l'aide d'un granulomètre laser Mastersizer 2000 (Malvern Instrument) équipé d'un préparateur d'échantillon hydro 2000G. Les données sont traitées à l'aide du logiciel Gradistat (Blott & Pye, 2001), qui fournit des paramètres granulométriques tels que le grain moyen, le mode, la médiane, le classement ou l'asymétrie de l'échantillon. L'agitateur du préparateur d'échantillon est réglé à 850 tr.min⁻¹ et la pompe à 1775 tr.min⁻¹ pour toutes les mesures. Un cycle de nettoyage de l'appareil est réalisé entre chaque mesure. Les mesures sont alors effectuées en introduisant dans le préparateur d'échantillon une quantité d'échantillon permettant d'assurer une obscuration de la cellule de comptage comprise entre 10 et 20%.

Les mesures ont été réalisées pour chaque échantillon sans passage aux ultrasons, et avec un passage aux ultrasons à 90% de puissance pendant environ 3 minutes afin d'assurer la destruction la plus complète possible des agglomérats. Le préparateur s'est assuré de la stabilisation du signal avant de lancer la mesure.

Ne seront analysées dans ce rapport que les mesures avec ultrasons, car nous nous intéressons plus aux conditions de dépôt qu'aux conditions de remobilisation potentielle.

La mesure de la susceptibilité magnétique (SM) est un procédé d'investigation physico-chimique qui a le mérite de pouvoir caractériser un échantillon de manière non destructive. La mesure de susceptibilité magnétique a déjà été employée pour évaluer des impacts anthropiques anciens par examen des sédiments fluviaux (Vannière et al., 2000), cette mesure a également été mise en œuvre lors de l'étude de l'activité hydrologique du Rhône et de l'impact de ses crues sur le lac du Bourget (Arnaud F., 2003). Les mesures ont été effectuées à l'aide d'un capteur Bartington MS2E1, sur les surfaces aplanies de demies-carottes cylindriques de sédiments et ce, avec un pas de 1 cm. Les résultats sont fournis dans le système d'unités CGS2 avec une précision de 10⁻⁶ UCGS. Ce choix d'unité a été fait par commodité, car l'échantillon de calibration est étiqueté en UCGS. Tous les matériaux, qu'ils soient naturels ou artificiels, ont un comportement magnétique. Ils sont classés en 3 grandes familles suivant leur comportement :

- Diamagnétique : SM négative
- Paramagnétique : SM faiblement positive
- Ferromagnétique : SM fortement positive

Le sol est un milieu inhomogène, voire fortement inhomogène, par sa granulométrie, sa composition chimique, son état hydrique, etc. Ainsi, par exemple, un sol riche en matériaux ferreux présentera une susceptibilité plus importante qu'un sol pauvre en fer. C'est cette même complexité du sol qui fait que la connaissance de la susceptibilité en un point donné de celui-ci ne présente pas un grand intérêt, car on ne sait pas, a priori, quels sont les paramètres du sol qui sont à l'origine de cette valeur. En revanche, l'étude des fluctuations de la susceptibilité en fonction de la profondeur du sol permettra de suivre les variations verticales de sa nature.

Résultats

Site 3. La carotte **C3** (annexe 3) présente une alternance de couches de sable, dont la présence est attribuable à l'action des crues, et de couches de particules plus fines (silt et argile). L'observation de l'évolution du D50 en fonction de la profondeur confirme les observations sédimentologiques réalisées lors de la description. Nous n'observons pas un changement granulométrique drastique qui signerait l'action d'un aménagement (de type barrage) sur la granulométrie des dépôts.

Site 10. La carotte **C10a**, la plus proche du Rhône, est la plus susceptible d'avoir enregistré les actions des crues actuelles. De la surface à 95 cm de profondeur (annexe 3), le D50 est relativement constant, et de faible valeur (moyenne de 24,12 μm) : les crues éventuelles n'atteignent que faiblement cette position sur la berge. Nous attribuons cet état de fait à l'action du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf (mise en service fin 1977). De 95 cm à 137 cm de profondeur, le D50 a une valeur en moyenne de 204,18 μm , soit une très forte augmentation par rapport à la section supérieure, ce qui signe une action hydrosédimentaire d'une modalité différente (soit avant la mise en service du barrage). Cette archive présente donc un enregistrement sur deux périodes hydrosédimentaires distinctes :

- de la surface à 95 cm de profondeur : fonctionnement postérieur à la mise en service du barrage de Saint-Pierre-de-Bœuf fin 1977 ;
- de 95 cm à 137 cm de profondeur : fonctionnement antérieur à la mise en service du barrage, et donc postérieur à la mise en place des casiers Girardon.

La carotte **C10b**, en position plus médiane que la carotte C10a par rapport au fleuve Rhône, présente une granulométrie fine (moyenne du D50 sur l'ensemble de l'archive de 51,84 μm), avec un pic de crue à 170 cm de profondeur (annexe 3). De 78 cm à 170 cm de profondeur, nous observons de faibles variations du D50, interprétables comme des crues atténuées par l'action des casiers Girardon (mise en place au début du XX^{ème} siècle). De la surface à 80 cm de profondeur, le D50 ne présente pas de variations significatives, avec de faibles valeurs (moyenne de 20,1 μm), état de fait que nous imputons, de la même façon que pour la carotte C10a, à la mise en service du barrage fin 1977. Ce prélèvement a donc enregistré trois modes de fonctionnement hydrosédimentaires différents :

- de la surface à 78 cm de profondeur : fonctionnement actuel, après la mise en service du barrage ;
- de 78 cm à 170 cm de profondeur : fonctionnement après la mise en place des casiers Girardon, et avant la mise en service du barrage ;
- de 170 cm à 137 cm de profondeur : fonctionnement avant la mise en place des casiers Girardon.

À la différence des carottes C10a et C10b, des augmentations du D50 sont très marquées sur la carotte **C10c** entre 173 cm et 315 cm de profondeur (annexe 3), ce qui signe un fonctionnement hydrosédimentaire non contraint par des aménagements (donc antérieur à la mise en place des casiers Girardon). De la surface à 173 cm de profondeur, l'évolution du D50 ne présente plus ces fluctuations importantes, et sa valeur est faible (62,69 μm en moyenne). Nous imputons ce changement de fonctionnement hydrosédimentaire à la mise en place des casiers Girardon au début du XX^{ème} siècle. La comparaison des positions sur la berge entre cette carotte et la carotte C10b confirme notre hypothèse : la carotte C10b continue à enregistrer un dépôt sédimentaire après la mise en place des casiers et après la mise en service du barrage, tandis que la carotte C10c, plus éloignée du fleuve (à 300 m du lit mineur du Rhône actuel), ne présente aucun enregistrement postérieur à la mise en service du barrage (soit fin 1977). Deux périodes d'enregistrement peuvent donc être identifiées :

- de la surface à 173 cm de profondeur : fonctionnement postérieur à la mise en place des casiers Girardon ;
- de 173 cm à 315 cm de profondeur : fonctionnement antérieur à tout aménagement.

Site 12. La carotte **C12a**, la plus proche du Rhône, présente un fonctionnement similaire à la carotte C10a, soit de faibles variations du D50 (annexe 3) de la surface à 90 cm de profondeur, avec une valeur en moyenne relativement faible (70,28 μm). Les quelques pics d'augmentation de la valeur du D50 peuvent être attribués à des débordements des lônes proches du site. Ces faibles variations sont imputables à l'action du barrage. De 90 cm à 215 cm de profondeur, nous observons des variations plus

importantes du D50, avec une augmentation conséquente de la valeur moyenne (272,4 μm). Nous imputons ce changement important de régime hydrosédimentaire à la mise en place des casiers Girardon. Cette archive présente donc un enregistrement de deux périodes différentes :

- de la surface à 90 cm de profondeur : fonctionnement actuel, après la mise en service du barrage ;
- de 90 cm à 215 cm de profondeur : fonctionnement après la mise en place des casiers Girardon, et avant la mise en service du barrage.

Concernant la carotte **C12b** De la surface à 55 cm de profondeur, le D50 ne présente pas de variations notables, et a une faible valeur (moyenne de 47,41 μm), et signe une période temporelle postérieure à la mise en service du barrage. De 55 cm à 308 cm de profondeur, le D50 présente des variations plus importantes, ainsi qu'une augmentation de sa valeur moyenne (147,34 μm). Ce changement de régime hydrosédimentaire peut être imputable à la mise en place des casiers Girardon. Cette archive a donc enregistré deux périodes de fonctionnement hydrosédimentaire distinctes :

- de la surface à 55 cm de profondeur : fonctionnement après la mise en service du barrage ;
- de 55 cm à 308 cm de profondeur : fonctionnement après la mise en place des casiers Girardon.

Ces premières conclusions permettent de positionner de premiers repères chronologiques, sous forme pour l'instant d'hypothèses : l'action sur la granulométrie de (i) la mise en service du barrage de Saint-Pierre-de-Boëuf fin 1977 et (ii) la mise en place des casiers Girardon au début du XX^{ème} siècle. Une archive sédimentaire peut donc présenter un, deux, ou trois enregistrement(s) différent(s), interprétables en fonction de l'évolution du D50 et de la position par rapport au fleuve Rhône.

La Figure 19 présente une synthèse de ces hypothèses pour l'ensemble des six prélèvements. Les archives sont présentées d'amont en aval sur le RCC de Péage-de-Roussillon, suivant la même logique que dans le présent rapport.

Les données de susceptibilité magnétique ne sont pas présentées dans le détail dans le présent rapport. Elles seront mises en regard des données chimiques, et présentées dans le rapport correspondant (livrable 3). Cependant, elles ne présentent pas d'éléments d'infirmité de nos hypothèses actuelles sur les différentes temporalités des dépôts et les influences des aménagements (mise en place des casiers Girardon au début du XX^{ème} siècle et la mise en service du barrage de Saint-Pierre fin 1977).

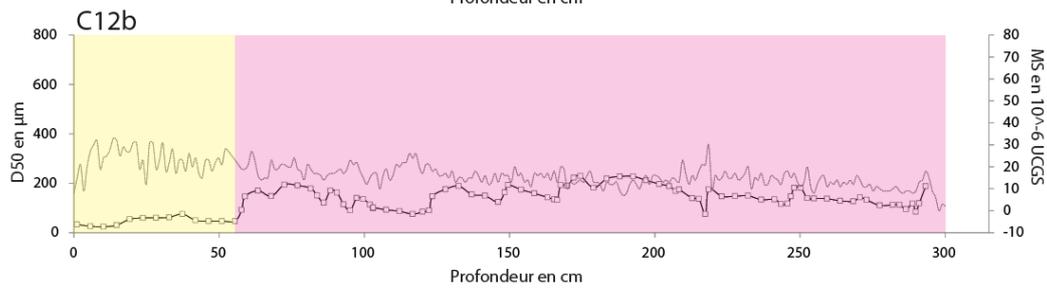
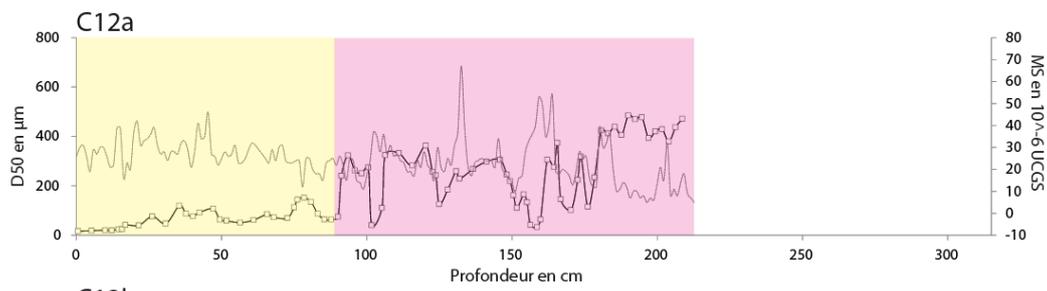
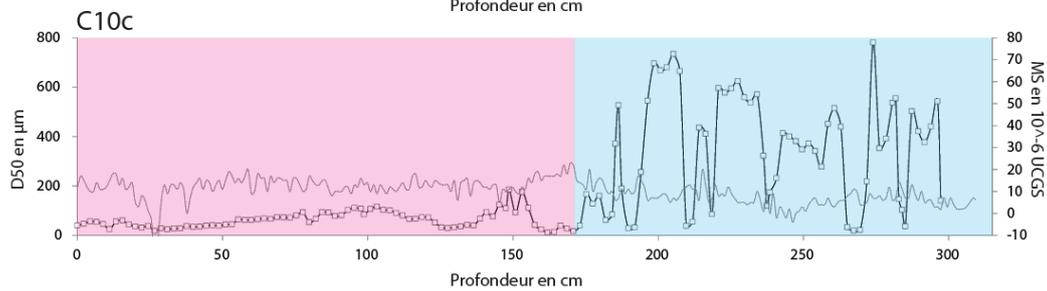
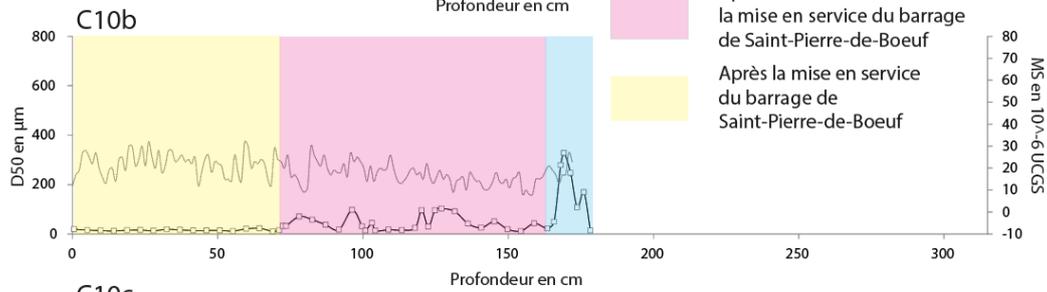
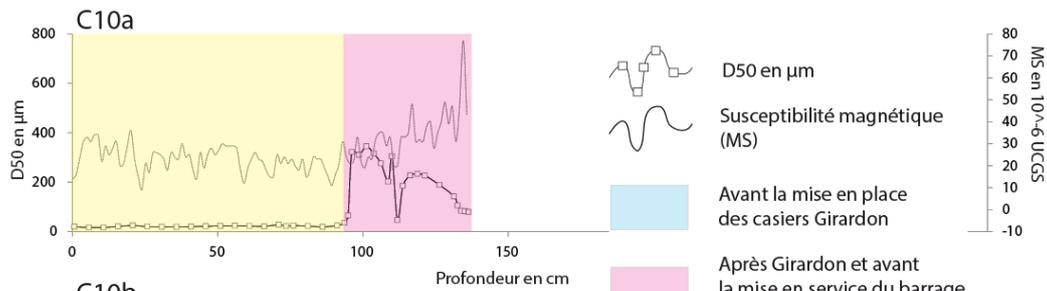
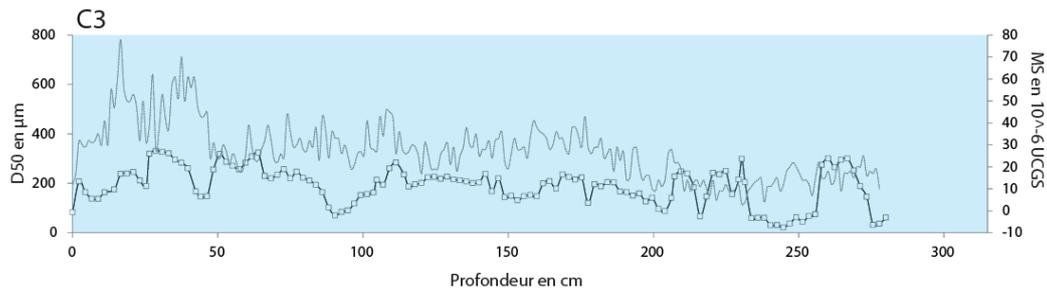


Figure 19 : hypothèses sur la temporalité des dépôts et l'influence des aménagements (sur la base des analyses granulométriques et de susceptibilité magnétique)

V. Conclusion

Au cours de la présente étude, six carottes ont été prélevées sur le Rhône court-circuité de Péage-de-Roussillon (RCC1). Leur emplacement a été déterminé par l'étude et l'interprétation des radargrammes précédemment acquis au cours d'une campagne géophysique (livrable 1), permettant ainsi d'investiguer différents remplissages (ancien chenal, dépôts drapés), plus ou moins proches du fleuve Rhône. La longueur des carottes est comprise entre 109 cm et 284 cm, et les profondeurs atteintes entre 137 et 315 cm.

Des analyses granulométriques ont été réalisées suivant un pas d'échantillonnage très fin (tous les 2 cm), avec et sans ultrasons, ainsi que des mesures de susceptibilité magnétique (tous les cm), sur la totalité des six carottages courts. Les mesures ont été reportées sur les carottes en fonction de la profondeur atteinte, à l'aide de la correction du taux de compaction.

L'analyse et l'interprétation de ces données, notamment l'enregistrement des crues identifiées grâce aux augmentations consécutives de la taille des grains, permettent de formuler des hypothèses quant à (i) la temporalité des dépôts et (ii) l'action des aménagements de type casiers Girardon et mise en service du barrage de saint-Pierre-de-Bœuf. Ces hypothèses prennent également en compte la position des carottes par rapport au lit actuel du fleuve.

Ces hypothèses permettent de proposer un plan d'échantillonnage ciblé pour les analyses en radionucléides. Des analyses chimiques au Core Scanner sont également en cours, de manière systématique, et l'interprétation de ces données nous permettra de disposer d'éléments de confirmation ou d'infirmer de nos interprétations. Ces conclusions seront présentées dans le livrable 3 de l'OSR4 2015-2017.

Ces premiers résultats montrent déjà une esquisse de chronologie de mise en place des aménagements et leurs effets sur la taille des grains durant les crues. Cette chronologie doit être confirmée par des datations au Césium 137 et par les mesures des concentrations en éléments chimiques (métaux, PCB) ainsi que les données issues du core scanner.

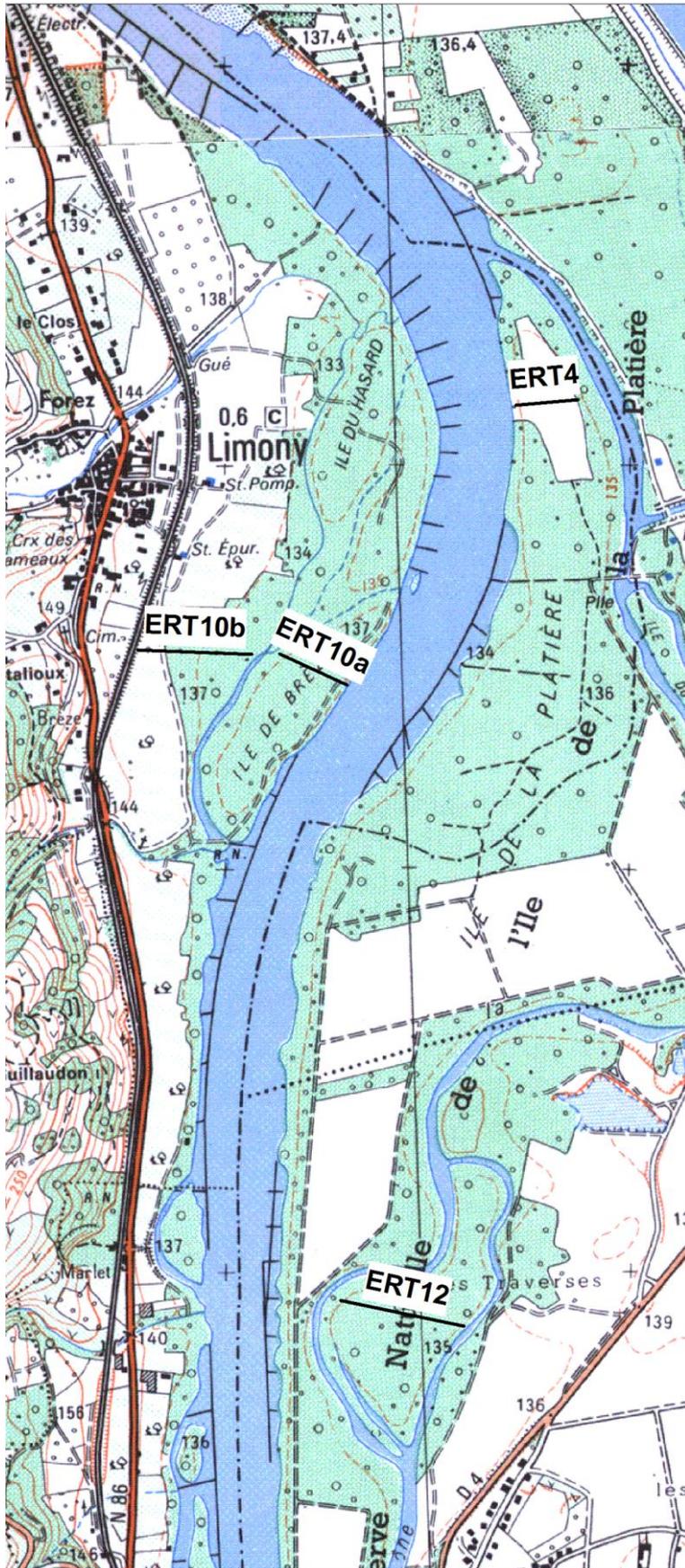
L'ensemble des données (description, granulométrie, susceptibilité magnétique) correspondant aux carottes se trouve en annexe 3

Annexe 1 : Profils Tomographie de Résistivité Electrique (ERT)

Les distances et les profondeurs sont en m

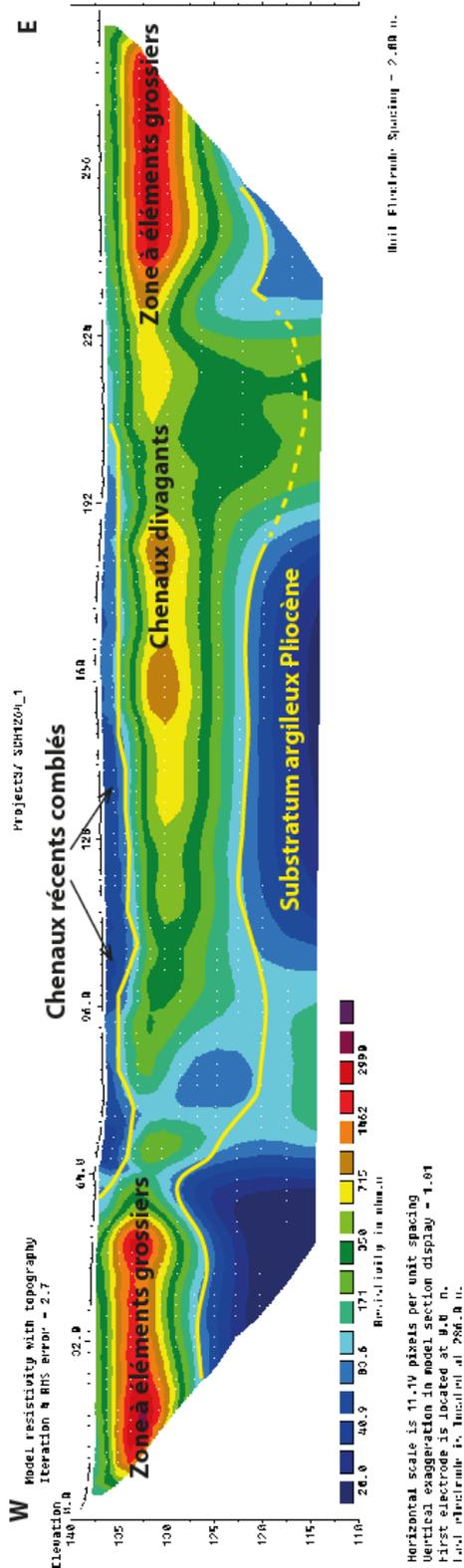
Codes et coordonnées en Lambert 93 des 4 (+ 2) profils ERT du RCC1

Site	Code terrain	Code RCC1	X	Y	Longueur (m)
4	ERT 04 début	ERT4 début	838771,499	6474289,56	158
	ERT 04 fin	ERT4 fin	838619,289	6474277,03	
12	ERT 03 début	ERT12 début	838166,481	6472063,21	318
	ERT 03 fin	ERT12 fin	838471,99	6471995,62	
10	ERT 02 début	ERT10a début	838031,044	6473665,57	190
	ERT 02 fin	ERT10a fin	838197,569	6473588,53	
	ERT 01 début	ERT10b début	837681,16	6473679,1	286
	ERT 01 fin	ERT10b fin	837962,28	6473665,15	

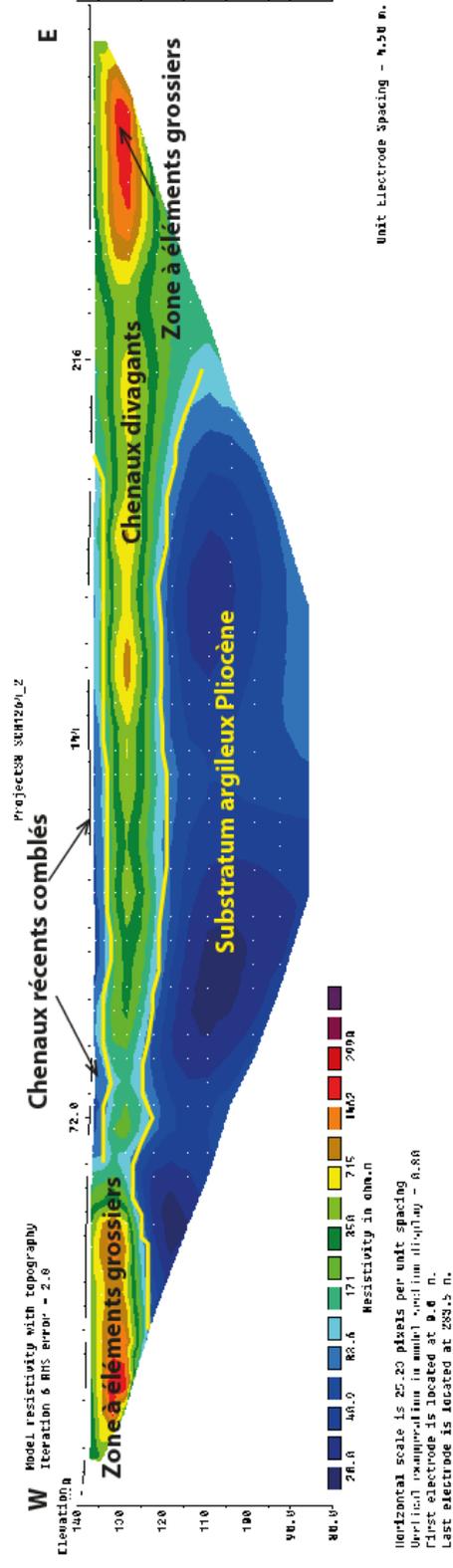


Position des profils ERT du RCC1

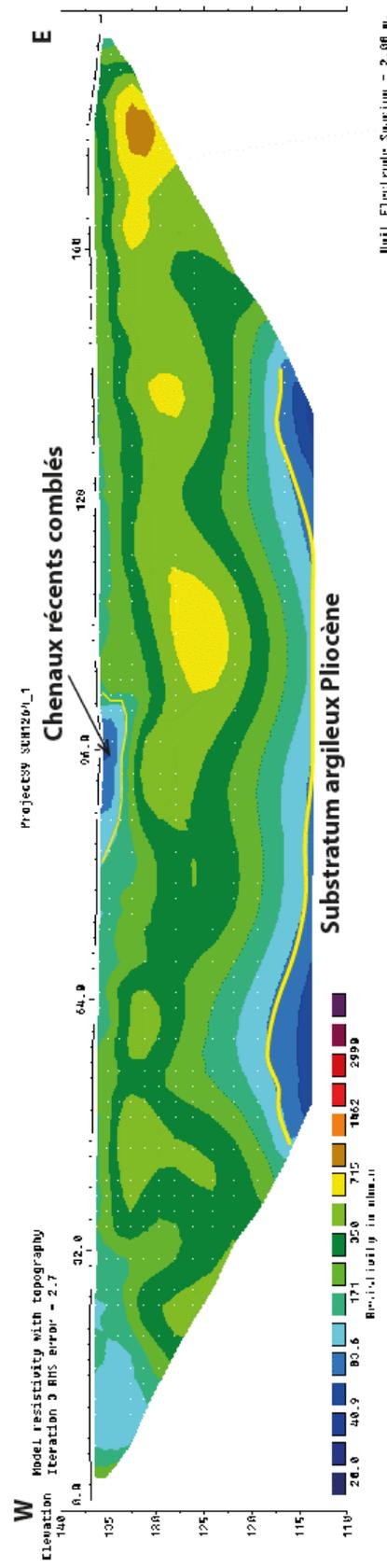
ERT10b Espacement 2 m (profondeur d'investigation : 25 m)



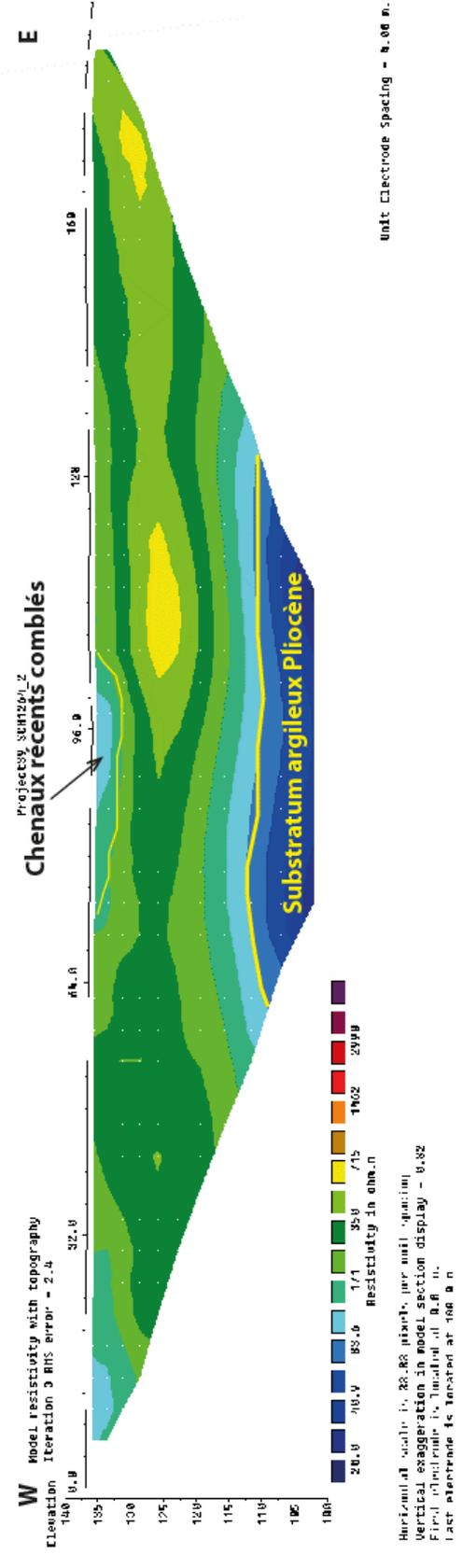
ERT10b Espacement 4,5 m (profondeur d'investigation : 50 m)



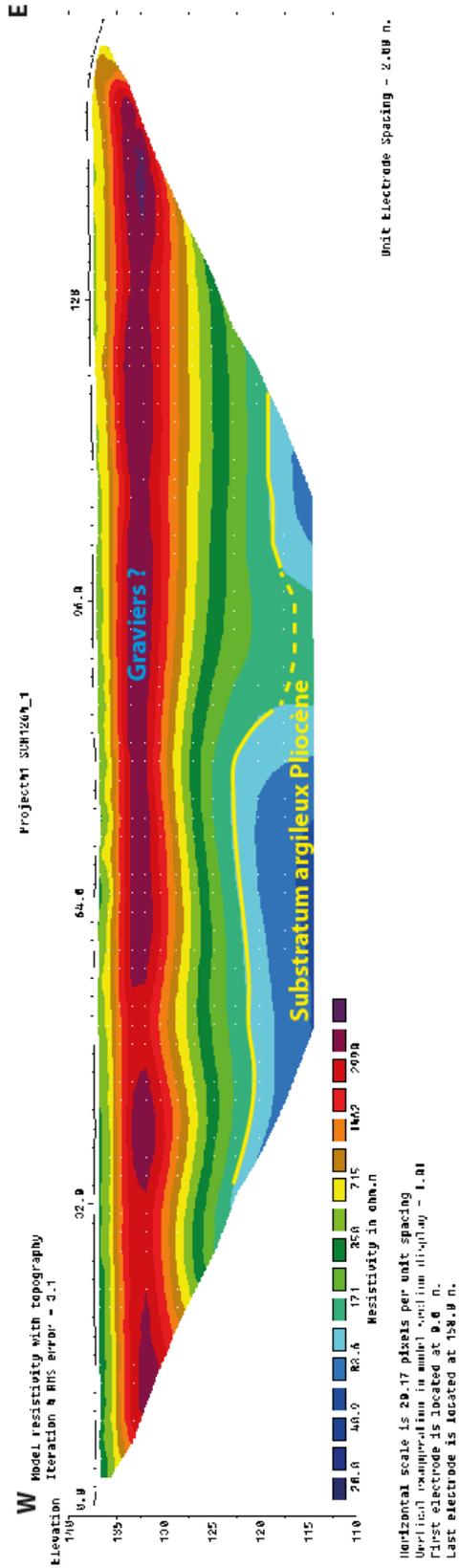
ERT10a Espacement 2 m (profondeur d'investigation : 25 m)



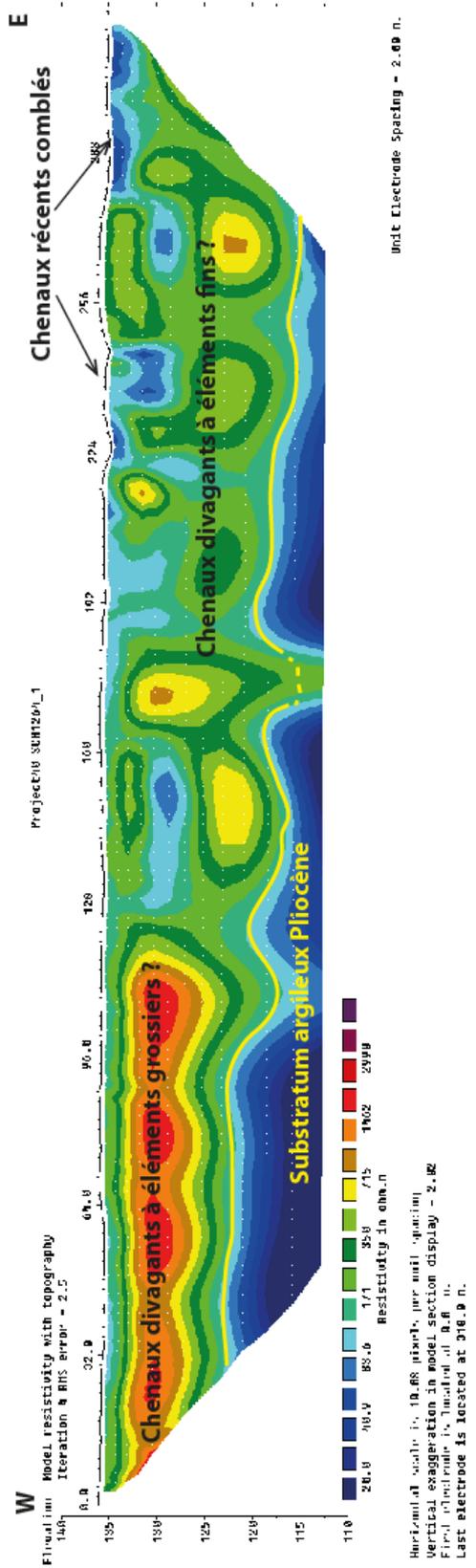
ERT10a Espacement 4 m (profondeur d'investigation : 35 m)



ERT4 Espacement 2 m (profondeur d'investigation : 25 m)



ERT12 Espacement 2 m (profondeur d'investigation : 25 m)



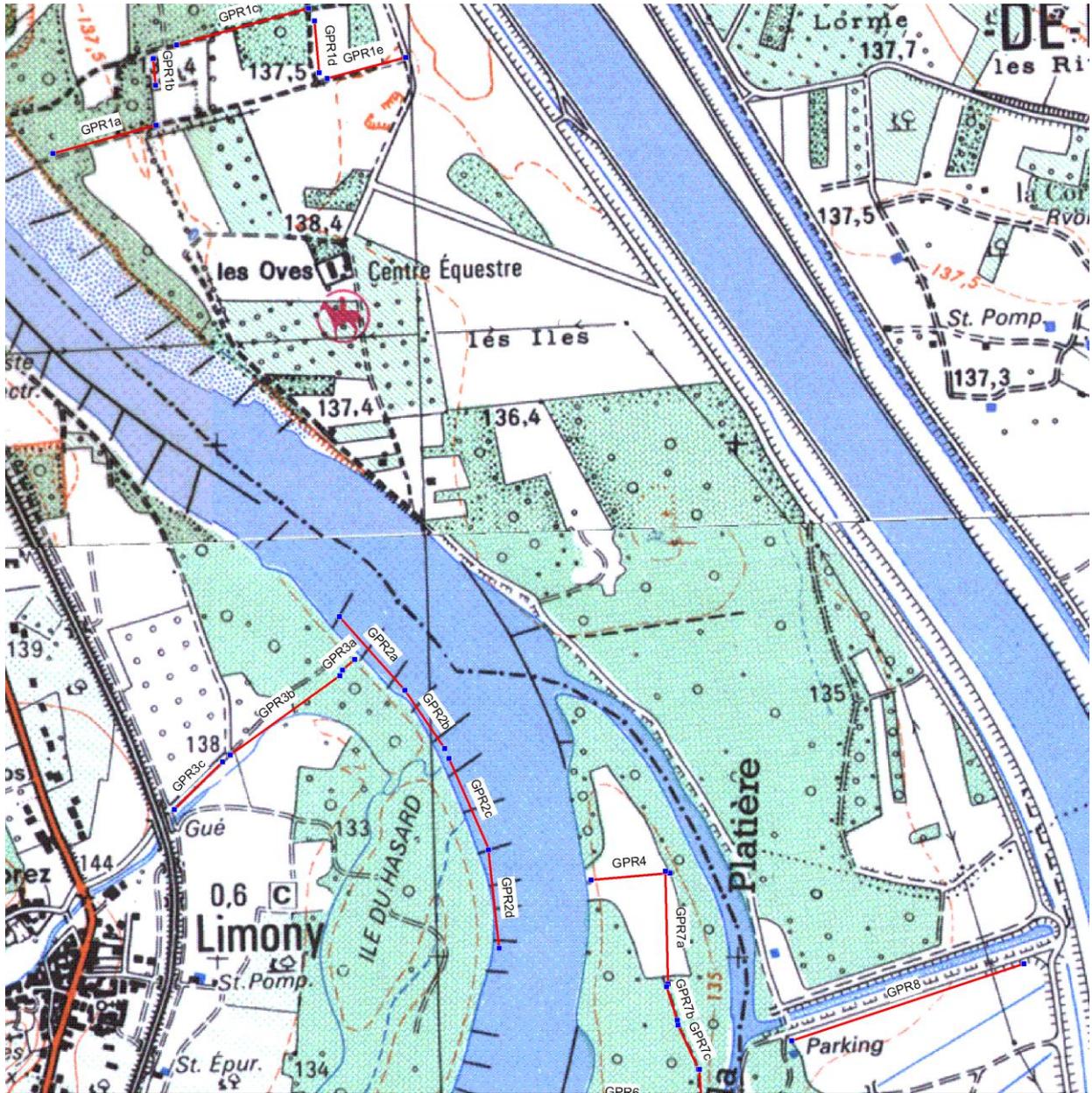
Annexe 2 : Profils Radar Géologique (GPR) Antenne 200MHz

Les distances et les profondeurs sont en m

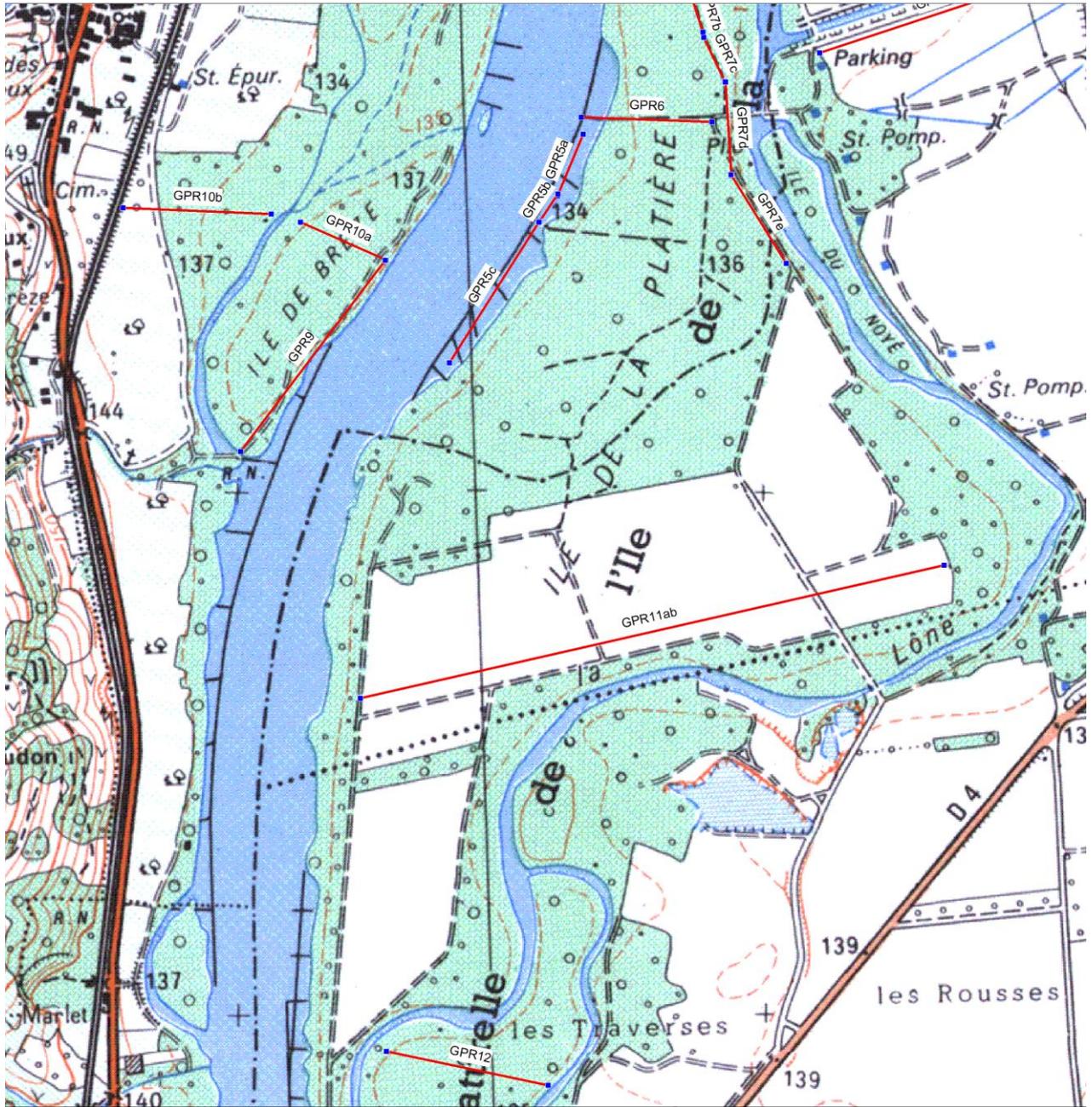
Codes et coordonnées en Lambert 93 des 28 profils GPR du RCC1

Site	Code terrain	Code RCC1	X	Y	Longueur (m)
1	PLA_010 arrivée	GPR1e_arrivée	838275,55	6475869,93	150
	PLA_010 départ	GPR1e_départ	838125,33	6475831,24	
	PLA_009 arrivée	GPR1d_arrivée	838109,69	6475842,6	100
	PLA_009 départ	GPR1d_départ	838101,85	6475942,71	
	PLA_008 arrivée	GPR1c_arrivée	838090,24	6475967,32	250
	PLA_008 départ	GPR1c_départ	837836,85	6475898,35	
	PLA_007 arrivée	GPR1b_arrivée	837790,83	6475872,03	50
	PLA_007 départ	GPR1b_départ	837794,69	6475819,45	
	PLA_006 arrivée	GPR1a_arrivée	837795,45	6475743,11	200
	PLA_006 départ	Gpr1a_départ	837596,43	6475689,93	
2	PDR_005 départ	GPR2a_départ	838139,76	6474790,61	200
	PDR_005 arrivée	GPR2a_arrivée	838264,6	6474646,99	
	PDR_006 départ	GPR2b_départ	838264,6	6474646,99	140
	PDR_006 arrivée	GPR2b_arrivée	838340,99	6474533,73	
	PDR_007 départ	GPR2c_départ	838348,31	6474514,23	200
	PDR_007 arrivée	GPR2c_arrivée	838423,22	6474337,96	
	PDR_008 départ	GPR2d_départ	838423,22	6474337,96	200
	PDR_008 arrivée	GPR2d_arrivée	838441,26	6474147,85	
3	PDR_001 (T3) départ	GPR3a_départ	838168,49	6474707,39	30
	PDR_001 (T3) arrivée	GPR3a_arrivée	838144,58	6474687,41	
	PDR_002 (T2) départ	GPR3b_départ	838139,18	6474676,52	270
	PDR_002 (T2) arrivée	GPR3b_arrivée	837928,13	6474525,17	
	PDR_003 (T1) départ	GPR3c_départ	837912,77	6474511,61	130
	PDR_003 (T1) arrivée	GPR3c_arrivée	837819,17	6474420,66	
4	PDR_006 départ	GPR4_départ	838771,499	6474289,56	140
	PDR_006 arrivée	GPR4_arrivée	838619,289	6474277,03	
5	PDR_008 départ	GPR5a_départ	838553,492	6473812,56	130
	PDR_008 arrivée	GPR5a_arrivée	838504,434	6473694,82	
	PDR_009 départ	GPR5b_départ	838505,143	6473698,17	70
	PDR_009 arrivée	GPR5b_arrivée	838470,274	6473646,29	
	PDR_010 départ	GPR5c_départ	838468,733	6473645,14	340
	PDR_010 arrivée	GPR5c_arrivé	838296,901	6473378,03	
6	PDR_007 départ	GPR6_départ	838796,618	6473833,56	250
	PDR_007 arrivée	GPR6_arrivée	838551,205	6473844,72	
7	PDR_001 départ	GPR7e_départ	838833,359	6473732,19	200
	PDR_001 arrivée	GPR7e_arrivée	838935,871	6473562,31	
	PDR_002 départ	GPR7d_départ	838823,889	6473909,71	200
	PDR_002 arrivée	GPR7d_arrivée	838833,384	6473731,08	

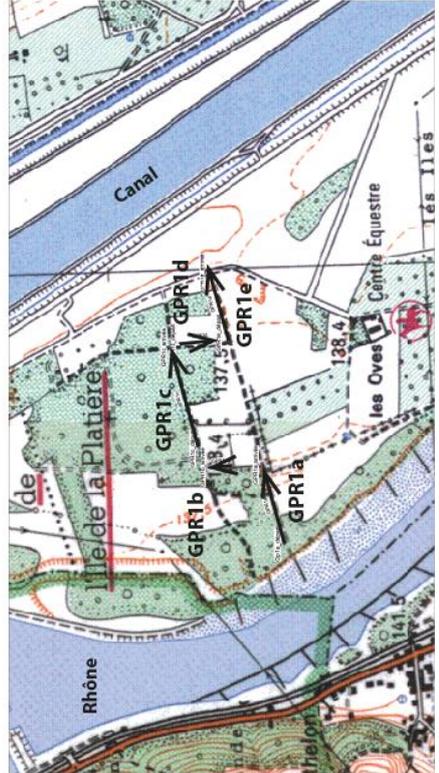
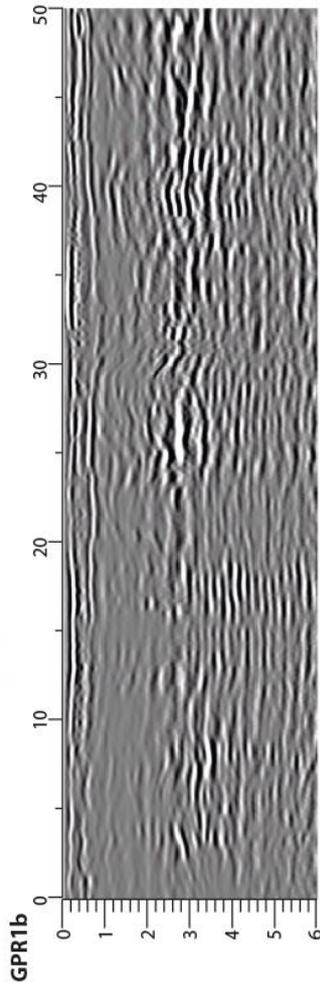
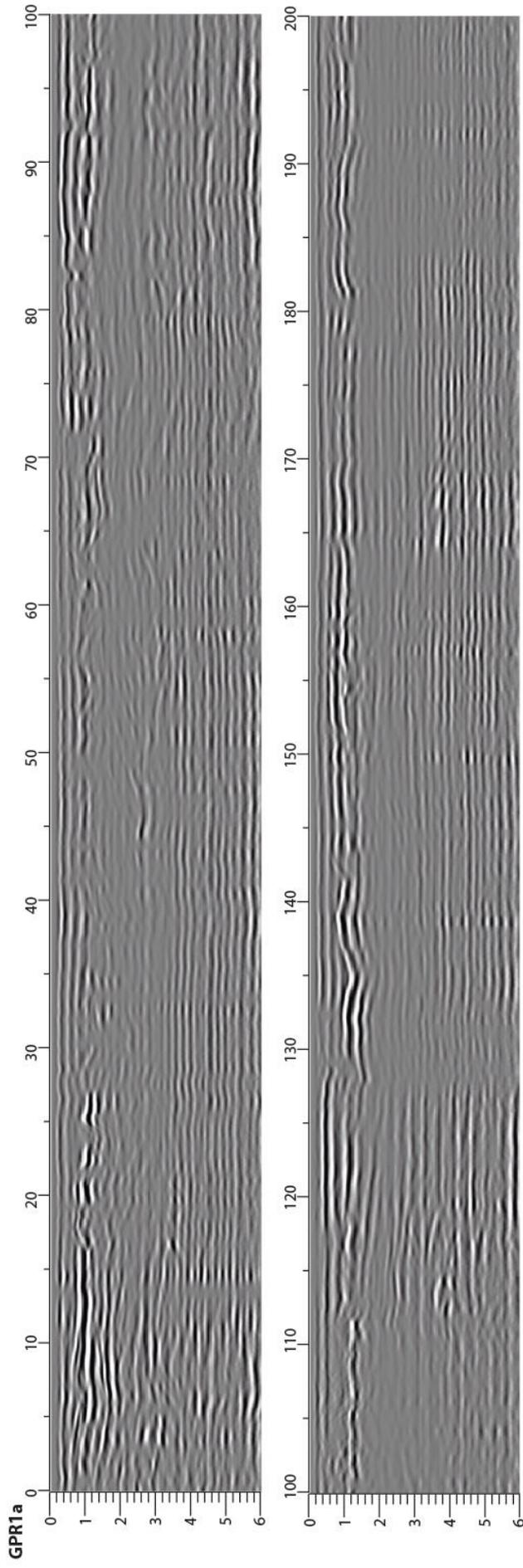
7	PDR_003 départ	GPR7c_départ	838783,585	6473995,45	100
	PDR_003 arrivée	GPR7c_arrivée	838822,299	6473910,79	
	PDR_004 départ	GPR7b_départ	838762,318	6474070,51	70
	PDR_004 arrivée	GPR7b_arrivée	838782,577	6474005,43	
	PDR_005 départ	GPR7a_départ	838762,006	6474293,79	200
	PDR_005 arrivée	GPR7a_arrivée	838765,35	6474075,03	
8	PLA_002 départ	GPR8_départ	839001,37	6473963,63	480
	PLA_002 arrivée	GPR8_arrivée	839449,85	6474108,61	
9	PDR_006 et 007 départ	GPR9_départ	838177,05	6473574,52	480
	PDR_006 et 007 arrivée	GPR9_arrivée	837899,9	6473211,6	
10	PDR_004 départ	GPR10b_départ	837681,16	6473679,1	280
	PDR_004 arrivée	GPR10b_arrivée	837962,28	6473665,15	
	PDR_005 départ	GPR10a_départ	838016,84	6473649,15	180
	PDR_005 arrivée	GPR10a_arrivée	838178,21	6473575,1	
11	CREPIEU_002_003_004 départ	GPR11_départ	839229,93	6472981,03	1140
	CREPIEU_002_003_004 arrivée	GPR11_arrivée	838121,7	6472736,93	
12	PDR_001 départ	GPR12_arrivée	838166,48	6472063,21	300
	PDR_001 arrivée	GPR12_départ	838471,99	6471995,62	

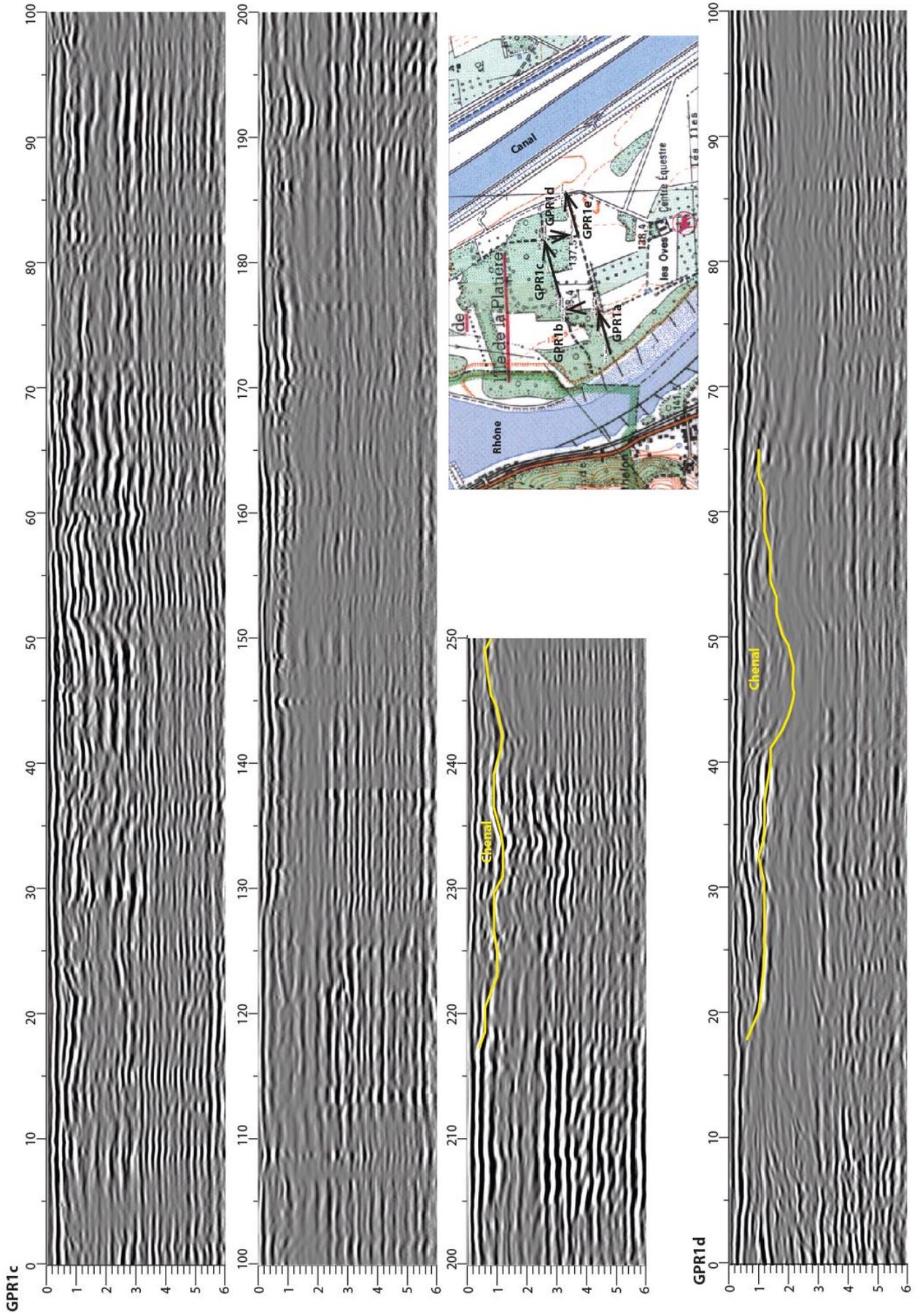


Position des profils GPR au Nord du RCC1

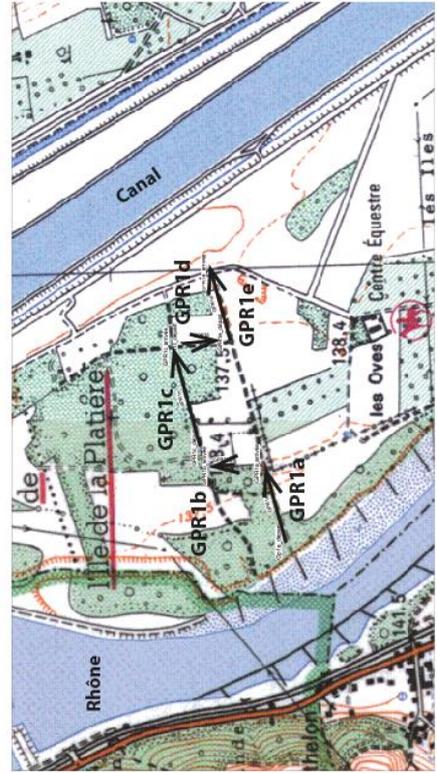
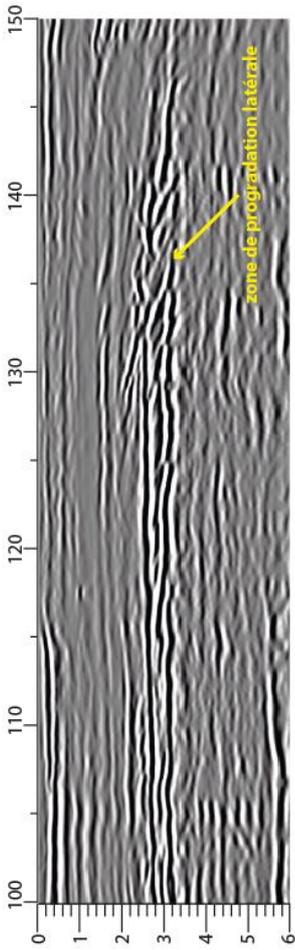
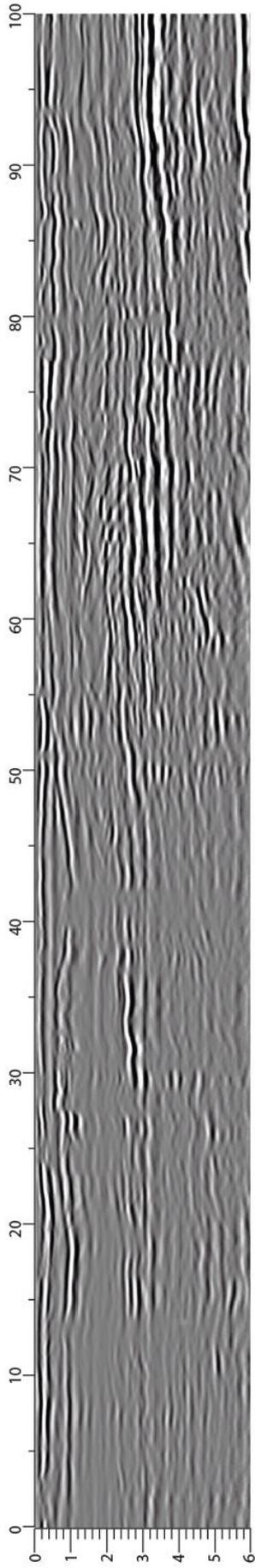


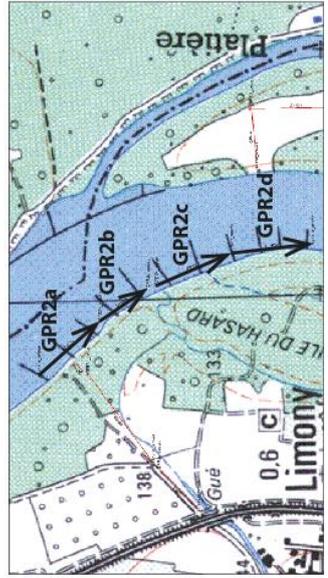
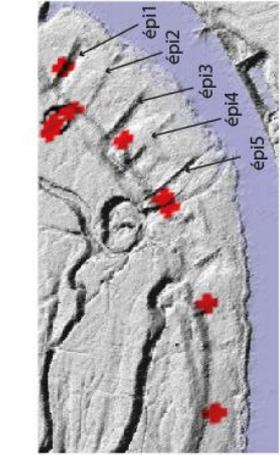
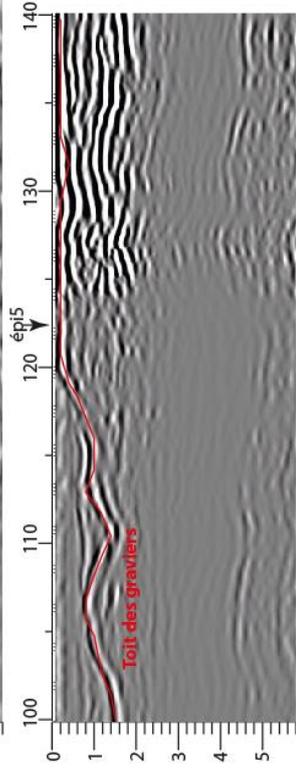
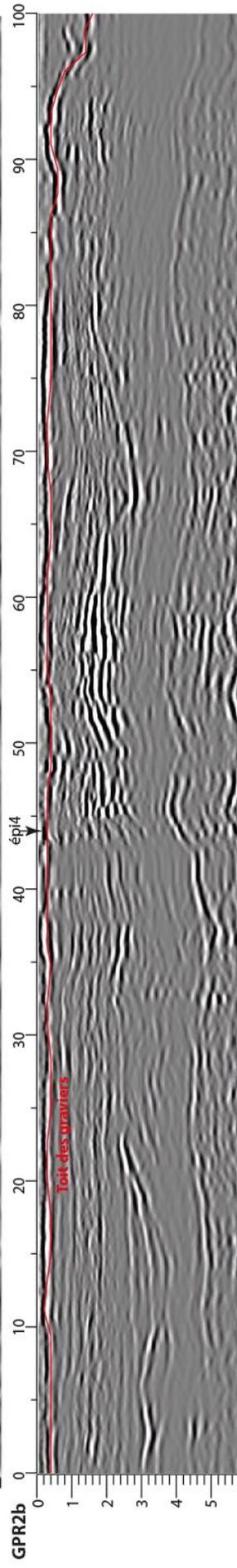
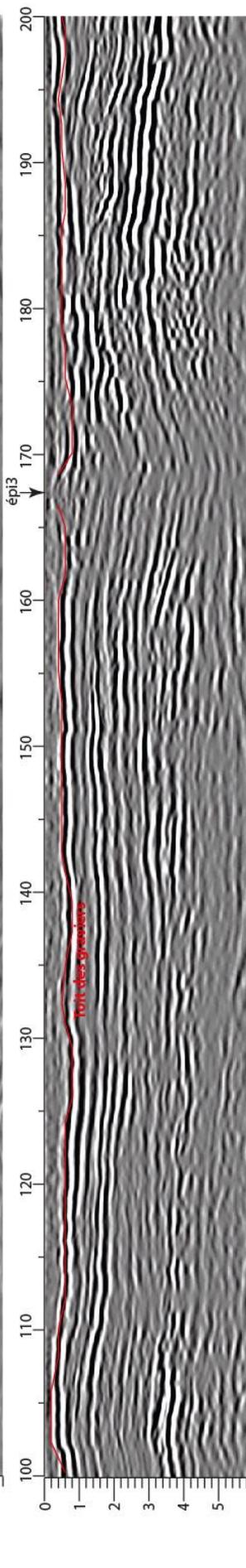
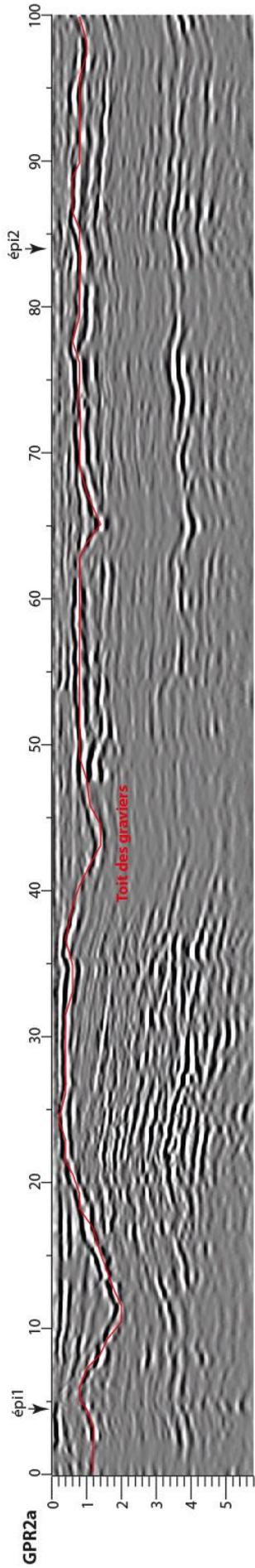
Position des profils GPR au Sud du RCC1

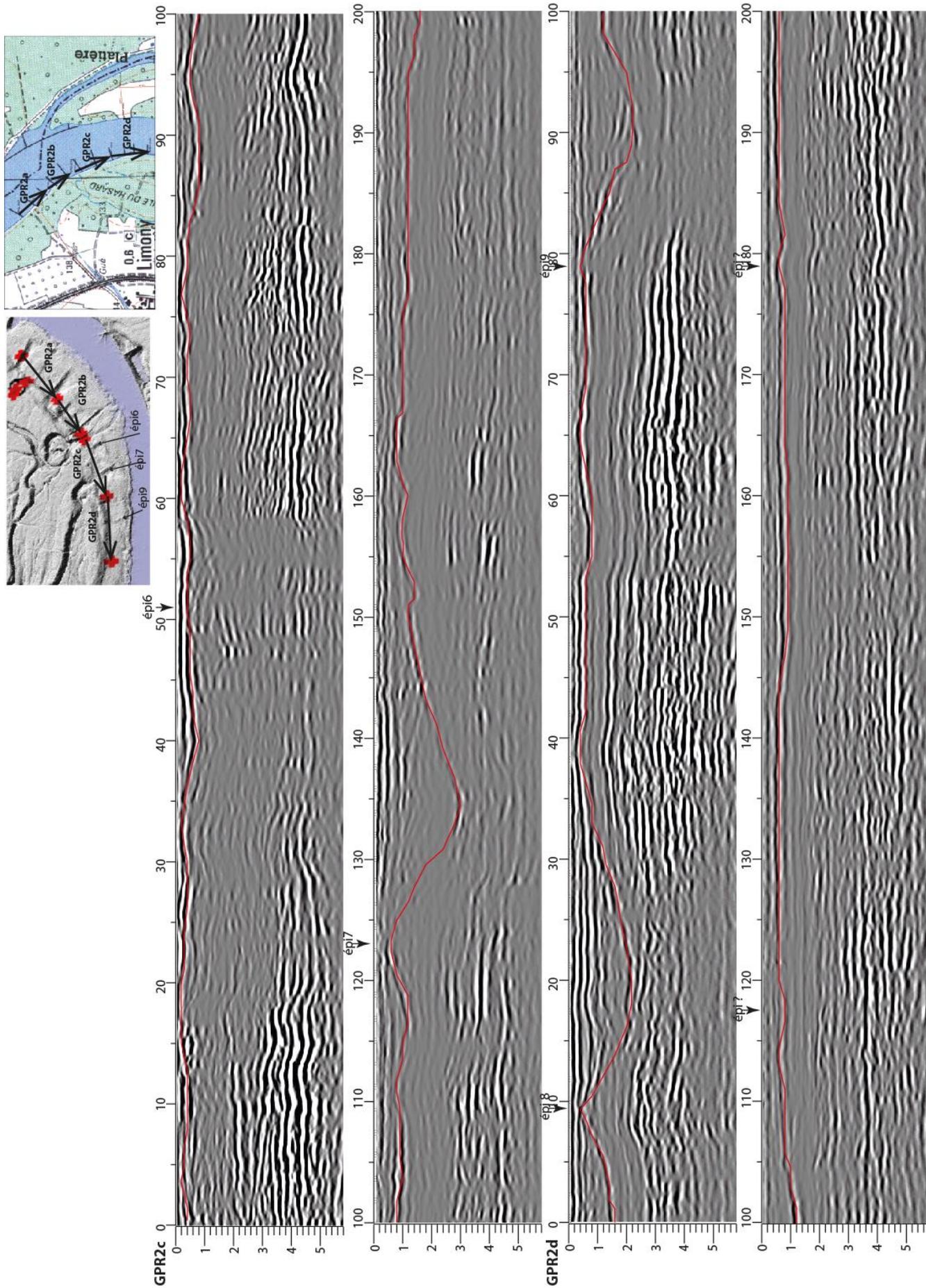


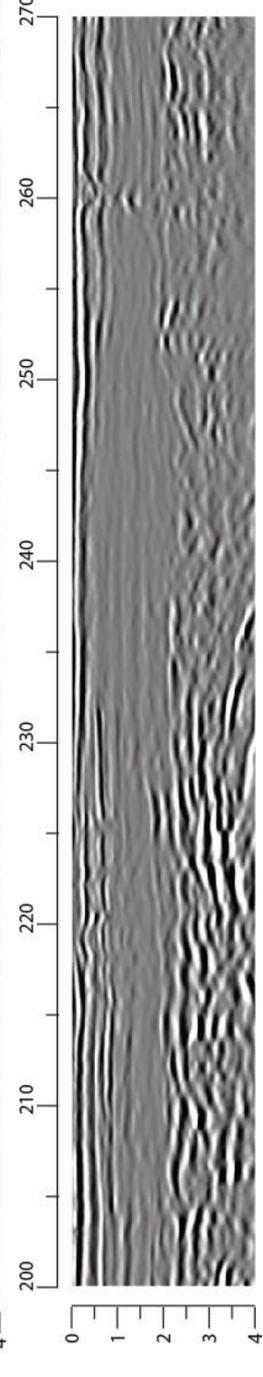
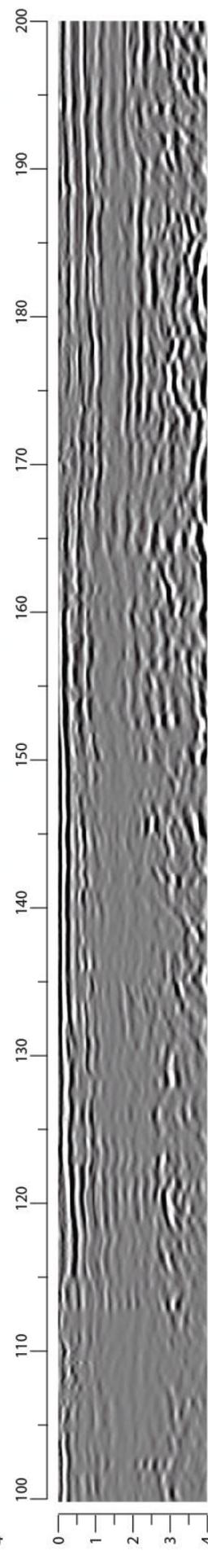
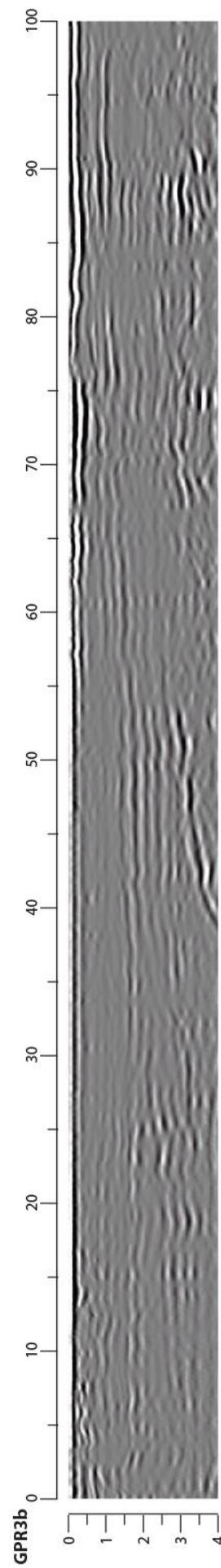
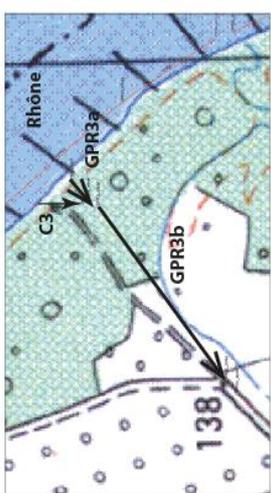
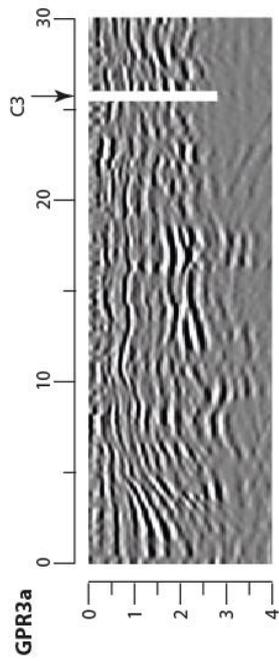


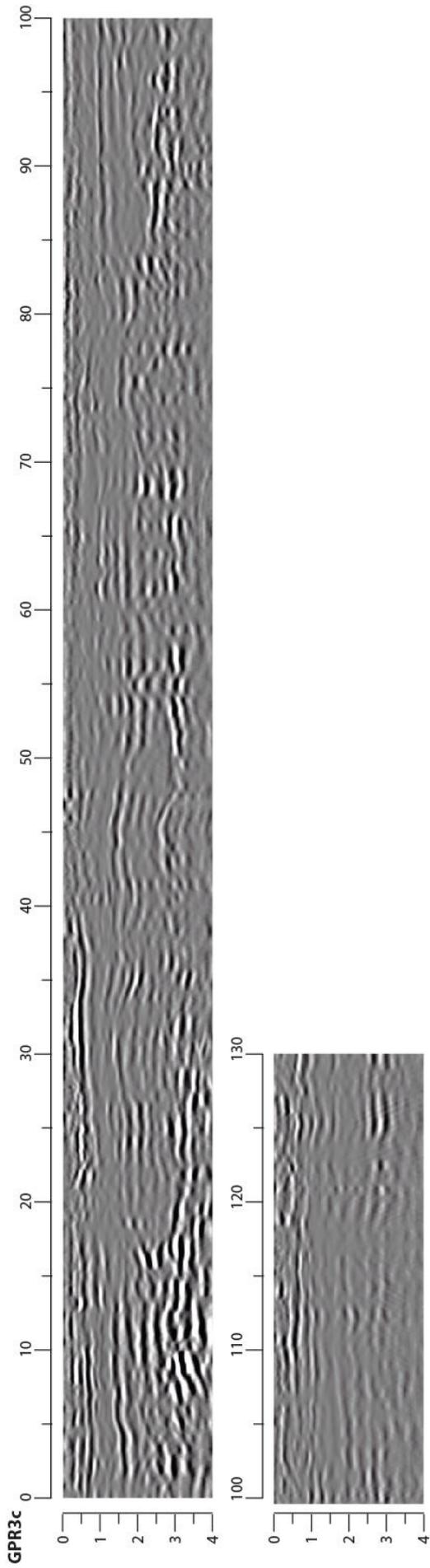
GPR1e

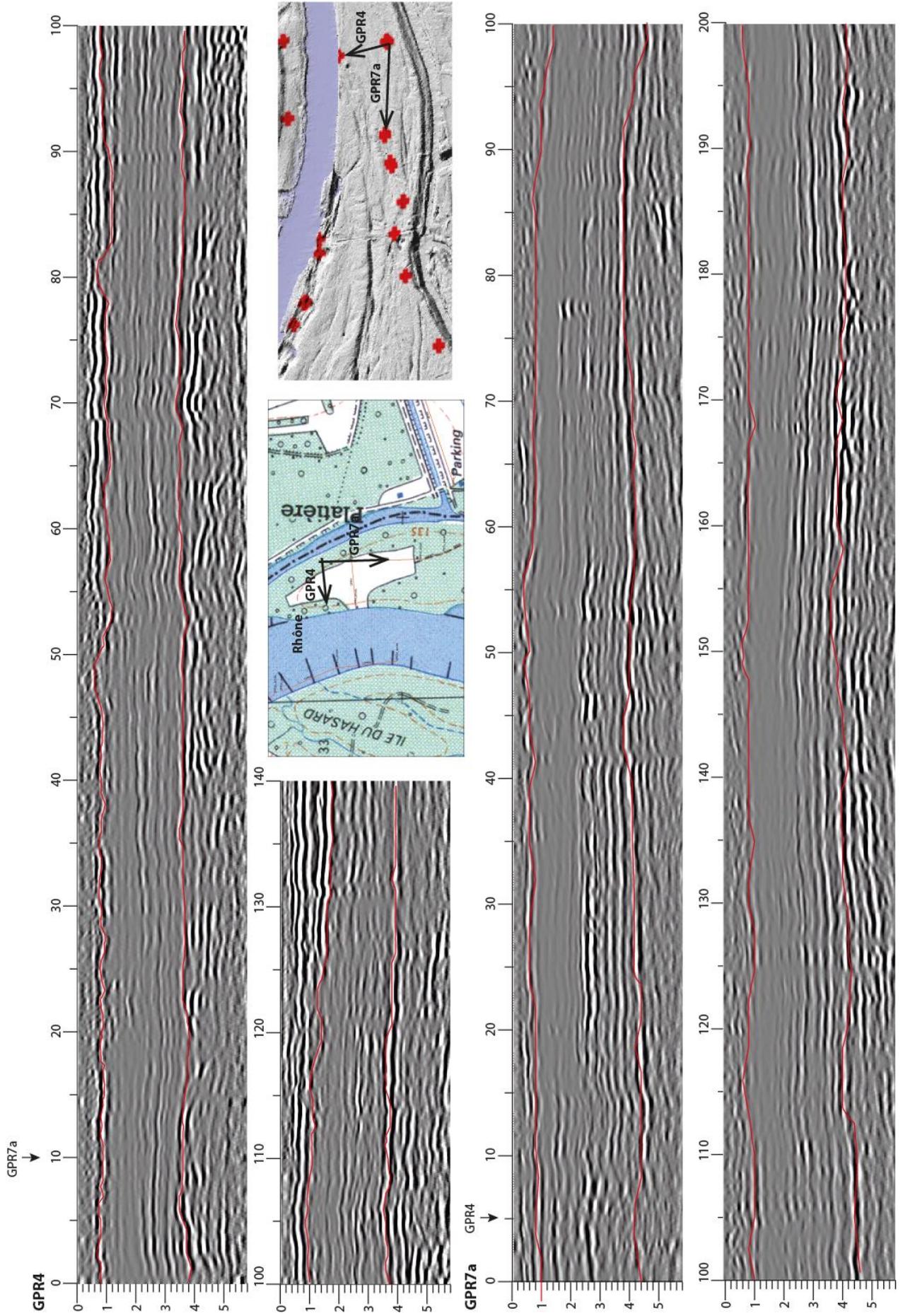


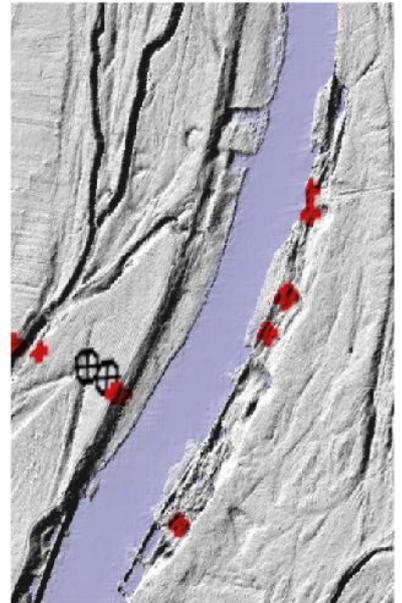
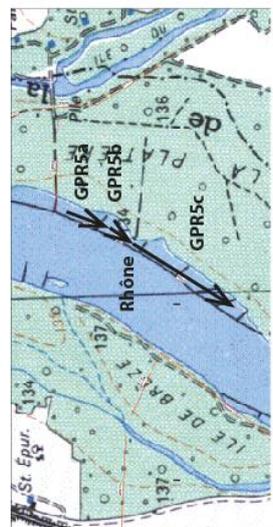
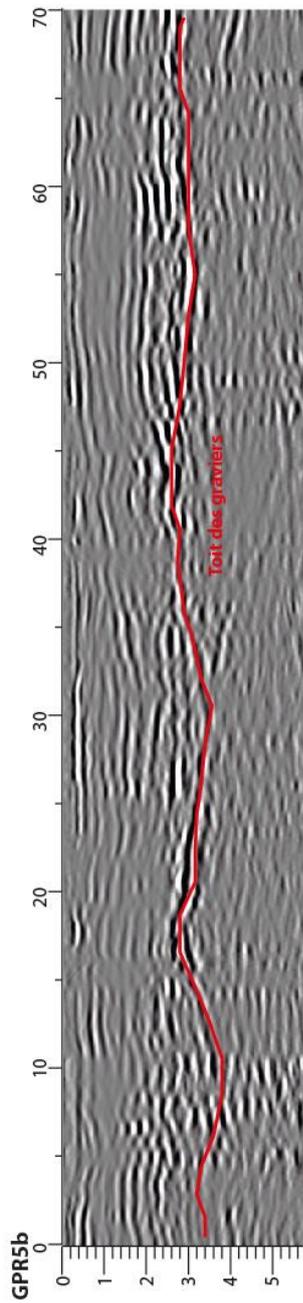
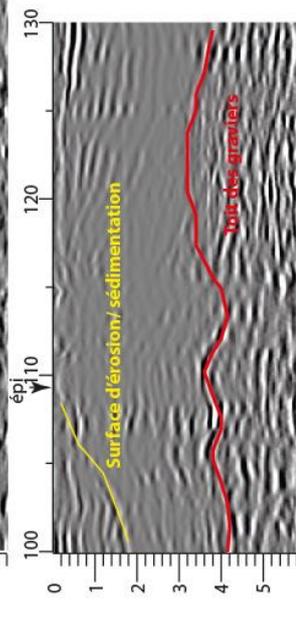
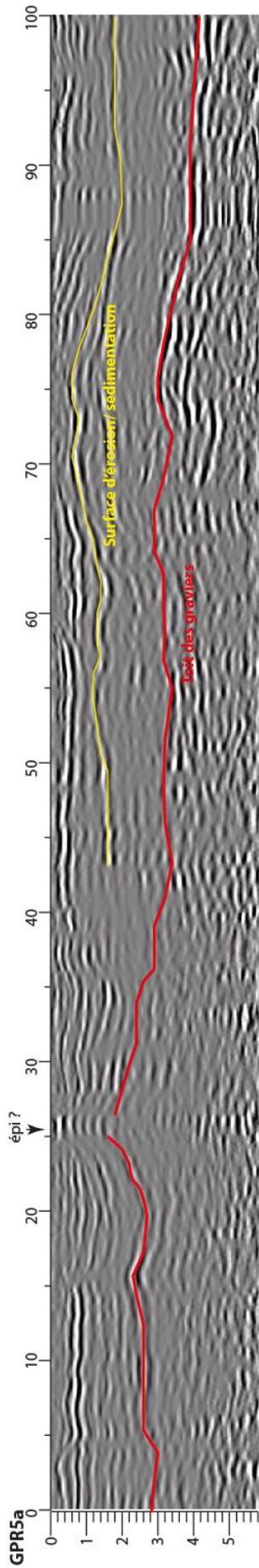


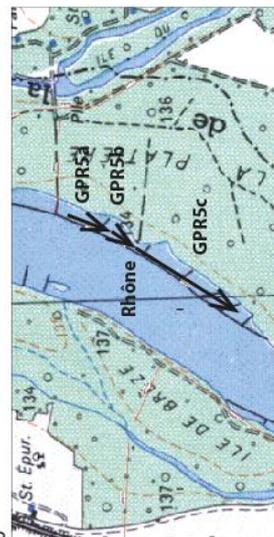
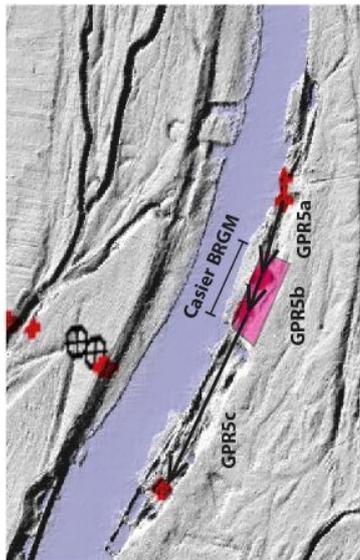
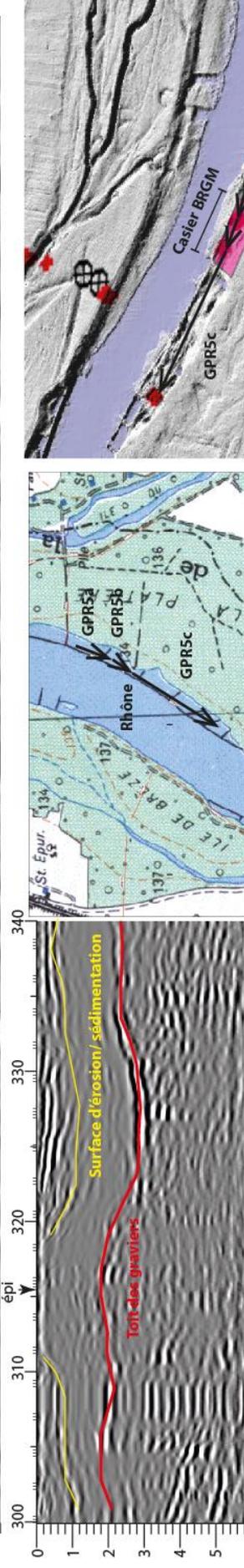
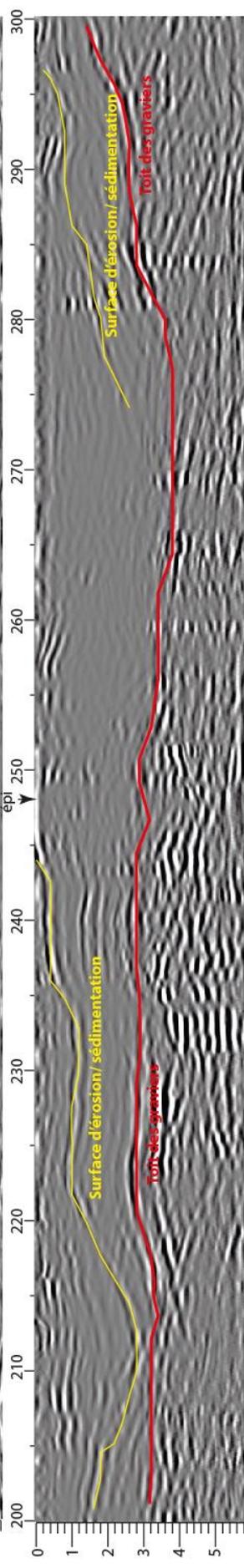
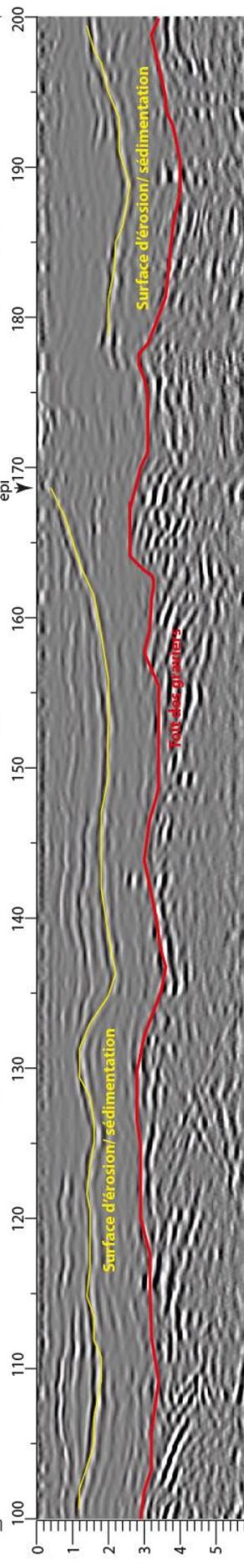
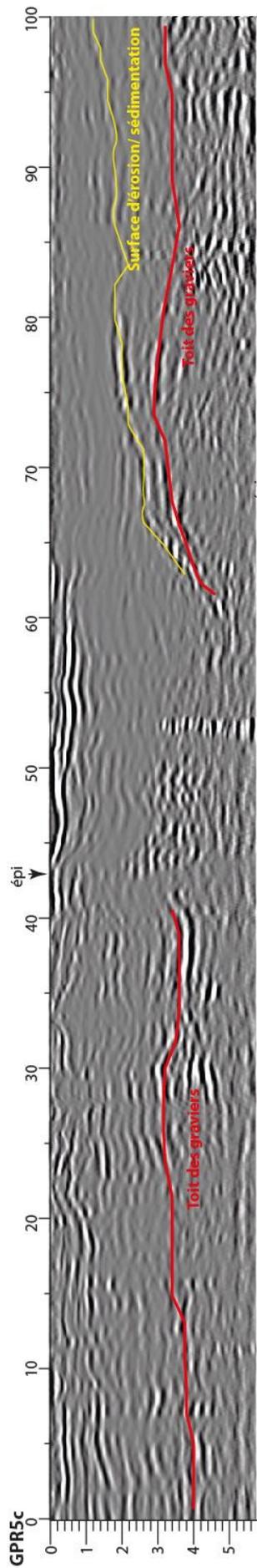


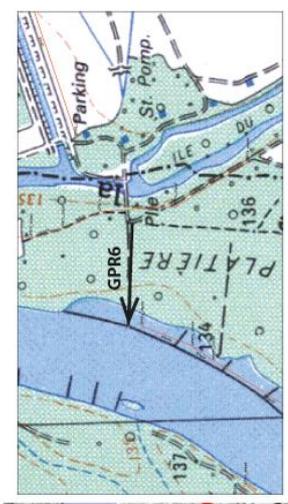
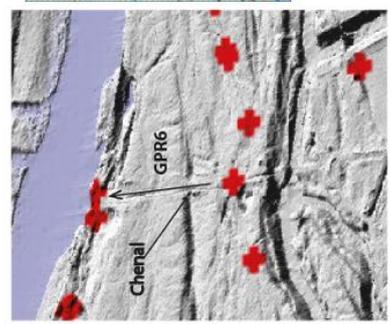
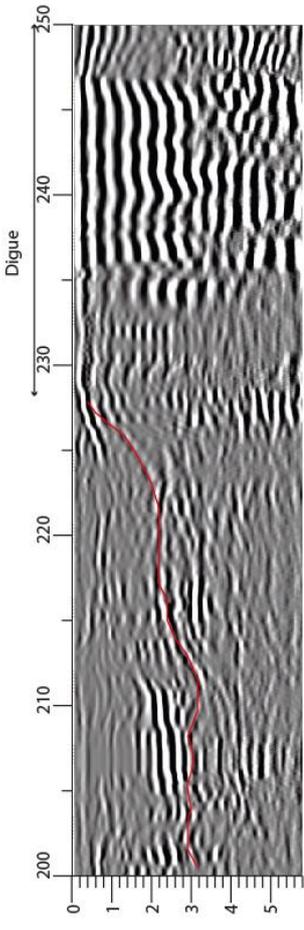
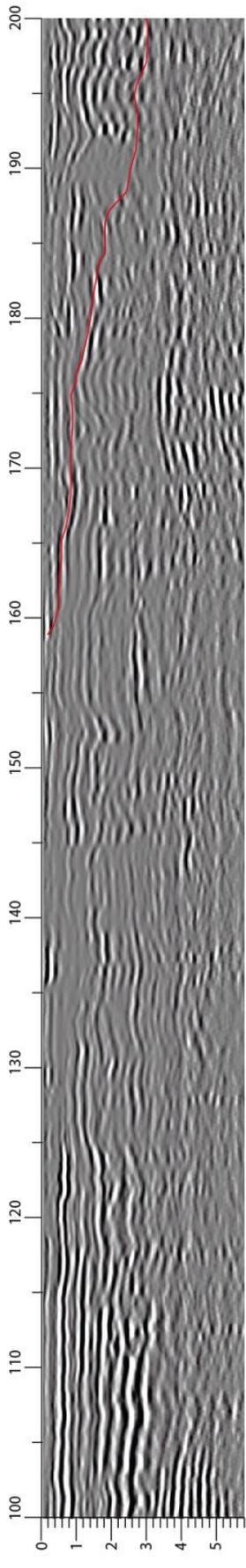
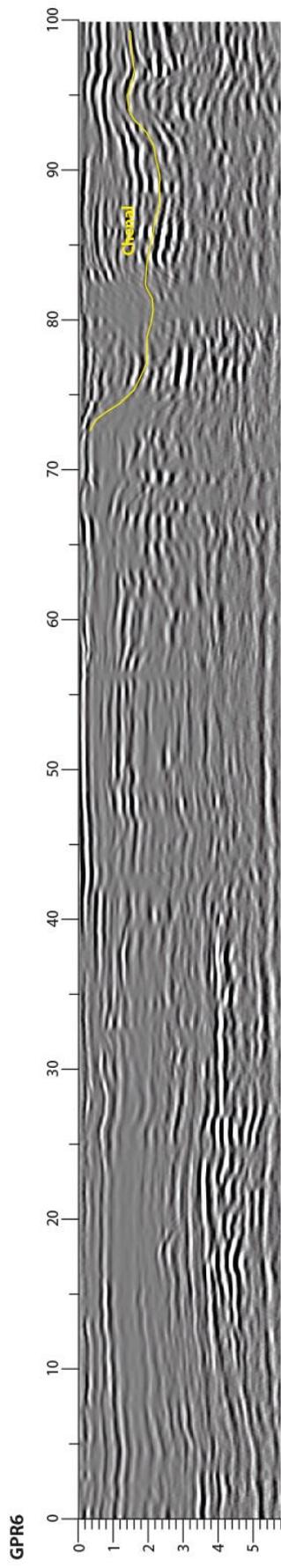


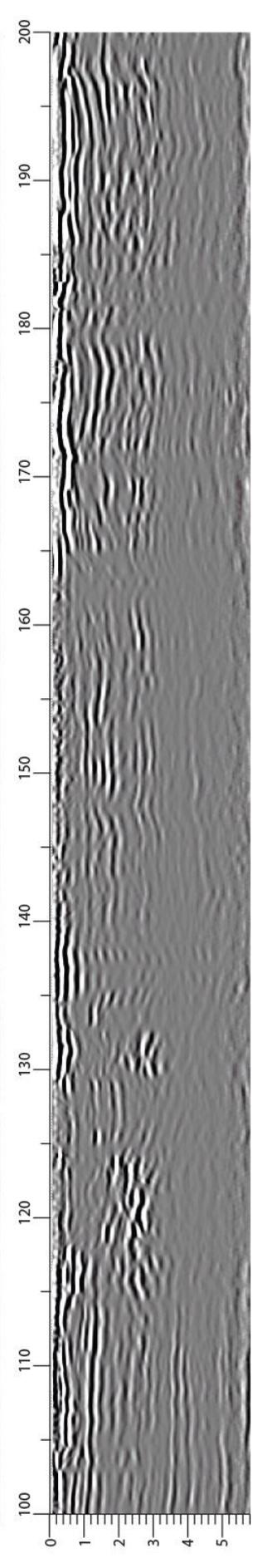
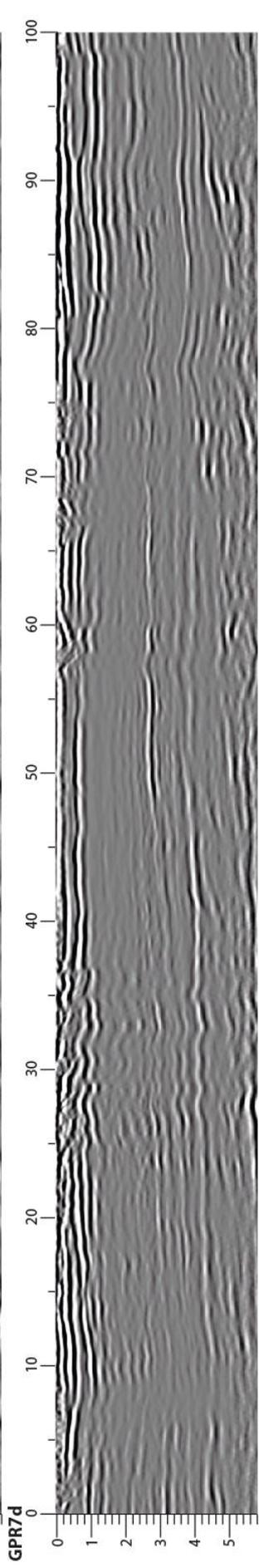
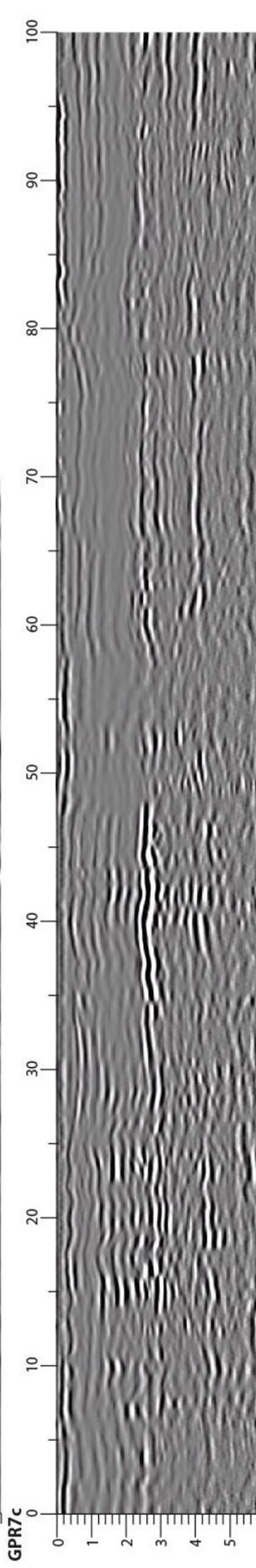
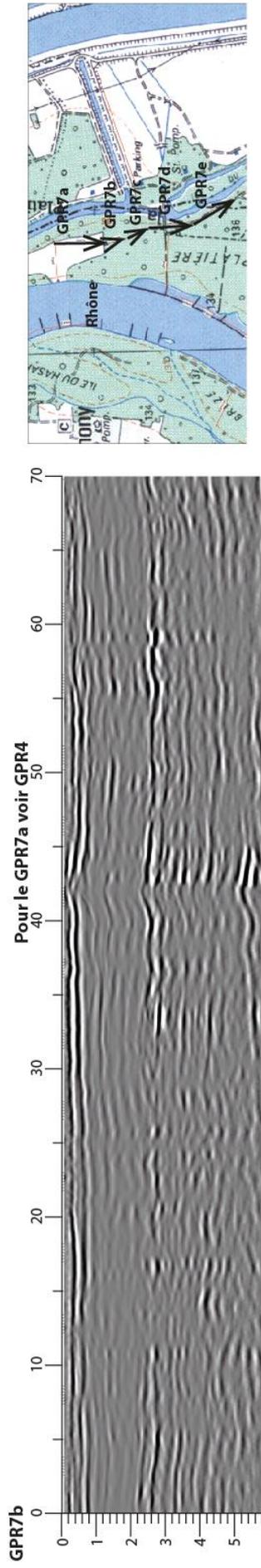




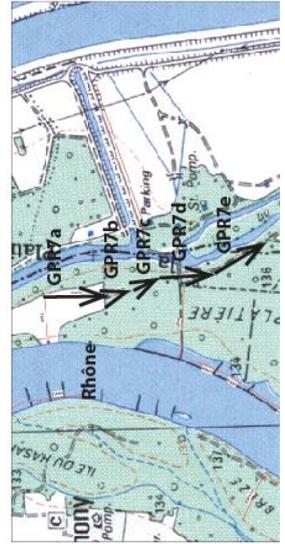
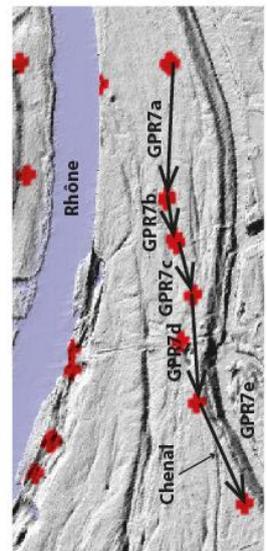
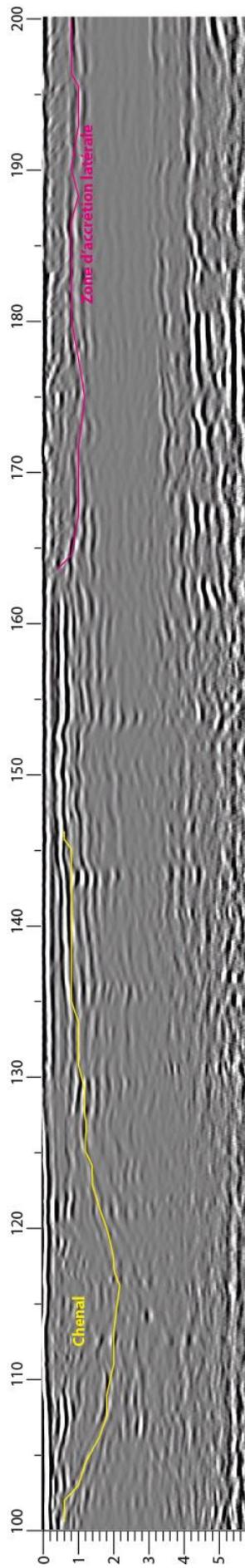
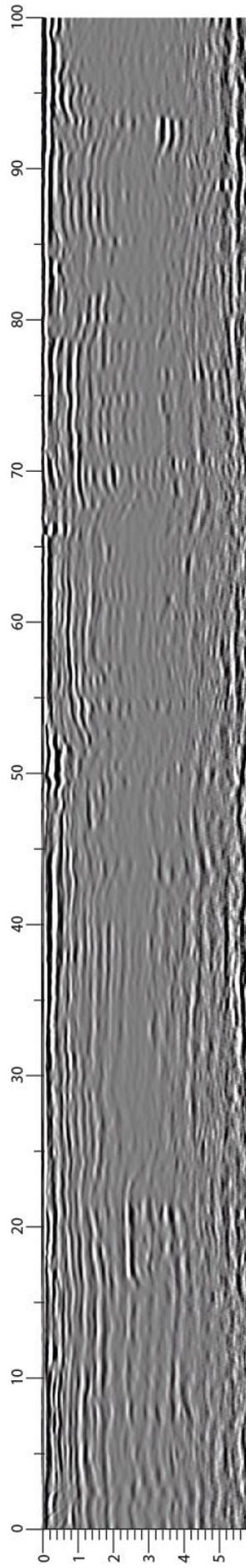


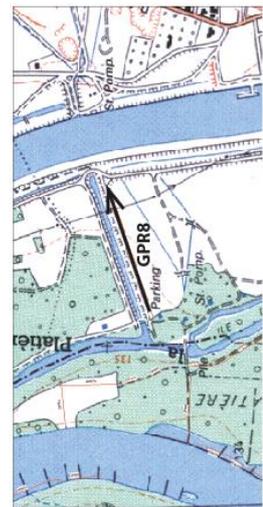
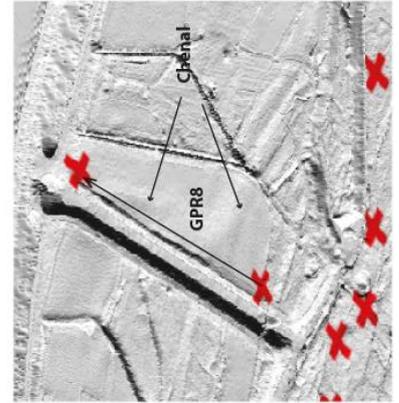
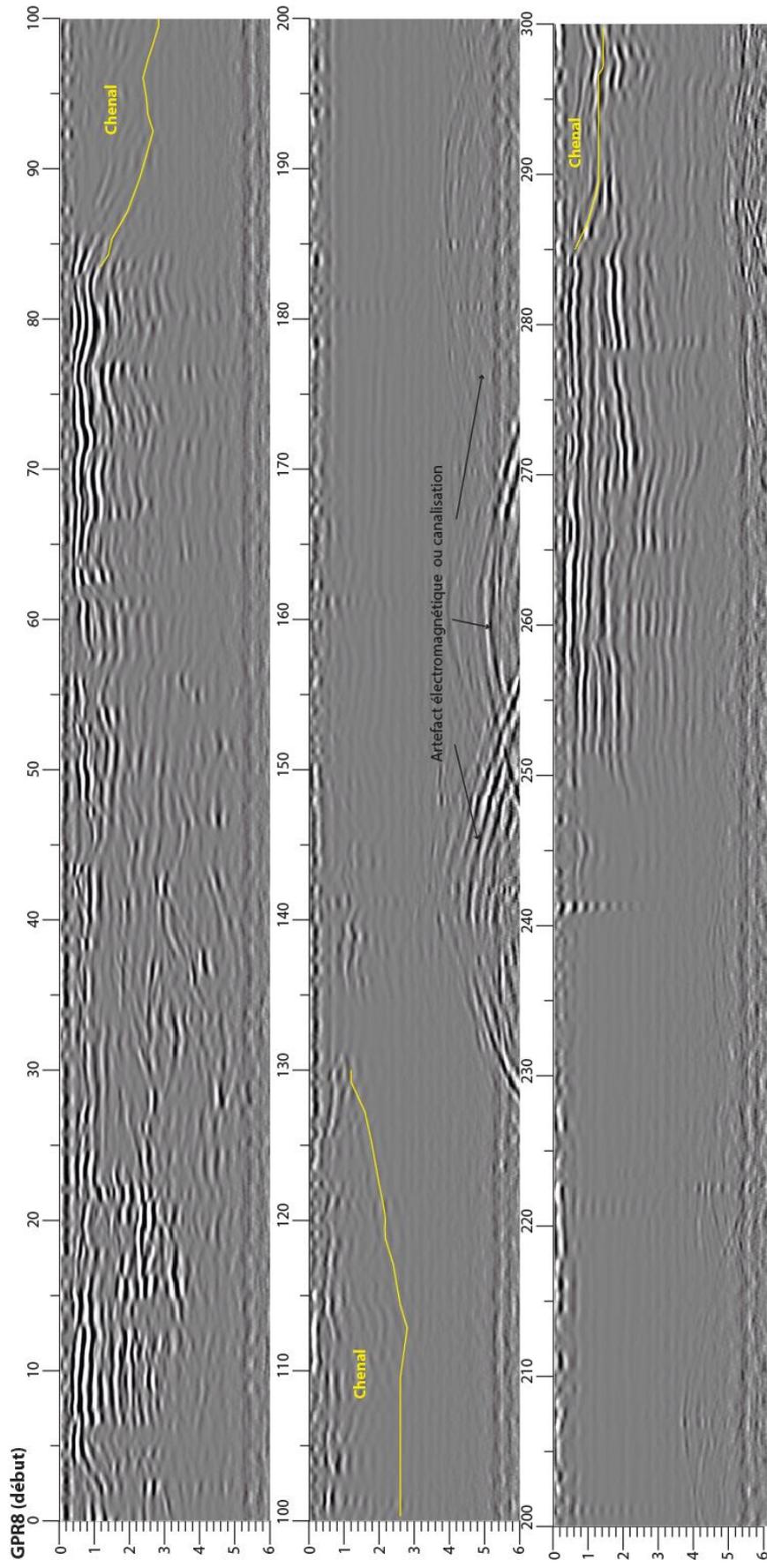


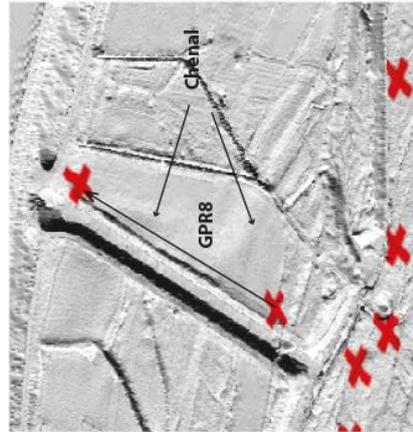
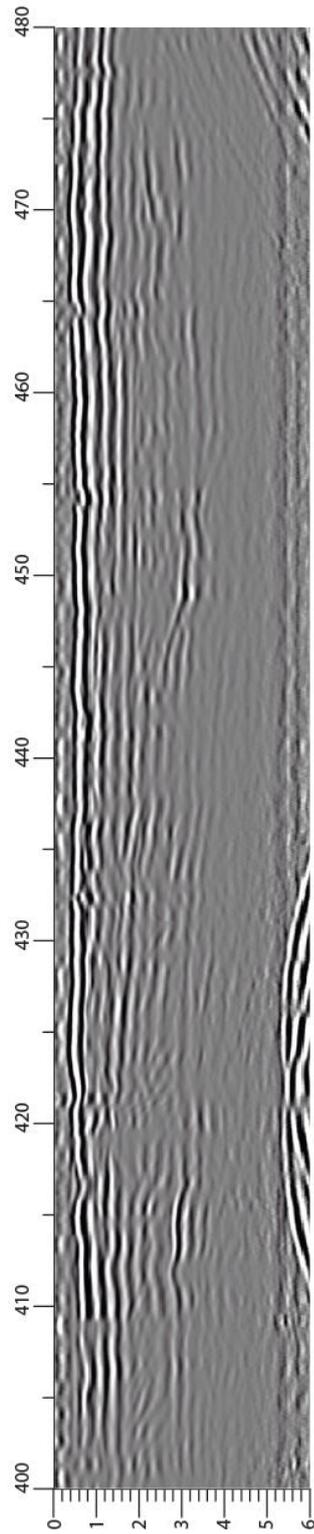
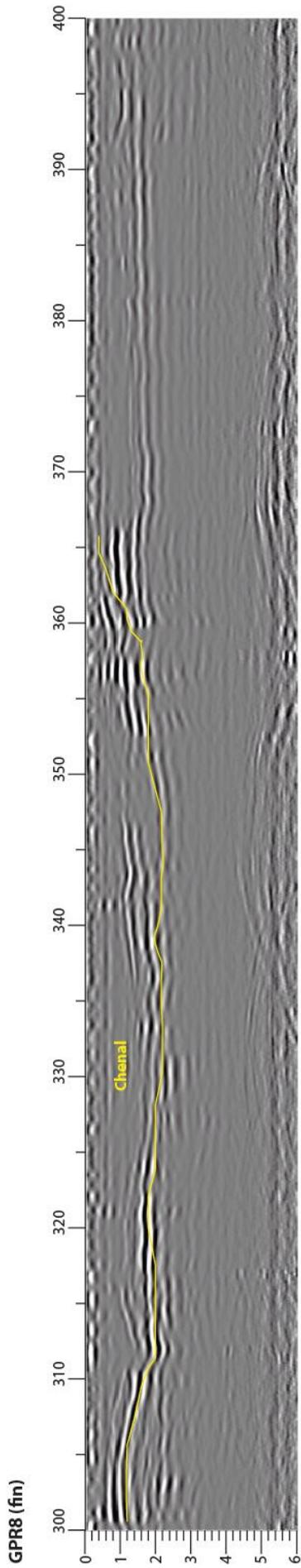


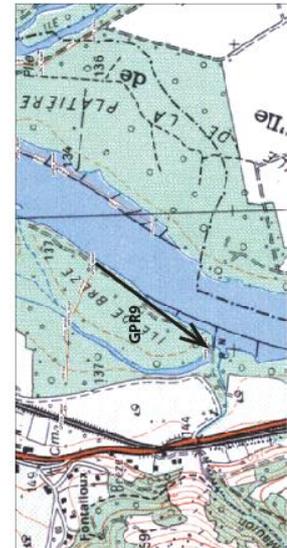
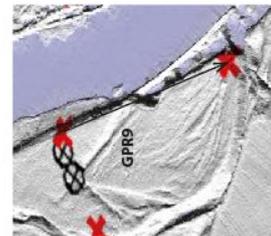
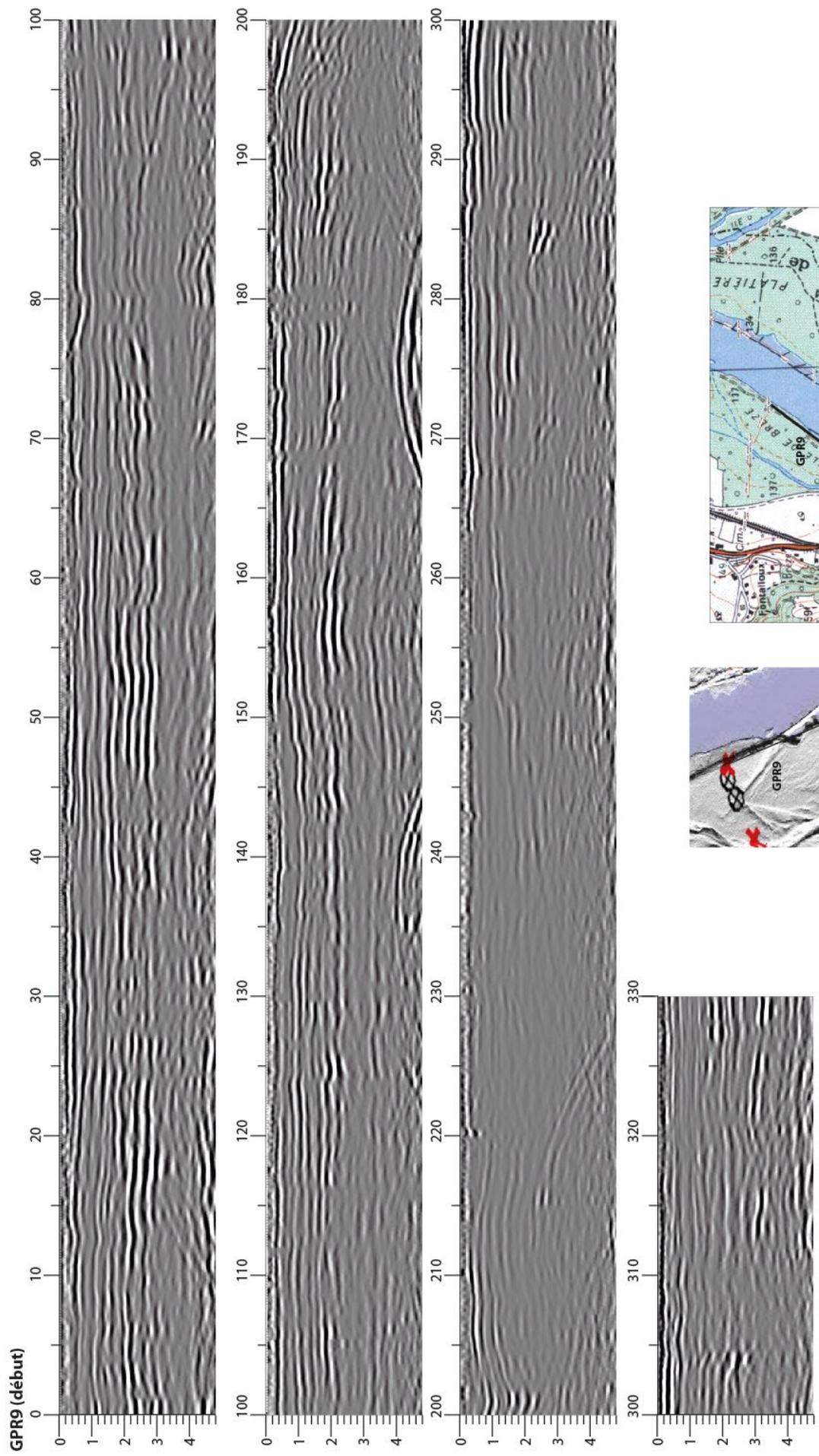


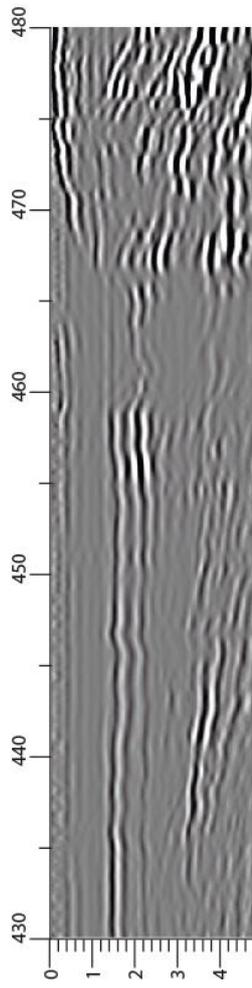
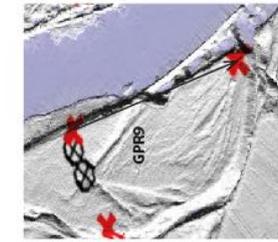
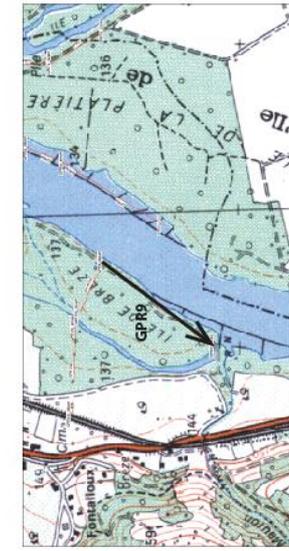
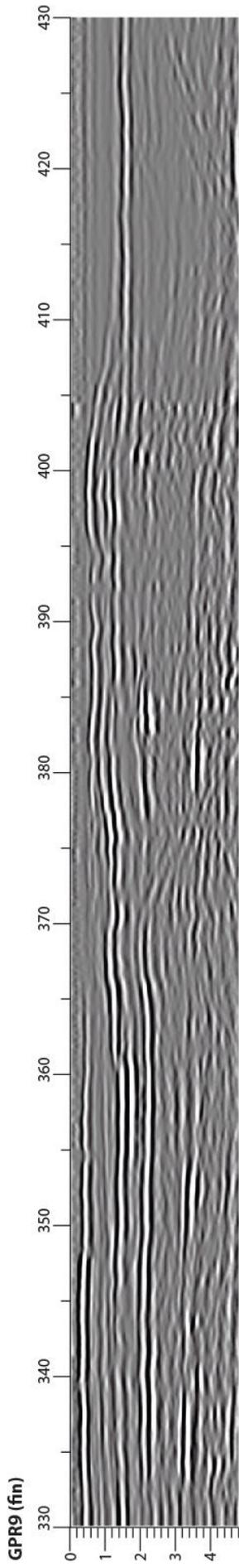
GPR7e

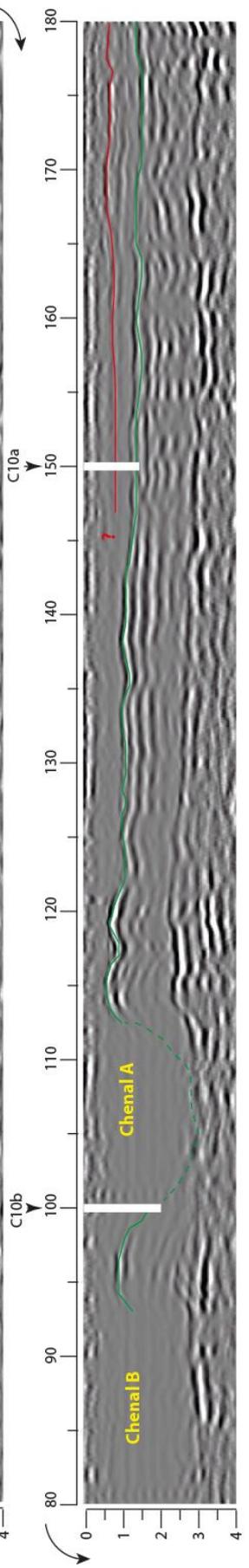
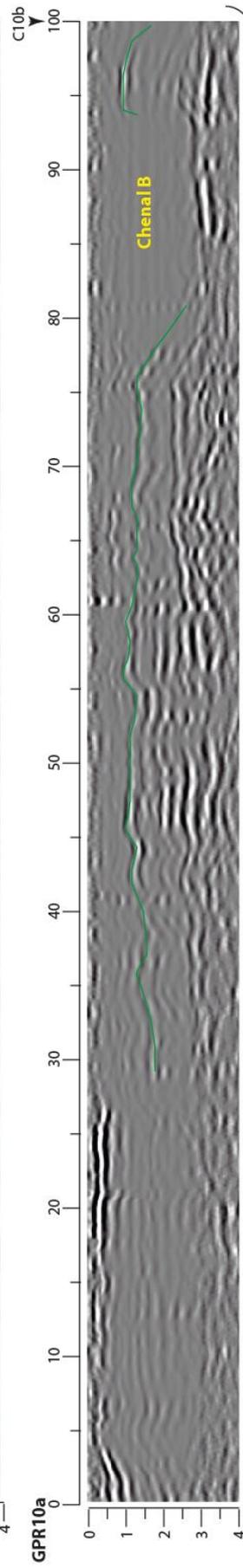
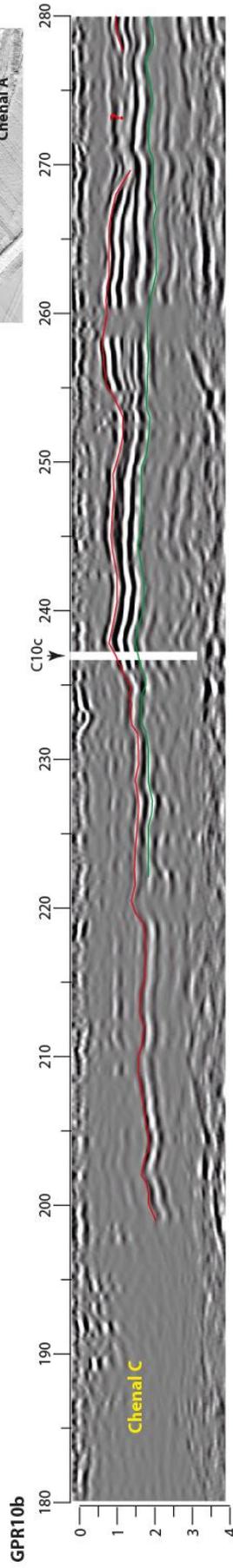
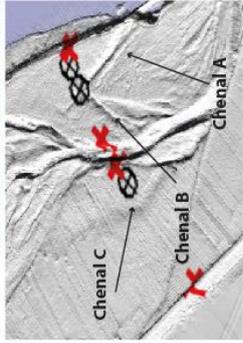
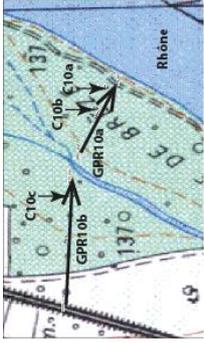


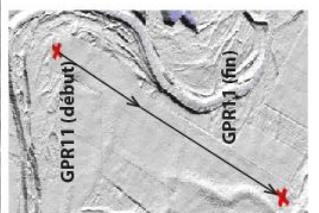
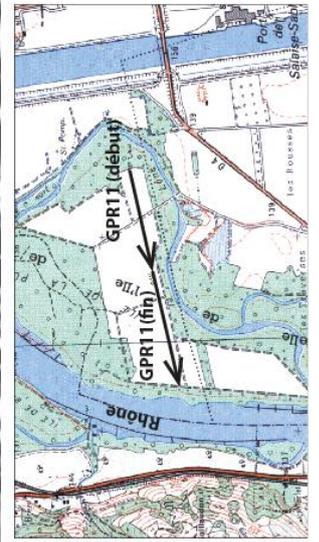
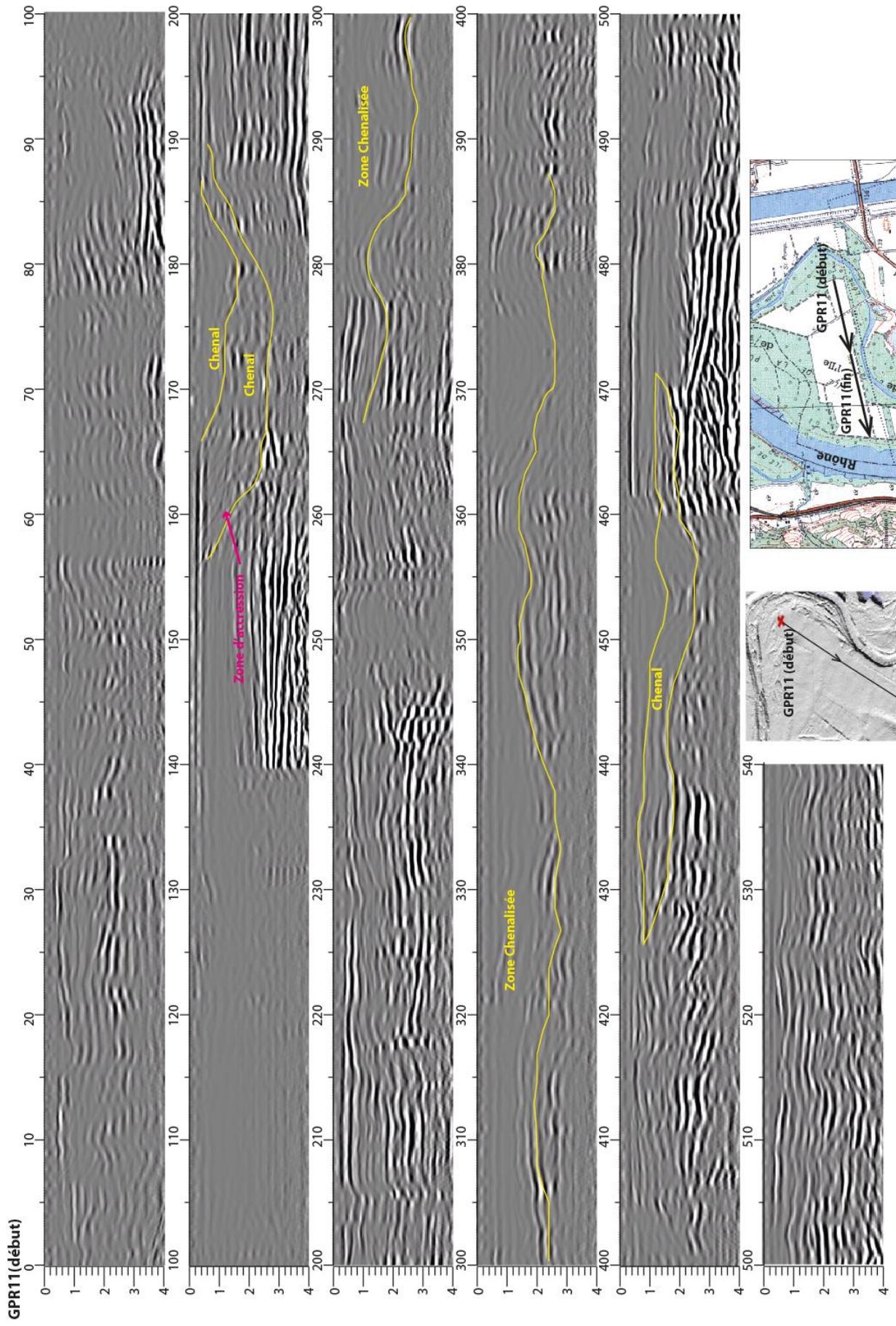




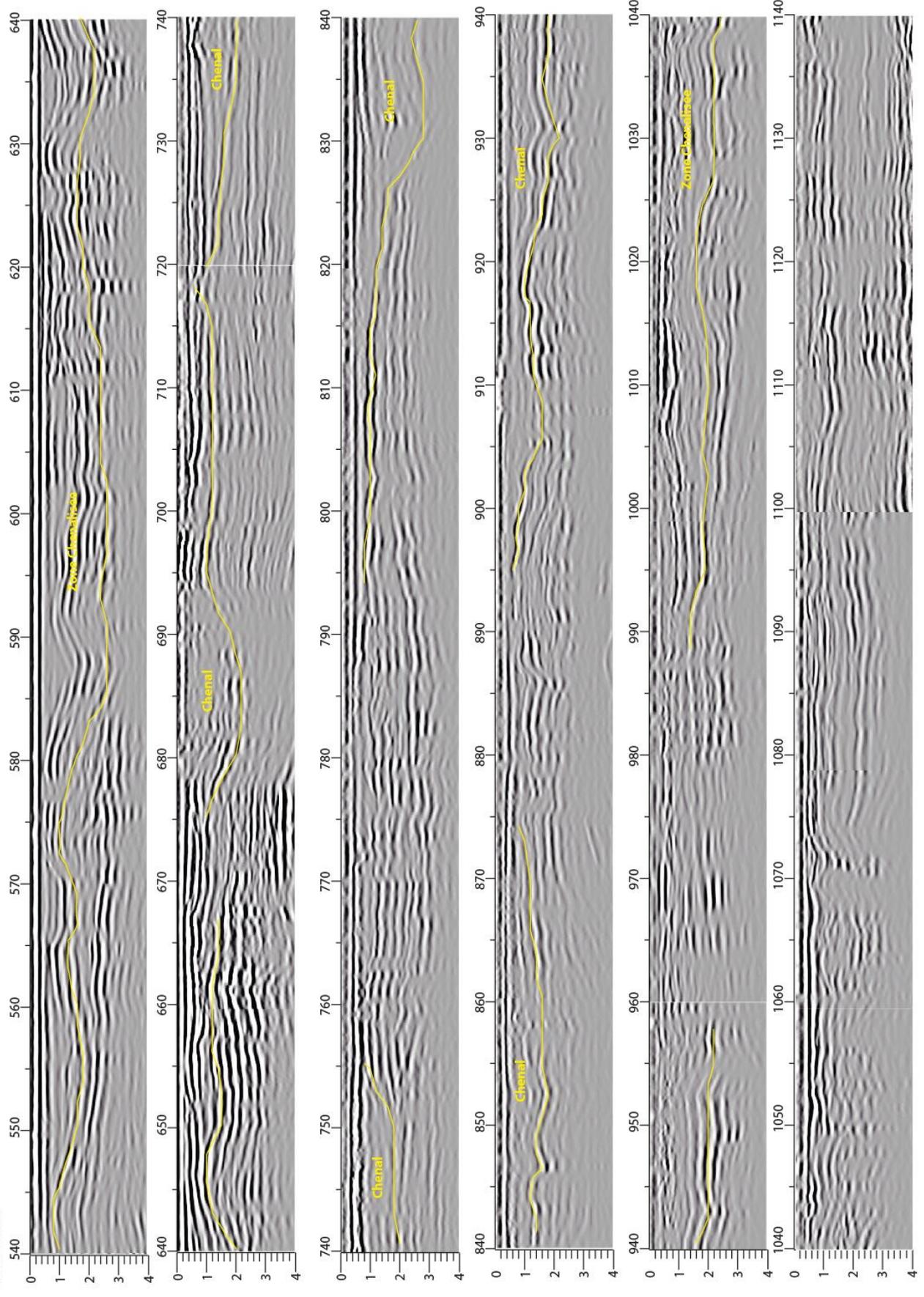


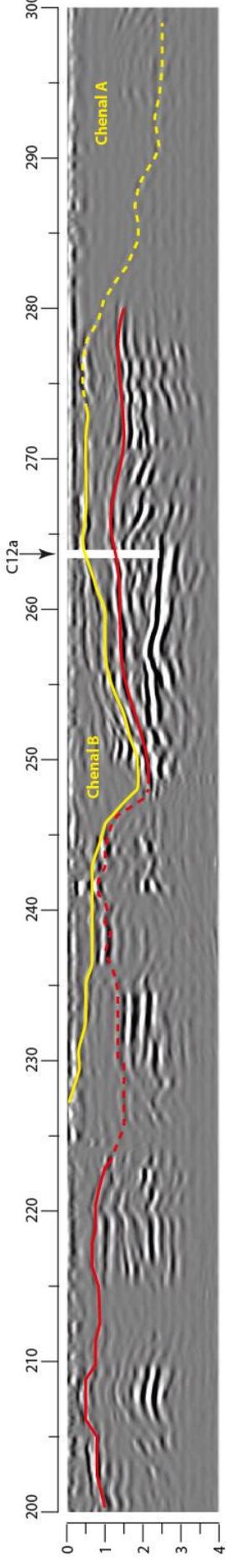
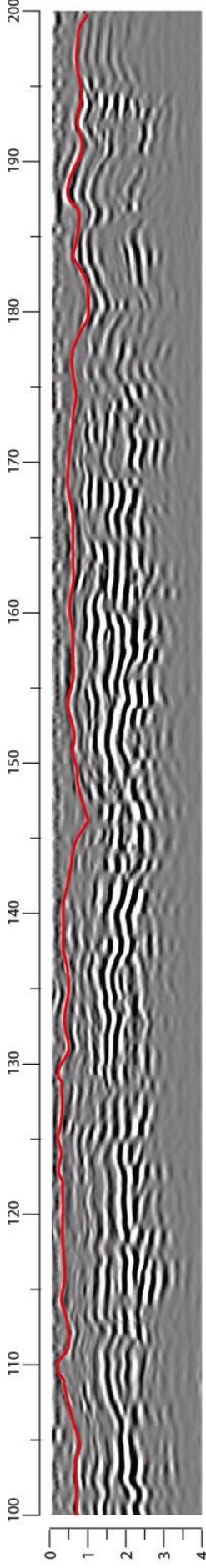
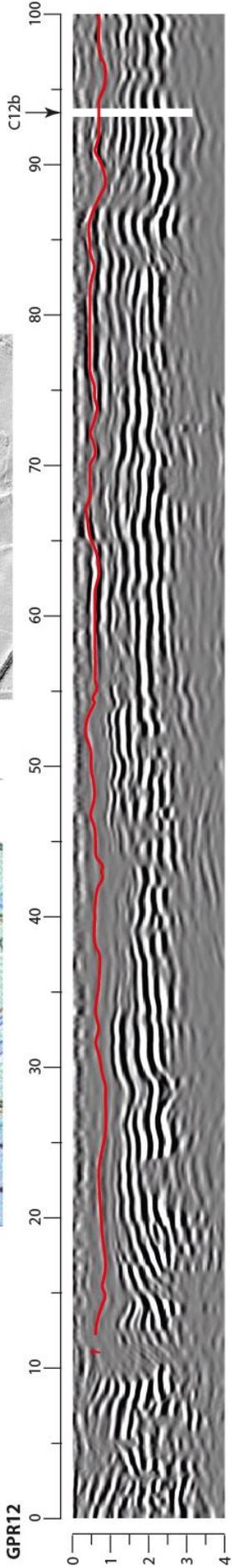
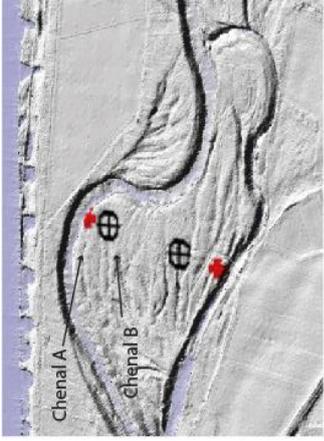






GPR11 (f.m)





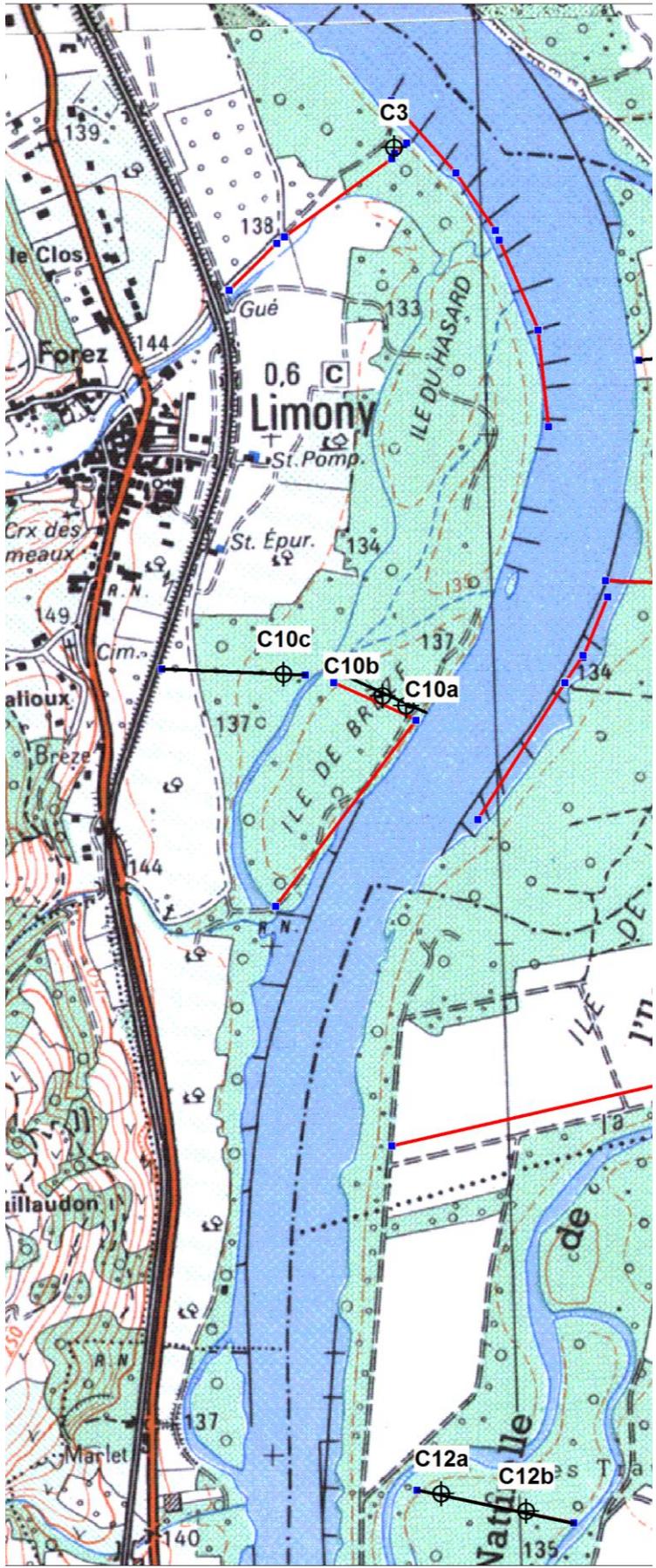
Annexe 3 : Description, granulométrie et Susceptibilité Magnétique des carottes prélevées.

La description des carottes est exprimée en fonction de la longueur de celle-ci.

Lors du carottage, le matériel sédimentaire a subi une compaction c'est ainsi que les longueurs des sections, et donc la longueur totale de la carotte, a été transformée en profondeurs atteintes, de même que l'axe vertical des mesures granulométriques et de susceptibilité magnétique. La même manipulation a été effectuée sur l'ensemble des six prélèvements (C3, C10a, C10b, C10c, C12a et C12b).

Nomenclatures et coordonnées en Lambert 93 des 6 carottes C du RCC1

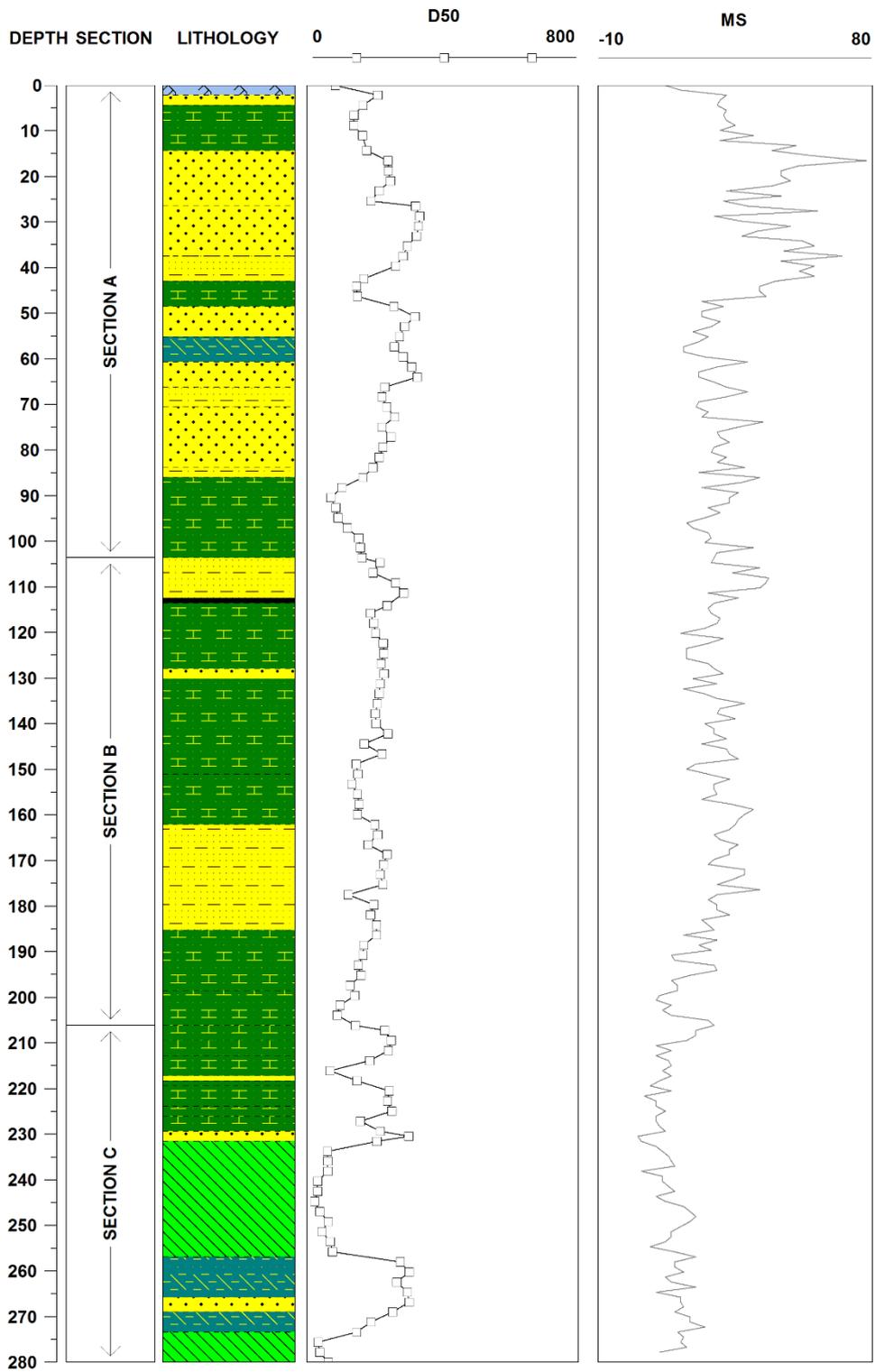
Code terrain	Code RCC1	X	Y	Section	Longueur totale (m)	Profondeur totale (m)
PDR1602	C3	790251	2042635,8	3	2,54	2,80
PDR1604	C10a	790274,3	2041538,9	2	1,09	1,37
PDR1603	C10b	790228,1	2041559,2	2	1,58	1,80
PDR1601	C10c	790034,9	2041601,3	3	2,84	3,15
PDR1605	C12a	790343,9	2039991,2	2	1,85	2,15
PDR1606	C12b	790509,4	2039956,8	3	2,72	3,08



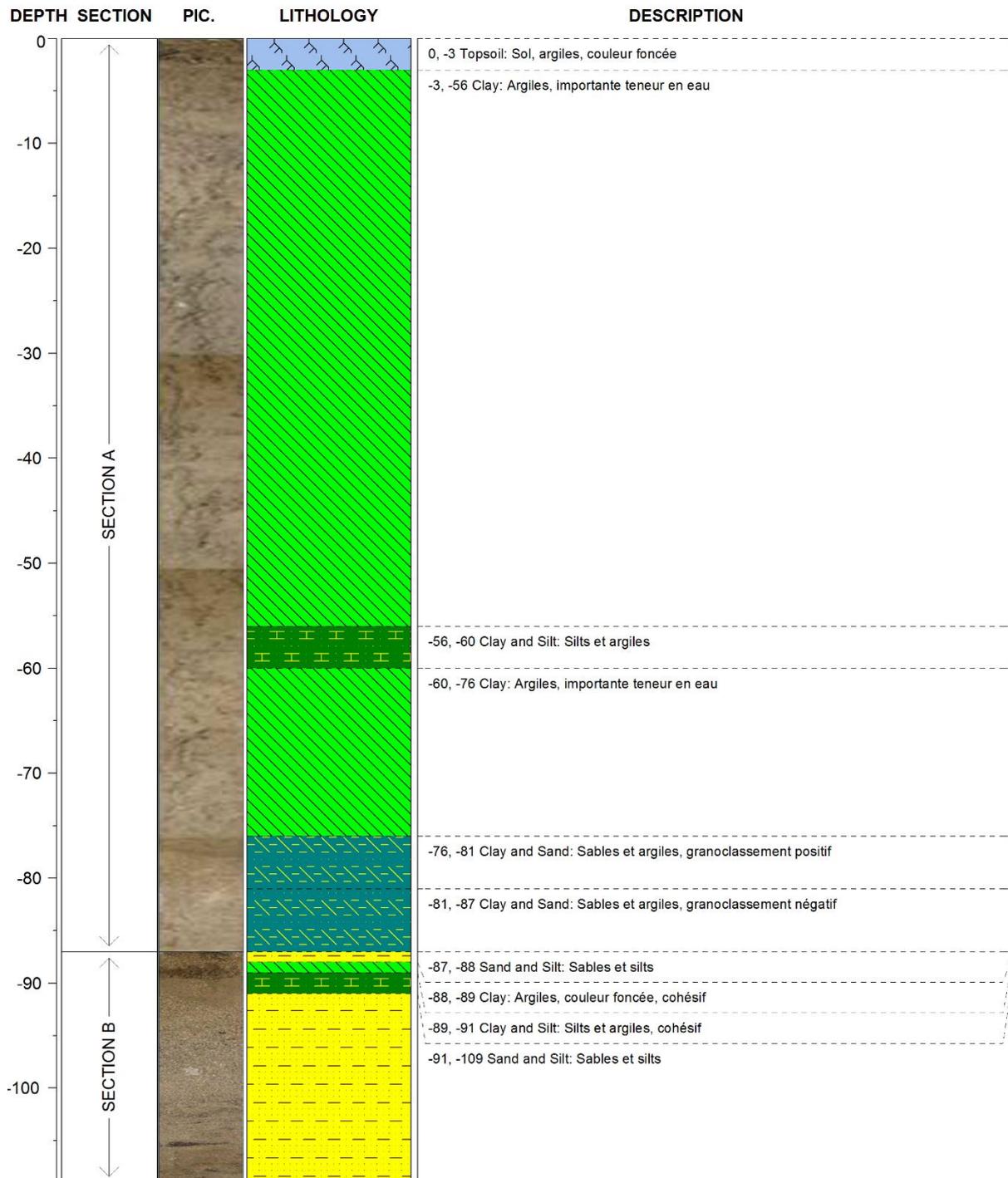
Description de la carotte C3

DEPTH	SECTION	PIC.	LITHOLOGY	DESCRIPTION
0	SECTION A			0, -2 Topsoil: Sol, forte présence de racines et de MO, silts, cohésif
-2				-2, -4 Sand: Sables, présence de MO
-4				-4, -13 Clay and Silt: Silts et argiles, présence de MO, couleur s'éclaircissant avec la profondeur
-13				-13, -24 Sand: Sables, présence de MO, couleur s'éclaircissant avec la profondeur
-24				-24, -34 Sand: Sables
-34				-34, -39 Sand and Silt: Sables et silts
-39				-39, -44 Clay and Silt: Silts et argiles, faible cohésion, présence de MO
-44				-44, -50 Sand: Sables
-50				-50, -55 Clay and Sand: Sables et présence d'argiles
-55				-55, -60 Sand: Sables
-60	SECTION B			-60, -64 Sand and Silt: Sables, silts et présence d'argiles, cohésif
-64				-64, -76 Sand: Sables
-76				-76, -78 Sand and Silt: Sables, silts et présence d'argiles, cohésif, présence de MO
-78				-78, -94 Clay and Silt: Silts et argiles, faible cohésion, présence de MO
-94				-94, -102 Sand and Silt: Sables et silts, granoclassement positif
-102				-102, -103 Organic matter: MO
-103				-103, -116 Clay and Silt: Silts et argiles, faible cohésion
-116				-116, -118 Sand: Sables
-118				-118, -137 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclassement positif
-137				-137, -147 Clay and Silt: Silts et argiles
-147	SECTION C			-147, -168 Sand and Silt: Sables et silts, présence d'argiles
-168				-168, -180 Clay and Silt: Silts et argiles, blocs de type béton fortement agglomérés
-180				-180, -187 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclassement négatif
-187				-187, -190 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif
-190				-190, -193 Clay and Silt: Silts et argiles, présence de sables
-193				-193, -197 Clay and Silt: Silts et forte présence d'argiles
-197				-197, -198 Sand: Sables
-198				-198, -199 Clay and Silt: Silts et argiles
-199				-199, -203 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclassement négatif
-203				-203, -205 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclassement positif
-205	-205, -208 Clay and Silt: Silts et argiles			
-208	-208, -210 Sand: Sables			
-210	-210, -233 Clay: Argiles, cohésif			
-233	-233, -241 Clay and Sand: Sables et argiles			
-241	-241, -244 Sand: Sables			
-244	-244, -248 Clay and Sand: Sables et argiles			
-248	-248, -254 Clay: Argiles, cohésif			

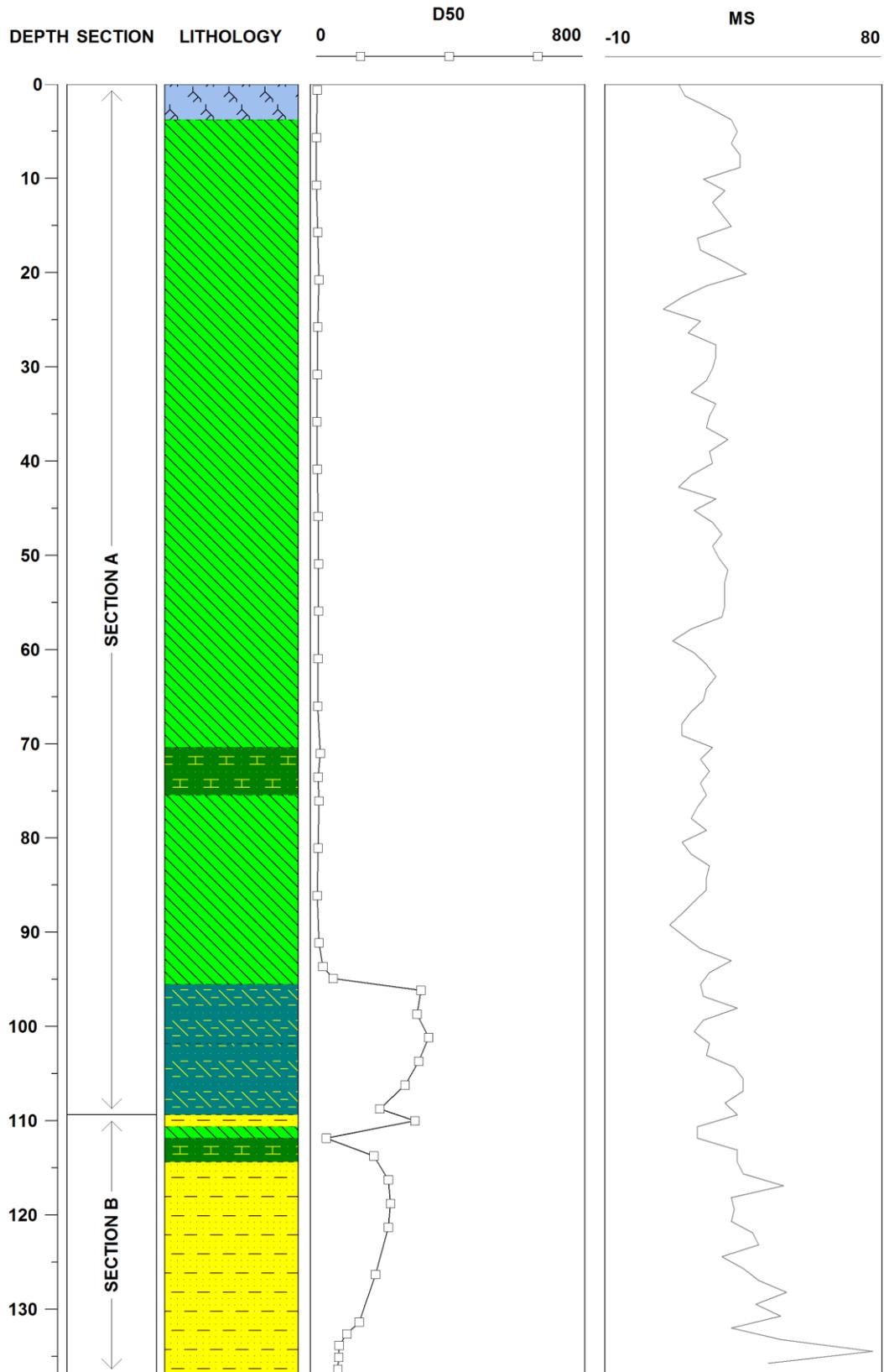
D50 et SM de la carotte C3



Description de la carotte C10a



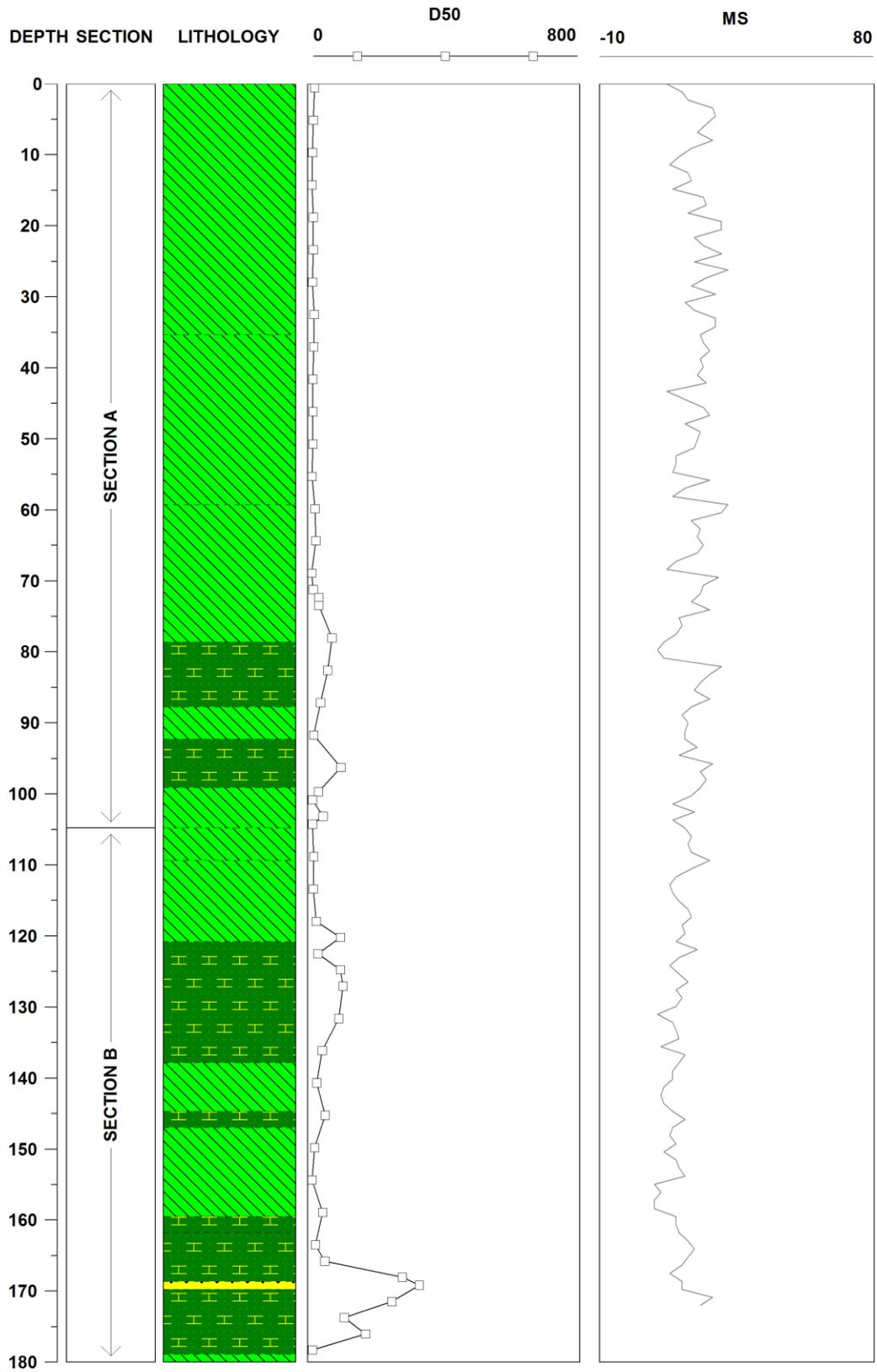
D50 et SM de la Carotte C10a



Description de la Carotte C10b

DEPTH	SECTION	PIC.	LITHOLOGY	DESCRIPTION																
0	SECTION A			0, -31 Clay: Argiles, s'éclaircissant avec la profondeur, très cohésif																
-10						-31, -52 Clay: Argiles, traces d'oxydoréduction														
-20								-52, -69 Clay: Argiles, couleur plus foncée, traces d'oxydoréduction												
-30										-69, -77 Clay and Silt: Silts et argiles, traces d'oxydoréduction										
-40												-77, -81 Clay: Argiles, couleur plus grise, traces d'oxydoréduction								
-50														-81, -87 Clay and Silt: Silts et argiles, traces d'oxydoréduction						
-60																-87, -92 Clay: Argiles, couleur plus grise, traces d'oxydoréduction				
-70																		-92, -96 Clay: Argiles, couleur plus grise, traces d'oxydoréduction		
-80																				-96, -106 Clay: Argiles, très cohésif, traces d'oxydoréduction
-90																				
-100	SECTION B																			
-110																				
-120																				
-130																				
-140																				
-150																				

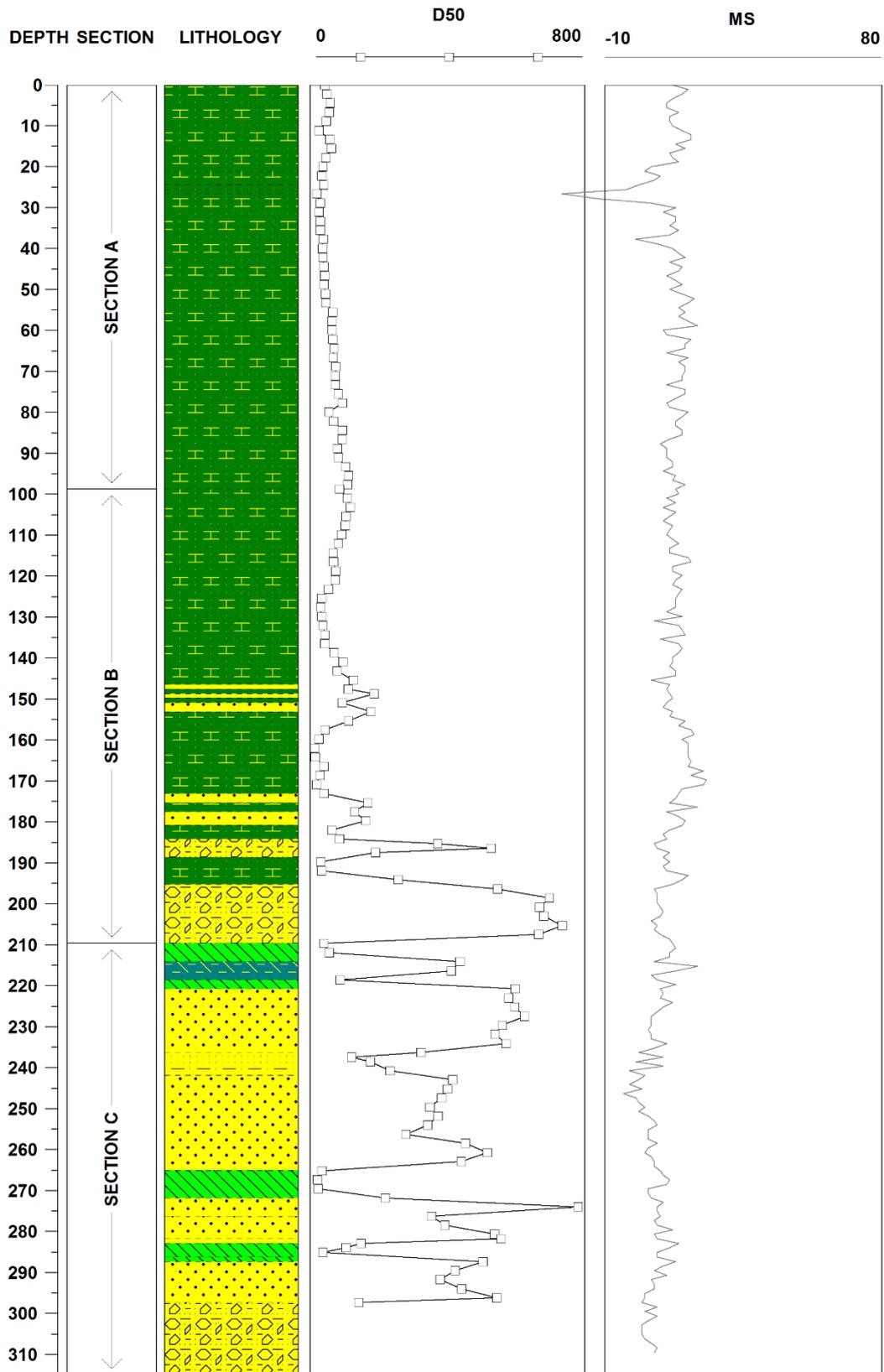
D50 et SM de la Carotte C10b



Description de la Carotte C10c

DEPTH	SECTION	PIC.	LITHOLOGY	DESCRIPTION
0	SECTION A			0, -19 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-10				-19, -22 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement, couleur marron foncé, augmentation de la quantité de MO
-20				-22, -23 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, granoclassement positif, diminution de la quantité de MO avec la profondeur
-30				-23, -24 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement, couleur marron clair
-40	SECTION B			-40, -89 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, granoclassement positif, diminution de la quantité de MO avec la profondeur
-50				-89, -132 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-60				-132, -133 Sand: Sables
-70				-133, -134 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-80				-134, -135 Sand: Sables
-90				-135, -136 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-100	SECTION C			-100, -136 Sand: Sables
-110				-136, -156 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-120				-156, -158 Sand: Sables
-130				-158, -160 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-140				-160, -163 Sand: Sables
-150				-163, -166 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-160				-166, -170 Gravel and Sand: Graviers et sables, granoclassement positif
-170				-170, -176 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif, pas de granoclassement
-180				-176, -189 Gravel and Sand: Graviers et sables grossiers
-190				-189, -193 Clay: Argiles, très cohésif
-193	-193, -197 Clay and Sand: Sables et argiles			
-197	-197, -199 Clay: Argiles, très cohésif			
-199	-199, -213 Sand: Sables, granoclassement négatif			
-203	-213, -218 Sand and Silt: Sables et silts, traces d'argiles			
-207	-218, -239 Sand: Sables, trace d'oxydoréduction à 227 cm de profondeur			
-211	-239, -245 Clay: Argiles, trace d'oxydoréduction à 234 cm de profondeur			
-215	-245, -249 Sand: Sables, granoclassement positif			
-219	-249, -254 Sand: Sables, pas de granoclassement			
-223	-254, -255 Sand: Sables, pas de granoclassement, présence d'oxydoréduction et de MO			
-227	-255, -258 Clay: Argiles, très cohésif			
-231	-258, -259 Clay: Argiles, très cohésif, présence d'oxydoréduction et de MO			
-235	-259, -268 Sand: Sables, granoclassement positif			
-239	-268, -284 Gravel and Sand: Graviers et sables grossiers			

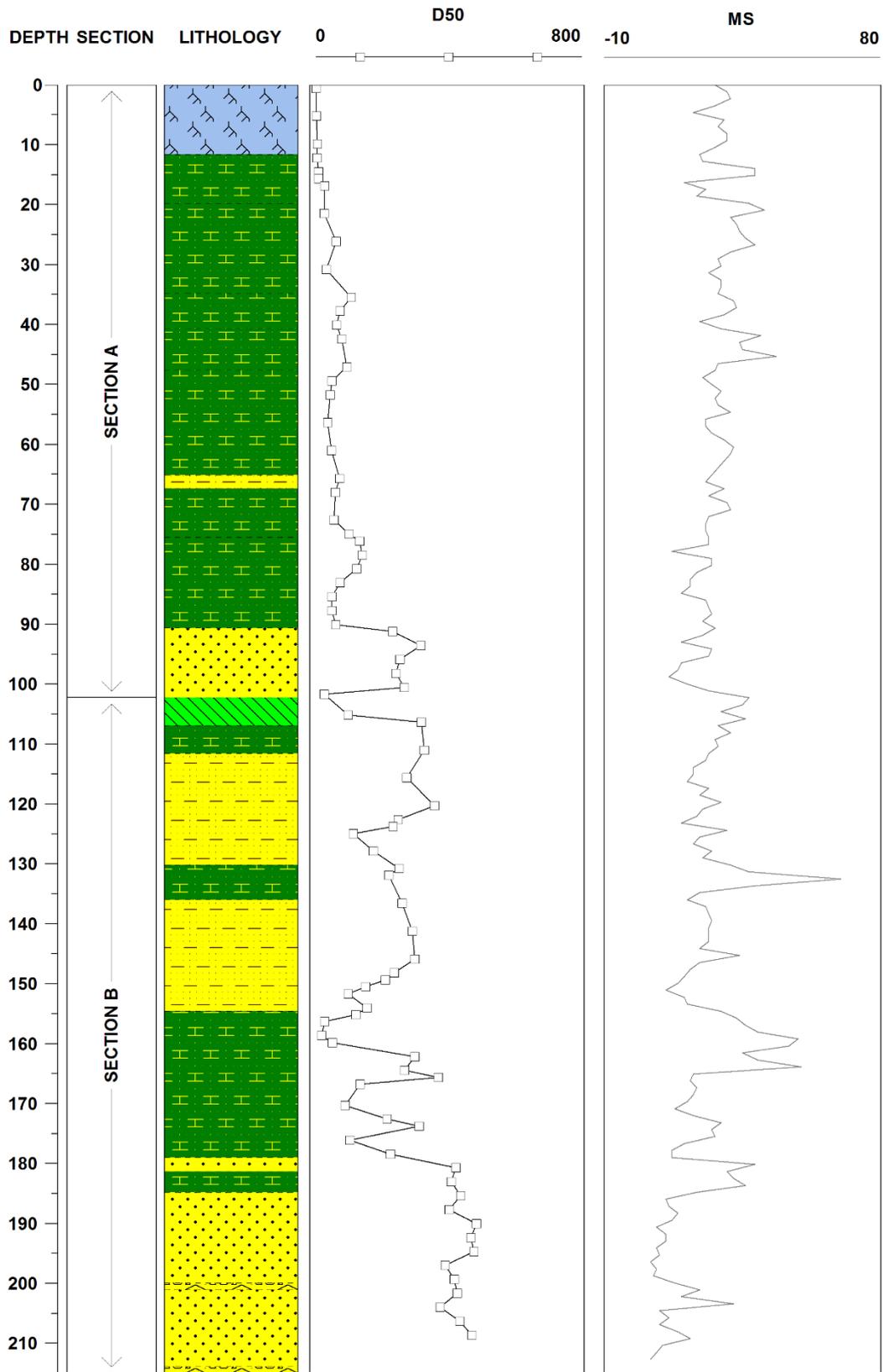
D50 et SM de la Carotte C10c



Description de la Carotte C12a

DEPTH	SECTION	PIC.	LITHOLOGY	DESCRIPTION
0	SECTION A			0, -10 Topsoil: Sol constitué d'argiles, présence de racines et de débris végétaux, cohésif
-10				-10, -17 Clay and Silt: Silts et argiles
-20				-17, -30 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclasement positif
-30				-30, -35 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclasement négatif
-40				-35, -41 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclasement positif
-50				-41, -56 Clay and Silt: Silts et argiles
-60				-56, -58 Sand and Silt: Sables et silts
-70				-58, -65 Clay and Silt: Silts et argiles
-80				-65, -78 Clay and Silt: Silts et argiles, granoclasement négatif
-90				SECTION B
-88	-88, -92 Clay: Argiles, couleur marron foncé, cohésif			
-92	-92, -96 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif			
-100	-96, -112 Sand and Silt: Sables et silts			
-110	-112, -117 Clay and Silt: Silts et argiles			
-120	-117, -133 Sand and Silt: Sables et silts			
-130	-133, -154 Clay and Silt: Silts et argiles			
-140	-154, -156 Sand: Sables			
-150	-156, -159 Clay and Silt: Silts et argiles			
-160	-159, -172 Sand: Sables, granoclasement positif			
-170	-172, -173 Gravel: Graviers			
-180	-173, -184 Sand: Sables, granoclasement positif			
			-184, -185 Gravel: Graviers	

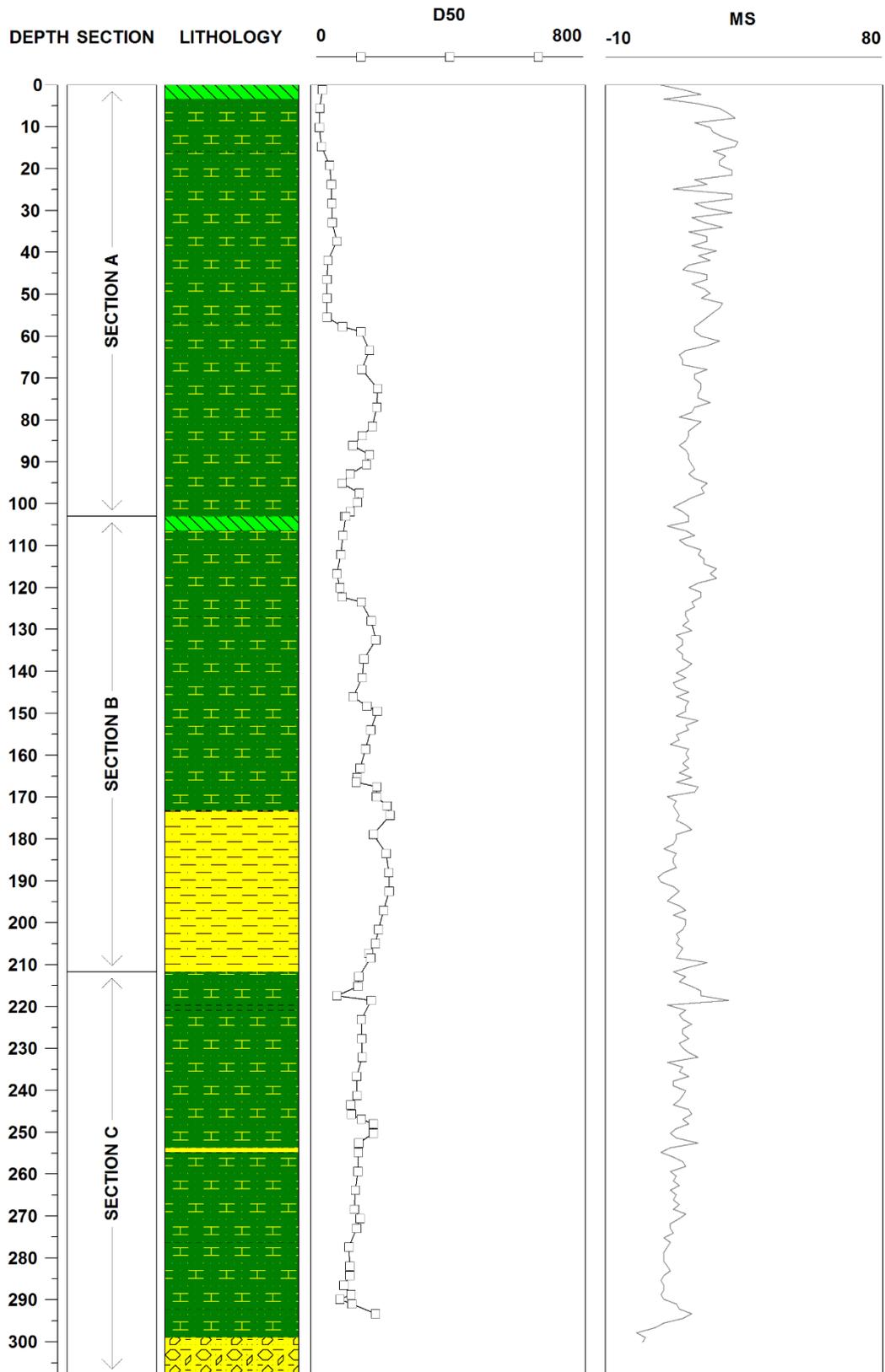
D50 et SM de la Carotte C12a

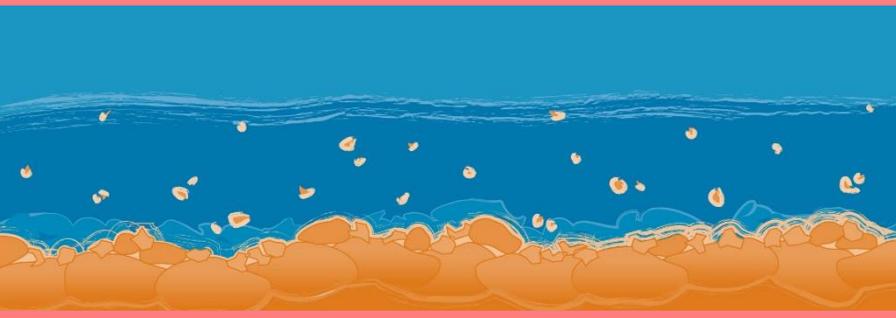


Description de la Carotte C12b

DEPTH	SECTION	PIC.	LITHOLOGY	DESCRIPTION
0	SECTION A			0, -3 Clay: Argiles, présence de MO, très cohésif
-10				-3, -14 Clay and Silt: Silts et argiles
-20				-14, -50 Clay and Silt: Silts et argiles, séclaircissant avec la profondeur
-30				
-40				
-50	SECTION B			-50, -91 Clay and Silt: Silts et argiles
-60				
-70				
-80				
-90				
-91	SECTION B			-91, -94 Clay: Argiles, présence de MO, très cohésif
-100				-94, -112 Clay and Silt: Silts et argiles, cohésif
-110				-112, -135 Clay and Silt: Silts et argiles
-120				
-130				
-135	SECTION B			-135, -153 Clay and Silt: Silts et argiles, augmentation de la proportion de silts
-140				
-150				
-160				
-170				
-153	SECTION C			-153, -187 Silt: Silts, faible présence d'argiles
-160				
-170				
-180				
-187				
-187	SECTION C			-187, -194 Clay and Silt: Silts et argiles
-190				-194, -195 Clay and Silt: Silts et argiles, couleur plus foncée, proportion de forte de fines
-195				-195, -224 Clay and Silt: Silts et argiles
-200				
-210				
-224	SECTION C			-224, -225 Sandy Silt: Silts sableux
-230				-225, -244 Clay and Silt: Silts et argiles
-240				
-244				-244, -258 Clay and Silt: Silts et argiles, couleur plus foncée
-250				
-258	SECTION C			-258, -264 Clay and Silt: Silts et argiles, couleur plus foncée vers le gris, forte teneur en eau
-264				-264, -272 Gravel and Sand: Graviers, sables et fines
-270				

D50 et SM de la Carotte C12b





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