

GWÉNAELLE ROUX

Le 12 décembre 2016

**ÉTUDE EN COUPLAGE RADAR GÉOLOGIQUE ET CAROTTAGES POUR UNE
CARACTÉRISATION SÉDIMENTAIRE D'UN CASIER GIRARDON ET DE SA
POLLUTION EN PCB SUR DONZÈRE-MONDRAGON**

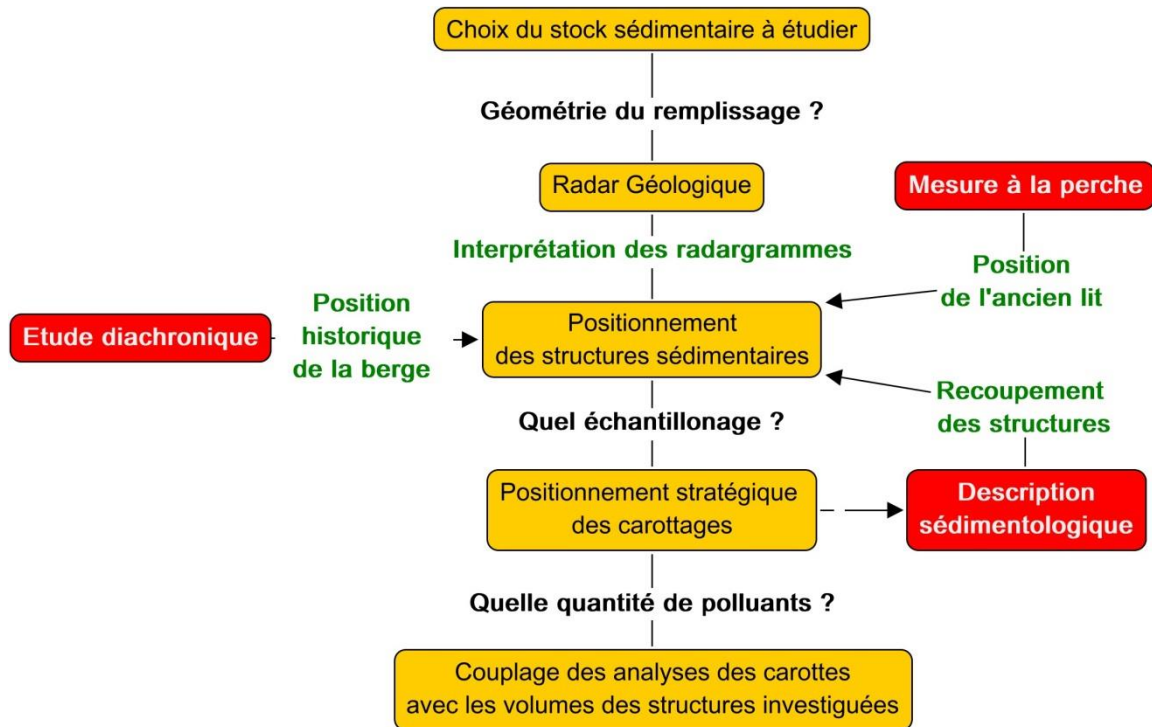
RAPPORT FINAL

Commande n° 4200071609



Le présent rapport correspond au livrable final de la commande n°4200071609.

La méthode suivie au cours de cette étude est celle établie lors de précédents travaux, notamment ceux réalisés en collaboration avec la CNR sur des casiers Girardon de l'île de la Platière et de Peyraud, dont le schématisme est rappelé ci-dessus et a déjà fait l'objet de présentation(s) dans des colloques scientifiques.



Méthodologie suivie au cours de cette étude (Caractérisation sédimentaire et estimation des volumes et quantités de PCB dans un casier Girardon (Rhône) : Optimisation par l'utilisation couplée de carottages et de profils GPR, IS Rivers 2015).

Ce rapport est présenté en trois parties distinctes, qui correspondent aux différentes étapes de la méthode suivie :

- **Partie A** : Acquisition, traitement et interprétation des radargrammes. Cette phase de travail permet (i) d'identifier les structures en place dans le remplissage sédimentaire, (ii) en corrélation avec l'étude diachronique, de présenter une chronologie des dépôts et (iii) de calculer les volumes de chaque structure ;

- **Partie B** : Prélèvement des archives sédimentaires. Cette phase a pu être réalisée de manière optimale suite aux résultats de la phase A. Trois archives sédimentaires ont été prélevées et analysées (analyses granulométriques) ;

- **Partie C** : Concentration en PCB_i dans la zone étudiée, et estimation de la masse de PCB comprise dans le casier. En couplant les analyses des radargrammes, le modèle pseudo-3D des structures sédimentaires et les résultats en PCB_i des échantillons prélevés, la pollution de chaque structure a pu être estimée, ainsi que la masse de polluants comprise dans le casier.

PARTIE A : ACQUISITION, TRAITEMENT ET INTERPRÉTATION DES PROFILS AU RADAR GÉOLOGIQUE ... 7

I – Introduction	14
I – 1. Contexte scientifique et objectifs de l'étude (phase A)	14
I – 2. Le site d'étude et les données existantes	14
II – Matériel et méthode	17
II – 1. Le radar géologique	17
II – 1.a. Principe physique du radar géologique	17
II – 1.b. Les différents modes d'acquisition	19
II – 1.b.i. Les différents types d'antenne	19
II – 1.b.ii. L'acquisition à offset constant	21
II – 1.c. Localisation des profils sur le site d'étude	21
II – 2. Les acquisitions au D-GPS	24
II – 2. a. Principe	24
II – 2. b. Plan d'implantation	25
II – 3. Le traitement du signal	26
II – 3.a. Le traitement au cours de l'acquisition	26
II – 3.b. Le traitement post-acquisition	28
II – 4. Le traitement 3D	30
III – Résultat(s) préliminaire(s) : les différents profils en fonction du type d'antenne	31
IV – Résultats	34
IV – 1. Interprétation de la position du toit des graviers	34
IV – 2. Interprétation du remplissage sédimentaire	41
IV – 2.a. Les types de structures rencontrées	41
IV – 2.b. Résultats de l'interprétation des radargrammes : les structures sédimentaires.	42
IV – 3. Relation entre les structures sédimentaires et l'étude diachronique	51
IV – 4. Le modèle 3D sous Rockworks	61
V – Synthèse et conclusion de la partie A	66

PARTIE B : PRÉLÈVEMENT, DESCRIPTION ET ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE DES TROIS ARCHIVES SÉDIMENTAIRES 67

I – Contexte scientifique et objectif de la phase B	71
II – Localisation des prélèvements par carottage	72

III – Matériel et méthodes	82
III – 1. Le carottage	82
III – 2. La description sédimentologique	82
III – 3. Les analyses granulométriques	82
IV – Résultats	84
IV – 1. La carotte DZR_1601	84
IV – 1. a. La description sédimentologique	84
IV – 1. b. Les analyses granulométriques	85
IV – 2. La carotte DZR_1602	86
IV – 2. a. La description sédimentologique	86
IV – 2. b. Les analyses granulométriques	87
IV – 3. La carotte DZR_1603	89
IV – 3. a. La description sédimentologique	89
IV – 3. b. Les analyses granulométriques	91
IV – 4. Relation avec les structures sédimentaires précédemment identifiées	92
V – Synthèse et conclusion	96

PARTIE C - RÉSULTATS DES ANALYSES PCBi ET ESTIMATION DE LA QUANTITÉ DE CES POLLUANTS COMPRISE DANS LA ZONE D'ÉTUDE

I – Contexte scientifique et objectif de la phase C	101
II – Rappel de la stratégie d'échantillonnage	102
III – Matériel et méthode	104
IV – Résultats	105
IV – 1. Résultats pour les dix échantillons prélevés	105
IV – 2. Estimation de la quantité de PCBi comprise dans la zone d'étude	107
IV – 3. Comparaison succincte avec les casiers Girardon de l'île de la Platière et de Peyraud	112
V – Conclusion de la partie c et synthèse générale de l'étude	115

PARTIE A

Annexe 1 – Rappels d'électromagnétique

Annexe 2 – Radargrammes traités, antenne de 100 MHz

Annexe 3 – Radargrammes traités, antenne de 200 MHz

Annexe 4 – Radargrammes traités, antenne de 400 MHz

PARTIE B

Annexe 1 – Éléments et définitions des termes de l'analyse granulométrique

Annexe 2 – Description lithologique des trois archives sédimentaires

Annexe 3 – Mesures granulométriques réalisées sur les carottes DZR_1601, DZR81602 et DZR_1603

PARTIE C

Annexe 1 – Résultats des analyses en PCB_i pour les 10 échantillons

PARTIE A

ACQUISITION, TRAITEMENT ET INTERPRÉTATION DES PROFILS AU RADAR GÉOLOGIQUE

I – Introduction	14
I – 1. Contexte scientifique et objectifs de l'étude (phase A)	14
I – 2. Le site d'étude et les données existantes	14
II – Matériel et méthode	17
II – 1. Le radar géologique	17
II – 1.a. Principe physique du radar géologique	17
II – 1.b. Les différents modes d'acquisition	19
II – 1.b.i. Les différents types d'antenne	19
II – 1.b.ii. L'acquisition à offset constant	21
II – 1.c. Localisation des profils sur le site d'étude	21
II – 2. Les acquisitions au D-GPS	24
II – 2. a. Principe	24
II – 2. b. Plan d'implantation	25
II – 3. Le traitement du signal	26
II – 3.a. Le traitement au cours de l'acquisition	26
II – 3.b. Le traitement post-acquisition	28
II – 4. Le traitement 3D	30
III – Résultat(s) préliminaire(s) : les différents profils en fonction du type d'antenne	31
IV – Résultats	34
IV – 1. Interprétation de la position du toit des graviers	34
IV – 2. Interprétation du remplissage sédimentaire	41
IV – 2.a. Les types de structures rencontrées	41
IV – 2.b. Résultats de l'interprétation des radargrammes : les structures sédimentaires.	42
IV – 3. Relation entre les structures sédimentaires et l'étude diachronique	51
IV – 4. Le modèle 3D sous Rockworks	61
V – Synthèse et conclusion de la partie A	66
Liste des annexes	10
Liste des figures	10
Liste des tableaux	11

- Annexe 1** – Rappels d'électromagnétique
- Annexe 2** – Radargrammes traités, antenne de 100 MHz
- Annexe 3** – Radargrammes traités, antenne de 200 MHz
- Annexe 4** – Radargrammes traités, antenne de 400 MHz

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation du casier Girardon investigué (source : Géoportail)	14
Figure 2 : Étude diachronique des casiers aux abords des lônes de Dion et de Malaubert (source : CNR)	16
Figure 3 : Nombre d'articles publiés en rapport avec le radar géologique en fonction des années (Néal, 2004)	17
Figure 4 : Exemple de radargramme interprété : profil dans la grave-gneiss14/20 (coupe théorique, réglages, profil traité, interprétation) d'après Bièvre & Maurin, 2002	18
Figure 5 : le SIR-3000 au premier plan, et de gauche à droite les antennes de 100, 200 et 400 Mhz	19
Figure 6 : Acquisition à offset constant (Neal, 2004)	22
Figure 7 : Localisation des transects réalisés au radar géologique le casier Girardon 15 de Donzère-Mondragon	23
Figure 8 : Photos des différents transects	24
Figure 9 : Transects investigués localisés sur le LIDAR (dalles 27, 28, 29 et 30)	25
Figure 10 : Principe de fonctionnement du D-GPS (source : National Oceanic and Atmospheric Administration)	26
Figure 11 : Positionnement de chacun des points levés au D-PPS ou GPS	26
Figure 12 : Réflecteurs radar et bruit de fond sur un radargramme	28
Figure 13 : Les différents traitements appliqués aux profils radar du casier Girardon de Donzère-Mondragon (profil L1, antenne de 400 MHz)	33
Figure 14 : Profil L1 traité du casier de Donzère-Mondragon pour a) l'antenne de 400 MHz, b) l'antenne de 200 MHz et c) l'antenne de 100 MHz (en jaune, zone identique identifiée sur chaque radargramme de 20 mètres de long et de 2 mètres de profondeur, avec une exagération verticale de 4,5)	36
Figure 15 : Comparaison de la position du toit des graviers (trait jaune) entre a) les sondages à la perche et b) l'interprétation du radargramme sur le profil T1 (antenne de 100 MHz) sur le casier de Peyraud	37
Figure 16 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur les radargrammes L1 et L2 de l'antenne de 100 MHz sur le casier de Donzère-Mondragon	38
Figure 17 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur le radargramme L3 de l'antenne de 100 MHz sur le casier de Donzère-Mondragon	39
Figure 18 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur les radargrammes T1 et T2 de l'antenne de 100 MHz sur le site de Donzère-Mondragon	40
Figure 19 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur les profils T3 et T4 de l'antenne de 100 MHz sur le site de Donzère-Mondragon	43
Figure 21 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil L2 (antenne de 200 MHz)	44
Figure 22 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T1 (antenne de 200 MHz)	45
Figure 23 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T2 (antenne de 200 MHz)	46

Figure 24: Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T3 (antenne de 200 MHz)	47
Figure 25 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T4 (antenne de 200 MHz)	48
Figure 26 : Profil longitudinal L3 selon a) les transects d'acquisition et b) selon un seul transect continu	50
Figure 27 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil L3 (antenne de 200 MHz)	51
Figure 28 : Remplissage du casier de la zone d'étude de Donzère-Mondragon en fonction des différentes fenêtres temporelles identifiées par l'étude diachronique (en couleur : structures déposées dans la période considérée ; en gris : structures déposées dans les périodes temporelles postérieures)	53
Figure 29: Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon en 1901 (Branciard) (en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes temporelles postérieures)	55
Figure 30 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1901 à 1947 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures)	56
Figure 31: Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1947 à 1961 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)	57
Figure 32 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1961 à 1972 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)	58
Figure 33 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1972 à 1982 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)	59
Figure 34 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1982 à 2009 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)	60
Figure 35 : Représentation dans l'espace des profils de l'antenne de 200 MHz avec les structures sédimentaires identifiées et colorisées (Rockwoks) ; zoom sur le profil L1 pour illustrer le parfait recoupement des structures avec T1, T2, T3 et T4	61
Figure 36 : Modèle en 3D du remplissage sédimentaire de la zone investiguée	62
Figure 37 : Pourcentage de chaque structure sédimentaire (en volume)	64
Figure 38 : Représentation dans l'espace des volumes de la majorité des structures sédimentaires de la zone investiguée	65

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Résolution verticale et profondeur de pénétration théoriques en fonction de la fréquence d'antenne dans les sédiments (Jol et Bristow, 1995 et 2003)	21
--	-----------

Tableau 2 : Caractéristiques principales des transects investigués	23
Tableau 3 : Taille de la fenêtre d'acquisition en fonction de la fréquence d'antenne	27
Tableau 4 : Nombre de scans par seconde en fonction de la fréquence de l'antenne	27
Tableau 5 : Filtres appliqués lors de l'acquisition en fonction de la fréquence de l'antenne	27
Tableau 6 : Filtres et stack horizontal appliqués aux radargrammes du casier Girardon de Donzère-Mondragon	29
Tableau 7 : Exploitation préférentielle des radargrammes pour chaque antenne	32
Tableau 8 : Profondeur du toit des graviers mesurée par les sondages à la perche et coordonnées en Lambert 93 des points de sondage	34
Tableau 9 : Les différents faciès sédimentaires de la zone d'étude de Donzère-Mondragon	41
Tableau 10 : Grille de lecture de l'interprétation des structures sédimentaires sur les sept radargrammes de l'antenne de 200 MHz et leur couleur associée	42
Tableau 11 : Période de dépôt de chacune des structures sédimentaires rencontrées sur l'ensemble des sept profils sur la zone étudiée de Donzère-Mondragon	54
Tableau 12 : Volume dans chaque fenêtre temporelle pour chaque structure sédimentaire identifiée (en m3)	63

I – 1. CONTEXTE SCIENTIFIQUE ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

Afin d'améliorer la navigation sur le Rhône, des travaux d'aménagement fluviaux (dits casiers Girardon) ont été entrepris au XIX^e siècle dans le but de contraindre et de réduire la bande active du fleuve, avec pour conséquences actuelles un exhaussement des berges, une limitation des échanges fleuve/nappe, une banalisation des milieux par la disparition progressive des bras secondaires ou des îlons, une augmentation des risques d'inondation, etc. Dans ce contexte, les marges alluviales actuelles font l'objet de projets de réhabilitation (cadre du Plan Rhône, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux) qui intègrent le démantèlement de ces casiers.

Afin de quantifier la présence de polluants organiques comprise dans ce type d'aménagement, une étude a été réalisée sur un casier Girardon de Donzère-Mondragon afin de mettre en évidence (i) une dynamique de remplissage sédimentaire du casier par analyse diachronique de l'avancement des berges, et (ii) une chronique historique de pollution en PCBi.

La partie A s'articule selon les chapitres suivants :

- le premier chapitre présente le site d'étude ;
- le deuxième chapitre, après un rappel de la théorie du radar géologique, décrit les méthodes employées au cours de l'étude concernant l'acquisition des données et le type d'antennes utilisées, les différentes phases de traitement du signal et la construction du modèle 3D du remplissage sédimentaire ;
- le troisième chapitre présente le résultat dit préliminaire : les caractéristiques de chaque antenne et leur utilisation respective ;
- le quatrième chapitre présente (i) les résultats de l'interprétation de la position du toit des graviers et (ii) l'utilisation d'un modèle 3D de la structure du remplissage sédimentaire du casier investigué, qui aura pour but l'estimation ultérieure de la masse de PCBi.

I – 2. LE SITE D'ÉTUDE ET LES DONNÉES EXISTANTES

Le site investigué lors de cette étude est un casier Girardon de Donzère-Mondragon, en rive gauche du Rhône (cf. fig. 1).

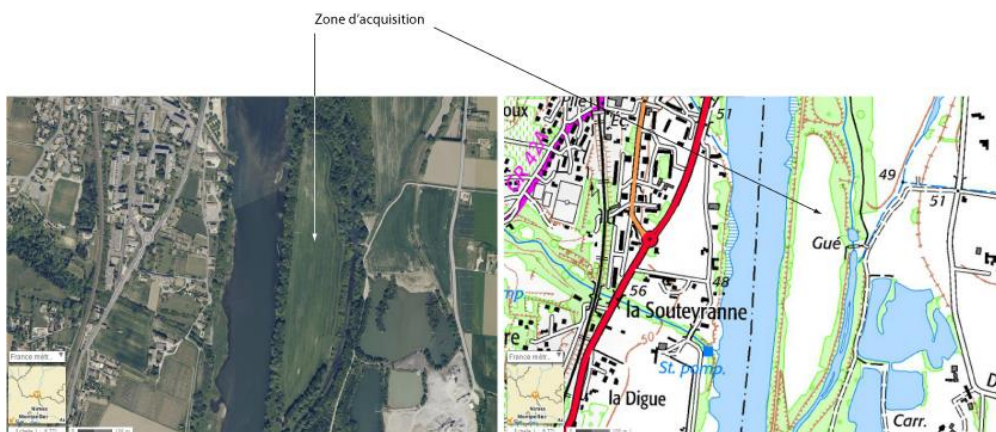


Figure 1 : Localisation du casier Girardon investigué (source : Géoportail)

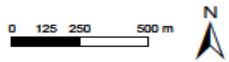
Peu d'informations étaient disponibles sur ce site ; la CNR a cependant fourni le LIDAR de la zone étudiée, les résultats de sondages à la perche ainsi qu'une cartographie de l'évolution de la position de la berge dans le temps (cf. fig. 2). Le casier investigué est le casier n°15.

L'étude de la diachronie du remplissage renseigne six périodes différentes :

- en 1901 (Branciard) : le remplissage est uniquement composé d'éléments grossiers (galets et graviers), et un bras du Rhône est toujours en eau dans la partie latérale Est du casier ;
- de 1901 à 1947 : le casier se comble progressivement par accrétion latérale, avec la présence d'une végétation arborée dans la partie latérale Ouest. Le bras précédemment en eau s'assèche également ;
- de 1947 à 1961 : le casier se comble entièrement au cours de ces quatorze ans, avec la présence d'une végétation ligneuse mixte et une végétation pionnière arbustive dans l'ancien cours du bras ;
- de 1961 à 1972 : début de la période d'exploitation agricole. L'ancien bras du Rhône présente à son tour une végétation ligneuse ;
- de 1972 à 1982 : peu d'évolution du remplissage du casier, avec toujours une exploitation agricole. Début du comblement des épis ;
- de 1982 à 2009 : le bras latéral est à nouveau mis en eau, au milieu d'une végétation arborée. L'exploitation du casier est toujours agricole.

Ce casier Girardon présente donc deux zones distinctes, avec deux fonctionnements sédimentaires différents :

- une partie latérale Ouest, la plus proche du fleuve Rhône, avec un comblement latéral dans la première moitié du XXème siècle ;
- une partie latérale Est, traversée par un bras, actif jusqu'en 1950 environ, asséché pendant une cinquantaine d'année, puis actif de nouveau depuis le début du XXIème siècle ; la sédimentation dans cette partie du casier ne s'effectuera pas en accrétion latérale mais plus en lente accrétion verticale, avec des possibilités de remaniement des particules les plus fines.



Restauration des îlots et marges alluviales du Vieux-Rhône de Donzère-Mondragon Casiers aux abords des îlots de Dion et Malaubert. Etude diachronique
Janvier 2014 CMR/CMO Plan I0076400129

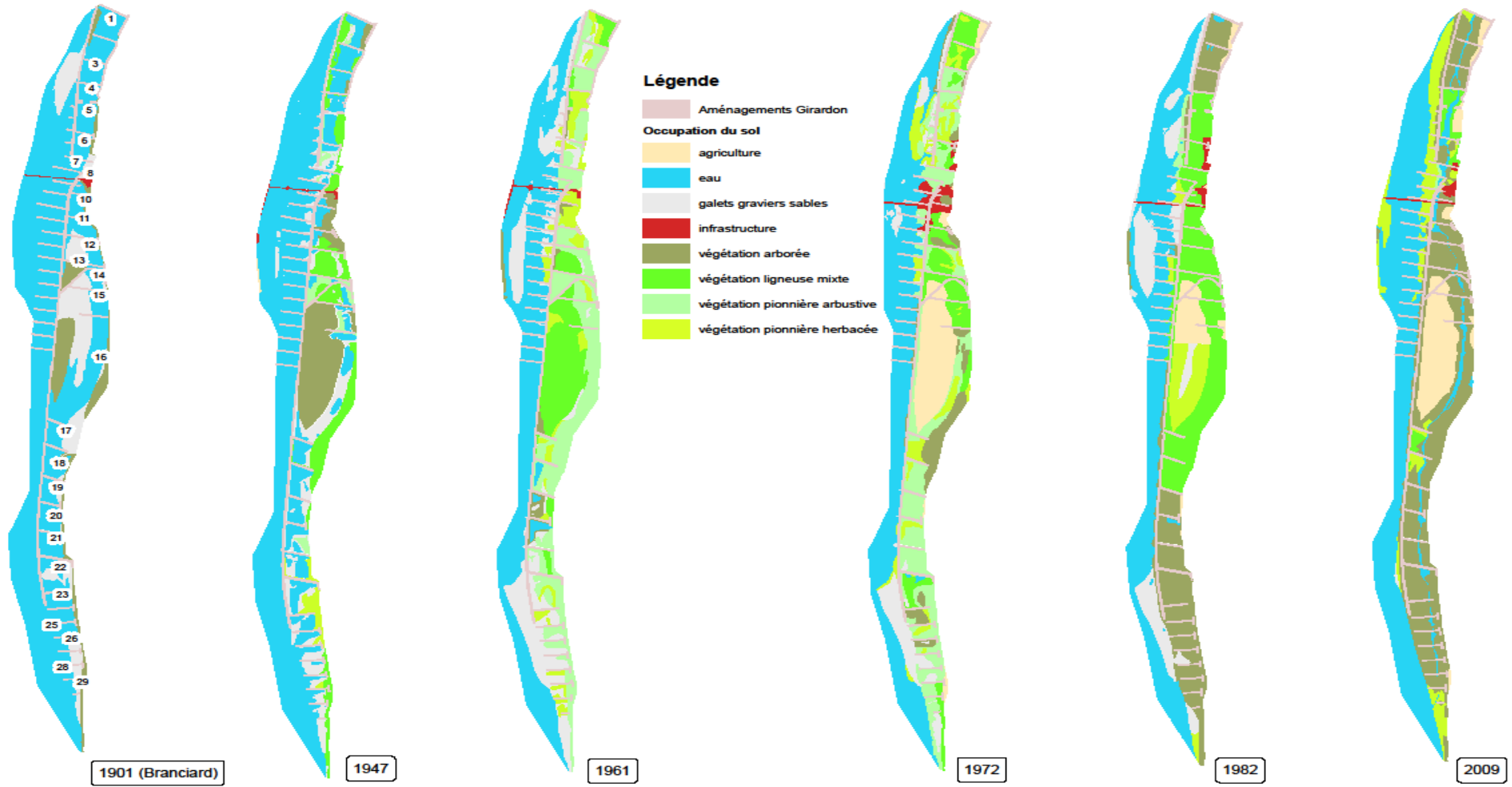


Figure 2 : Étude diachronique des casiers aux abords des îlots de Dion et de Malaubert (source : CNR)

II – 1. LE RADAR GÉOLOGIQUE

Le radar géologique ou Ground Penetrating Radar (GPR) est employé dans de nombreux domaines :

- ✓ le génie civil pour la recherche d'armatures métalliques dans le béton, ou encore pour la recherche de canalisations lors de travaux ;
- ✓ en géologie pour la compréhension des mécanismes tectoniques, l'étude des structures sédimentaires de lacs, de fleuves, de rivières ;
- ✓ en hydrogéologie pour la localisation d'un niveau de nappe (contraste eau/sédiments important).

Dans cette partie de présentation de la méthode, l'intérêt est plus particulièrement porté sur l'application du radar géologique (GPR : Ground Penetrating Radar) dans les dépôts sédimentaires. Depuis les années 1990, le nombre d'articles traitant de son utilisation dans un tel contexte est significativement croissant (Néal, 2004, **cf. fig. 3**).

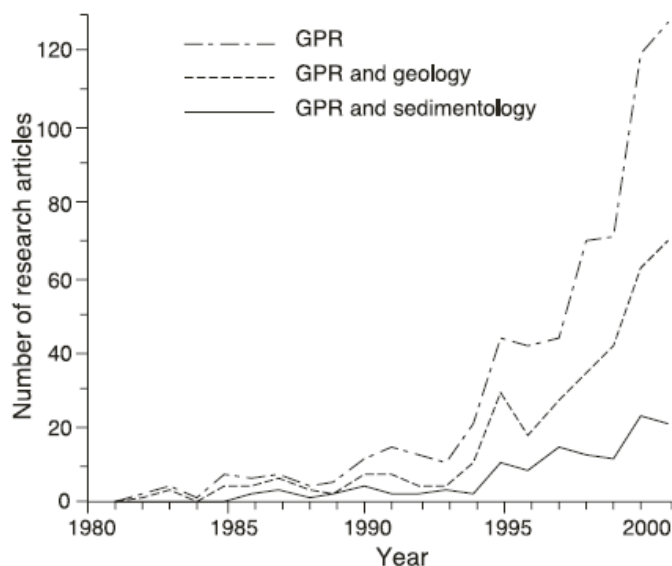


Figure 3 : Nombre d'articles publiés en rapport avec le radar géologique en fonction des années (Néal, 2004)

Pour des rappels plus approfondis d'électromagnétique, se reporter à l'**Annexe 1**. Le radar géologique est utilisé pour déterminer la géométrie de dépôts sédimentaires : étude du régime dynamique d'un fleuve (Loire : Gourry, 2003), visualisation de la structure globale des sédiments d'un cours d'eau (Wisconsin : Mumpy, 2007) détermination de la position du toit d'une nappe.

Le GPR peut venir compléter d'autres méthodes géophysiques. Il est souvent couplé à la résistivité électrique qui permet de réaliser une cartographie des différentes résistivités électriques dans les strates de sédiments pour identifier les structures (Gourry, 2003).

II – 1.a. Principe physique du radar géologique

La technique du radar géologique permet d'obtenir une image de la sub-surface 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 (ou les sols) 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 (Daniels, 1996). 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 (cf. fig. 4).

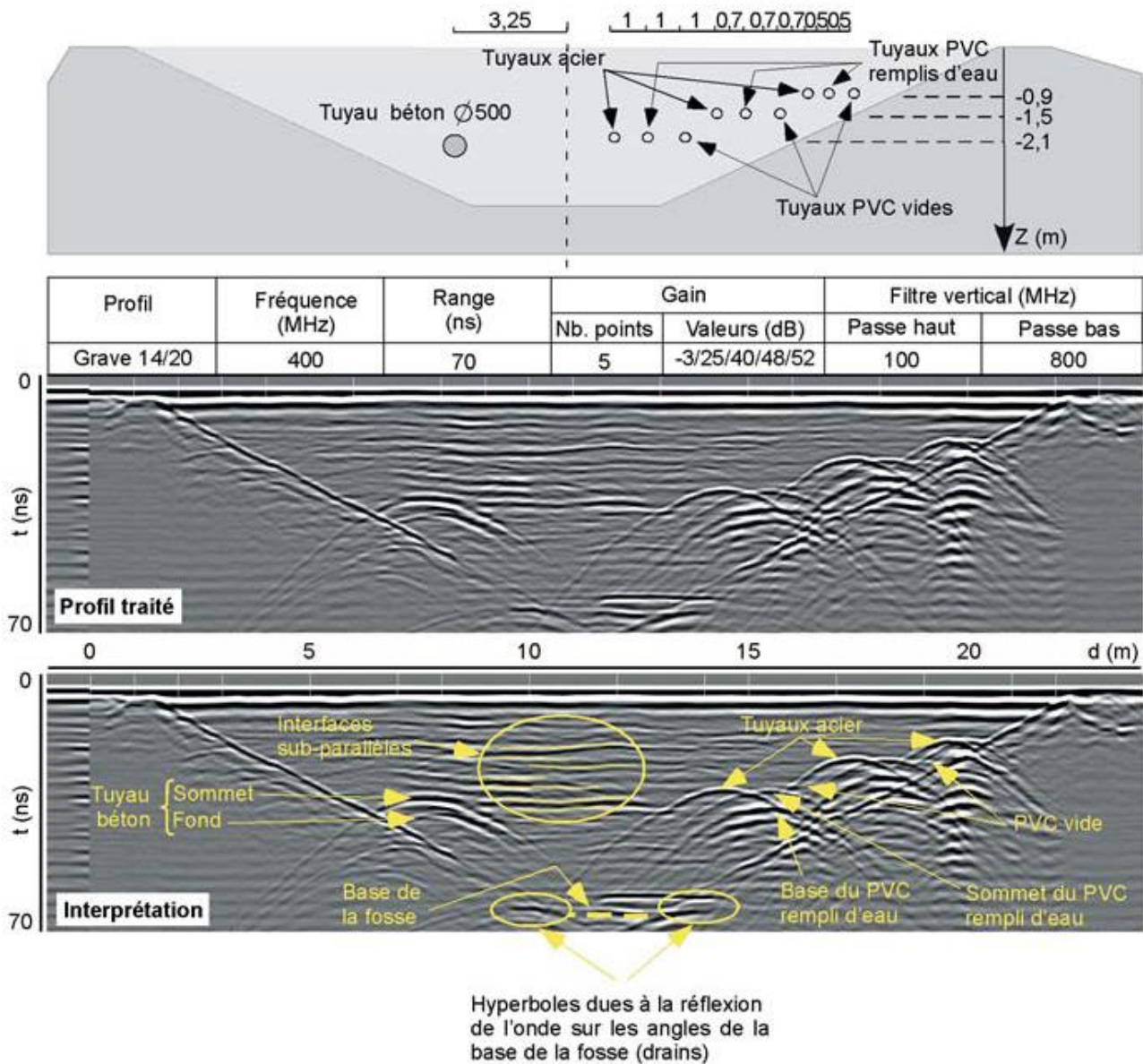


Figure 4 : Exemple de radargramme interprété : profil dans la grave-gneiss14/20 (coupe théorique, réglages, profil traité, interprétation) d'après Bièvre & Maurin, 2002

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 :

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (1)$$

avec v = vitesse de l'onde électromagnétique en m/s
 c = célérité de la lumière dans le vide ($3 \cdot 10^8$ m/s)
 ϵ_r = permittivité relative (sans dimension)

Plus un matériau est humide, plus la vitesse de propagation est lente (Cariou et al., 1997) ; 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).

II – 1.b. Les différents modes d'acquisition

II – 1.b.i. Les différents types d'antenne

Nous avons utilisé un radar géologique de la marque GSSI (SIR-3000) du laboratoire LEHNA-IPE. 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 seront utilisés dans le cadre de cette étude : 100, 200 et 400 MHz (cf. fig. 5).



Figure 5: le SIR-3000 au premier plan, et de gauche à droite les antennes de 100, 200 et 400 Mhz

Les paramètres suivants déterminent le choix de ces antennes :

✓ La profondeur de pénétration

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 réfléchie 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.

✓ **La résolution verticale de l'antenne**

Il existe une relation entre la profondeur d'investigation possible et la résolution qui sont liées à la longueur d'onde émise (Leparoux, 1997). 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) (Neal, 2004). 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 $v = \lambda.f$, 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.

✓ **La sensibilité de la méthode**

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-walkies...) 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.

Le choix de l'antenne dans l'étude sera primordial pour obtenir un compromis satisfaisant entre la profondeur de pénétration (qui est d'autant plus importante que la fréquence baisse) et la résolution (qui est d'autant plus importante que la fréquence augmente).

Au cours de cette étude, trois types d'antenne ont été utilisés : 100 MHz, 200 MHz et 400 MHz. Leurs ordres de grandeur respectifs des résolutions verticales et des profondeurs d'investigation (théoriques) sont synthétisés dans le **tableau 1**.

Tableau 1: Résolution verticale et profondeur de pénétration théoriques en fonction de la fréquence d'antenne dans les sédiments (Jol et Bristow, 1995 et 2003)

Type d'antenne	Ordre de grandeur des résolutions verticales théoriques	Ordre de grandeur des profondeurs d'investigation théoriques
100 MHz	60 cm	10 – 15 m
200 MHz	30 cm	5 – 6 m
400 MHz	15 cm	3 – 4 m

II – 1.b.ii. L'acquisition à offset constant

N'est décrit dans cette partie que le mode d'acquisition utilisé au cours de cette étude : l'acquisition à offset constant. Il en existe cependant d'autres : l'acquisition en source commune, l'acquisition en récepteur commun et le Common Mid Point (CMP). Ce dernier mode permet de déterminer la vitesse de propagation des ondes dans le milieu, et de transformer l'échelle verticale en temps (nanosecondes) des radargrammes en échelle verticale en profondeur (mètres). Le mode CMP a été utilisé dans des études antérieures sur un casier Girardon de l'île des Graviers sur l'île de la Platière et sur un casier de Peyraud ; la même vitesse de propagation des ondes a été utilisée pour cette étude, en faisant l'hypothèse de la même nature de remplissage.

Dans le mode d'acquisition à offset constant utilisé sur le casier Girardon de Donzère-Mondragon, la distance entre l'antenne émettrice et l'antenne réceptrice est constante (cf. fig. 6)

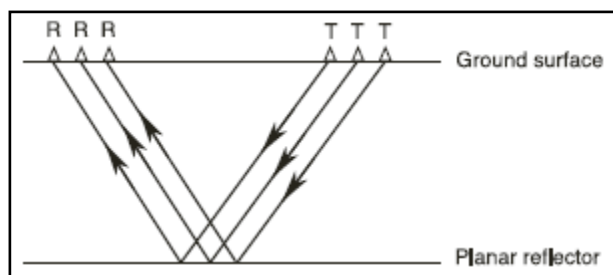


Figure 6: Acquisition à offset constant (Neal, 2004)

Lorsque le radar est déplacé le long d'un profil rectiligne, la juxtaposition des enregistrements successifs forme une section radar ou coupe-temps (radargramme). Sur cette dernière, la coordonnée horizontale est la position du radar le long du profil, la coordonnée verticale, orientée vers le bas, est le temps d'aller-retour de l'onde dans les milieux investigués (cf. fig. 6).

II – 1.c. Localisation des profils sur le site d'étude

Un des buts de cette étude est de réaliser une caractérisation de la géométrie du remplissage sédimentaire du casier avec un nombre de profils réduit. Uniquement sept transects ont donc été réalisés. La figure 7 présente le positionnement de ces transects (source : Google Earth), et le tableau 2 synthétise leurs principales caractéristiques. La figure 8 illustre les différents transects tels que rencontrés sur le terrain.

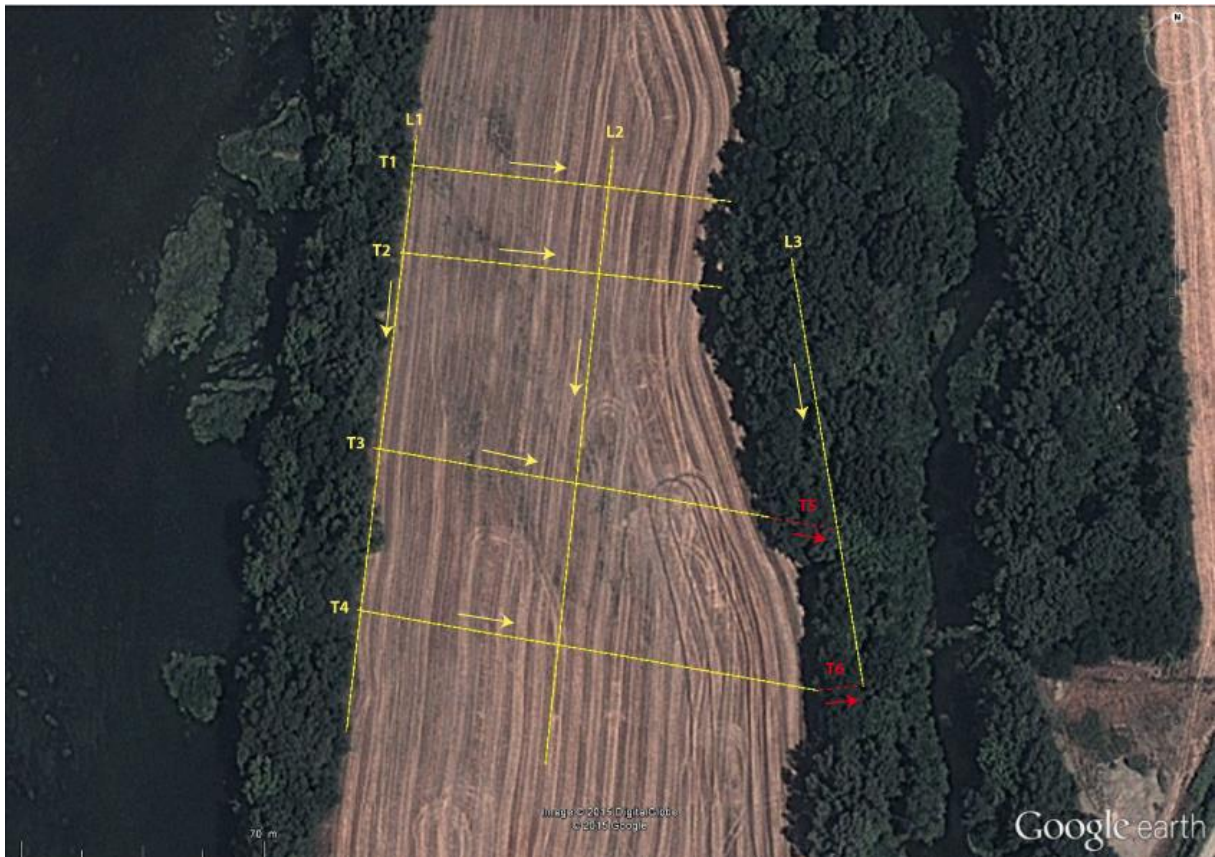


Figure 7 : Localisation des transects réalisés au radar géologique le casier Girardon 15 de Donzère-Mondragon

Les transects se caractérisent comme suit :

- trois transects longitudinaux, du Rhône vers la berge : L1 (170 mètres) et L2 (175 mètres) dans la partie latérale du casier occupée par une exploitation agricole, L3 (120 mètres) dans la partie latérale occupée par une végétation arborée, proche du bras du Rhône ;
- quatre transects transversaux, du Nord vers le Sud : T1 (95 mètres), situé proche de la digue transversale qui sépare le casier n°15 du casier n°14 plus au Nord, T2 (95 mètres), T3 (115 mètres) et T4 (135 mètres). Ces quatre transects sont situés dans la zone agricole.

Deux transects supplémentaires courts, T5 et T6 (15 mètres chacun) ont été réalisés dans la continuité de T3 et de T4 respectivement. Le but de ces transects est de renseigner la géométrie du bourrelet (sableux ?) qui sépare les deux parties du casier (la partie latérale Ouest et la partie latérale Est).

Les trois transects longitudinaux L1, L2 et L3, ainsi que les quatre transects transversaux T1, T2, T3 et T4 ont pu être investigués avec les antennes de 400, 200 et 100 MHz. En raison de l'importance de la végétation arborée, le transect T5 n'a pu être investigué qu'avec l'antenne de 400 MHz, et le transect T6 avec les antennes de 400 et 200 MHz.

Pour l'ensemble des transects, une longueur totale de 2,76 km a été investiguée.

Tableau 2 : Caractéristiques principales des transects investigués

Nom du transect	Longueur (en mètres)	Coordonnées du point de départ (lat., long.)	Coordonnées du point d'arrivée (lat., long.)	Fréquence de l'antenne utilisée
L1	170	44,363676° 4,649949°	44,64969792° 4,64969792°	400, 200 et 100 MHz
L2	175	44,363644° 4,65067°	44,362086° 4,650427°	400, 200 et 100 MHz
L3	120	44,363359° 4,651311°	44,362294° 4,65156201°	400, 200 et 100 MHz
T1	95	44,36360355° 4,64992484°	44,36350045° 4,65109394°	400, 200 et 100 MHz
T2	95	44,36338170° 4,64988449°	44,36328314° 4,65106236°	400, 200 et 100 MHz
T3	115	44,36288488° 4,64979912°	44,3627088° 4,65123077°	400, 200 et 100 MHz
T4	135	44,362475633° 4,64974167°	44,362283° 4,65140201°	400, 200 et 100 MHz
T5	15	44,3627088° 4,65123077°	44,362663° 4,651471°	400 MHz
T6	15	44,362283° 4,65140201°	44,362294° 4,65156201°	400 et 200 MHz



Figure 8 : Photos des différents transects

La figure 9 présente la localisation de ces mêmes transects sur le LIDAR de la zone de Donzère-Mondragon transmis par la CNR (cf. Acquisition de données topographiques haute résolution par technologie Lidar et bathymétries, Opsia Méditerranée). Ne sont reportées sur cette figure que les dalles 27, 28, 29 et 30.

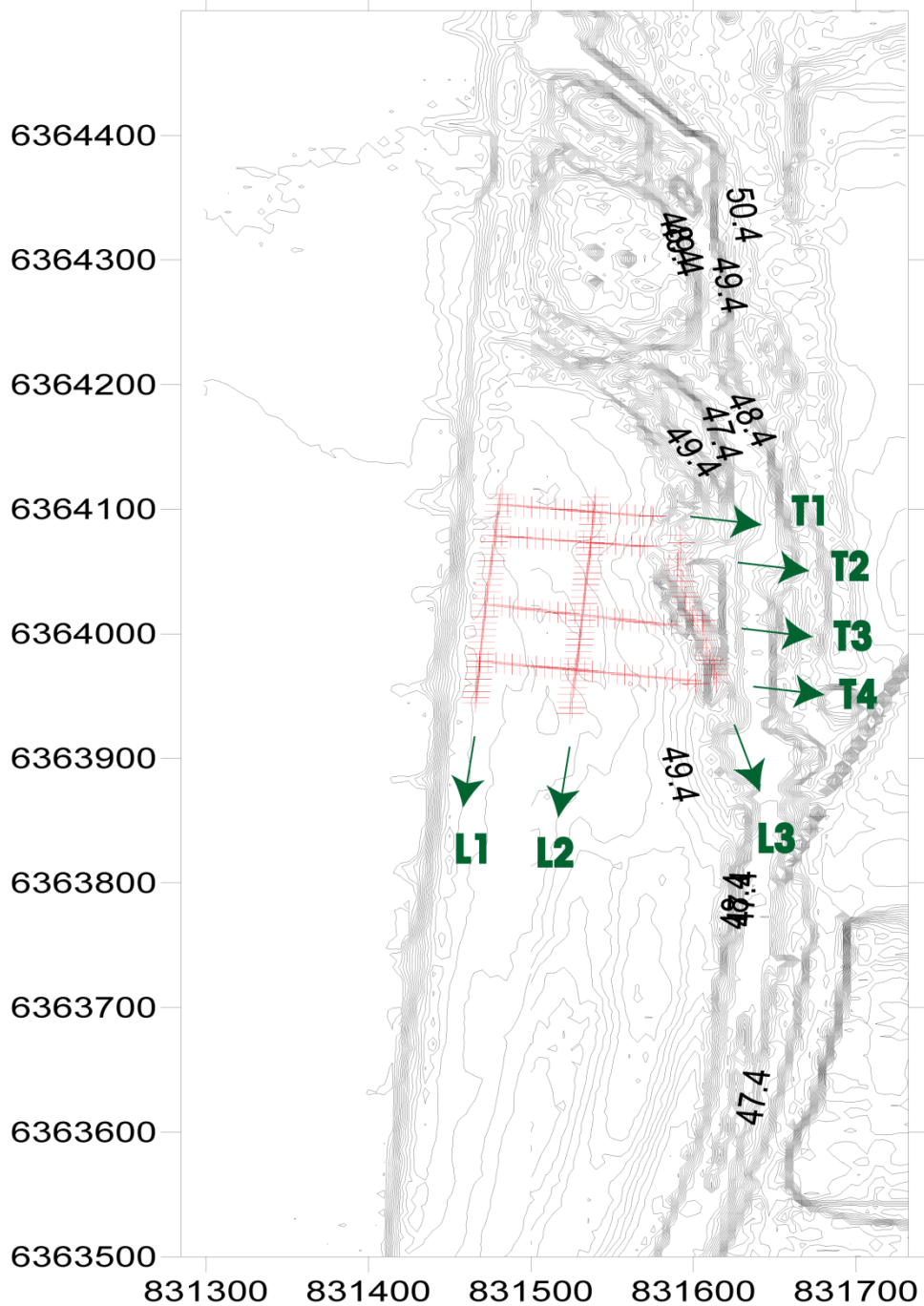


Figure 9: Transects investigués localisés sur le LIDAR (dalles 27, 28, 29 et 30)

II - 2. LES ACQUISITIONS AU D-GPS

II - 2. a. Principe

Le GPS différentiel (en anglais Differential Global Positioning System : DGPS) est une amélioration du GPS. Il utilise un réseau de stations fixes de référence qui transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues (cf. fig. 10). Le récepteur reçoit la différence entre les pseudo-distances mesurées par les satellites et les véritables pseudo-distances et corrige ainsi ses mesures de positions.

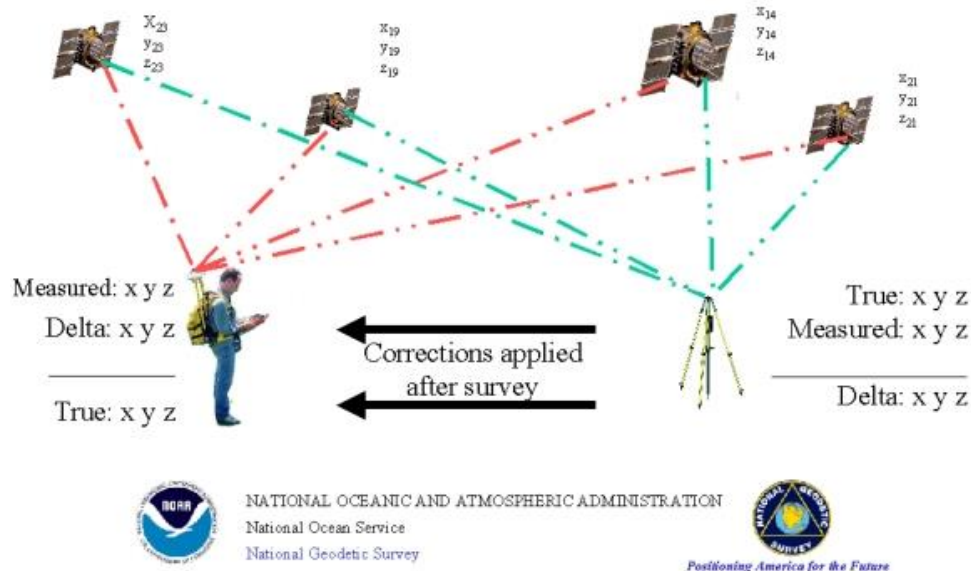


Figure 10 : Principe de fonctionnement du D-GPS (source : National Oceanic and Atmospheric Administration)

Le principe du DGPS est basé sur le fait qu'en des points voisins, les effets des erreurs de mesure, comme d'ailleurs les effets des erreurs ajoutées volontairement, sont très semblables : il suffit donc d'observer en un point connu les fluctuations des mesures, et de les transmettre à un récepteur observant les mêmes satellites, pour permettre à celui-ci de corriger une grande partie des erreurs de mesure, qu'elles soient liées au satellite (horloge), aux conditions de propagation (effets troposphériques...) ou à des fluctuations volontaires du signal émis. On peut ainsi passer d'une précision de l'ordre de 10 à 20 mètres à une précision de 5 à 3 mètres sur une grande zone (plusieurs centaines de kilomètres). Le DGPS est basé sur un ensemble de stations fixes, dont la position est connue exactement ; elles reçoivent les signaux des mêmes satellites que les terminaux mobiles présents dans leur zone d'action, et elles estiment en permanence l'erreur locale de positionnement du GPS en comparant la position calculée avec leur position réelle. Cette information est transmise par radio ou par satellite (Inmarsat ou autre).

Le mode « différentiel » existe en plusieurs variantes ; la plus élaborée utilise la mesure de la phase des signaux reçus (GPS RTK), et non le code binaire pour calculer les pseudo-distances ; à partir d'une station située sur un point connu ou d'un réseau de stations permanentes de référence distants de quelques kilomètres, on obtient ainsi à l'aide du GPS des positions précises à quelques centimètres près dans les trois dimensions (GPS géodésique ou cinématique), ce qui permet de l'utiliser non seulement pour des levés, mais aussi pour des implantations en topographie. On peut même atteindre quelques millimètres avec des logiciels de traitement très élaborés utilisés en temps différé.

II – 2. b. Plan d'implantation

Pour les besoins de traitement des radargrammes (et surtout la normalisation en distance), un « top » a été marqué tous les 5 mètres le long de chaque profil. Nous avons donc relevé les coordonnées de ces points en X, Y et Z à l'aide d'un D-GPS Trimble, dans le système de coordonnées WGS84 UTM Nord fuseau 31), soit un total de 148 points. En raison de la végétation, le D-GPS n'a pas pu être utilisé sur tous les relevés, les points manquants ont alors été levés au GPS Garmin (essentiellement le long du transect L3).

La **figure 11** présente le positionnement de chacun des points dont les coordonnées ont été relevées.

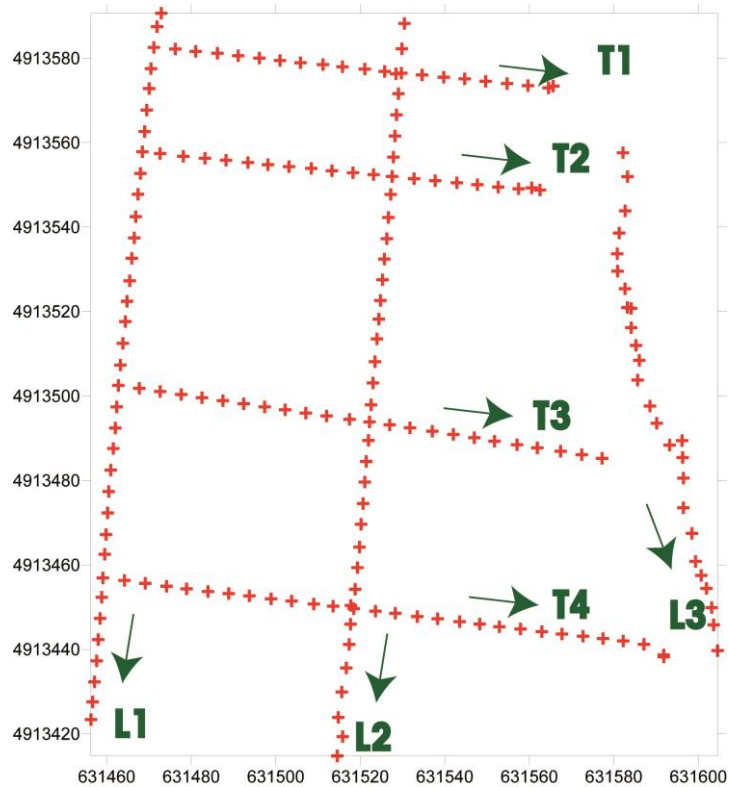


Figure 11 : Positionnement de chacun des points levés au D-PPS ou GPS

II – 3. LE TRAITEMENT DU SIGNAL

II – 3.a. Le traitement au cours de l'acquisition

Différents traitements ont été appliqués sur les profils dès la phase d'acquisition sur le terrain, à partir du SIR-3000.

✓ La taille de la fenêtre d'acquisition

Chaque antenne permet d'investiguer une profondeur spécifique dans les sédiments ; à partir d'une certaine profondeur de pénétration, le signal est trop atténué pour pouvoir distinguer les différents réflecteurs, le bruit de fond étant prédominant (cf. fig. 12). Le choix d'une fenêtre d'acquisition adéquate permet de visualiser le maximum de signal avec le minimum de bruit de fond.

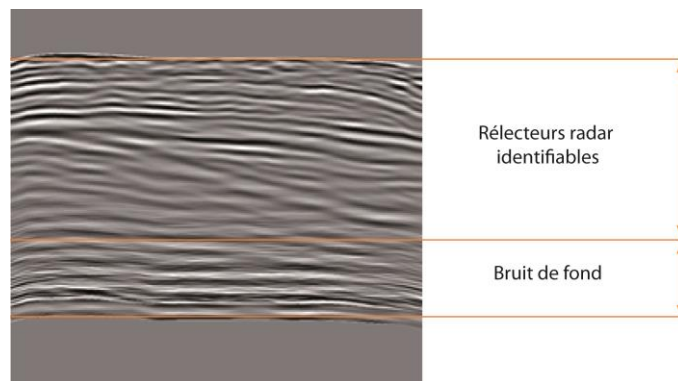


Figure 12 : Réflecteurs radar et bruit de fond sur un radargramme

Les choix des fenêtres d'acquisition sont synthétisés dans le **tableau 3** :

Tableau 3 : Taille de la fenêtre d'acquisition en fonction de la fréquence d'antenne

Fréquence d'antenne	Taille de la fenêtre d'acquisition
400 Mhz	75 ns
200 Mhz	100 ns
100 Mhz	150 ns

✓ **Nombre de scans par seconde**

Le nombre de scan par seconde détermine le nombre d'aller-retour de l'onde en une seconde ; plus ce paramètre est élevé, plus le nombre de données collectées est important, et plus la taille des fichiers est volumineuse. Ce paramètre doit donc être optimisé afin de fournir un nombre de données satisfaisant dans un temps de transfert des fichiers raisonnable.

Les choix des nombres de scans par seconde sont synthétisés dans le **tableau 4** :

Tableau 4 : Nombre de scans par seconde en fonction de la fréquence de l'antenne

Fréquence d'antenne	Nombre de scans par seconde
400 Mhz	120 scans/s
200 Mhz	64 scans/s
100 Mhz	30 scans/s

✓ **Les filtres passe-haut et les filtres passe-bas**

L'objectif de l'application de ces filtres est de couper les fréquences des ondes réfléchies et reçues par l'antenne réceptrice afin de minimiser le bruit de fond. Le filtre passe-haut permet de couper les fréquences inférieures à une fréquence déterminée ; le filtre passe-bas les fréquences supérieures à une fréquence déterminée. Les filtres appliqués lors de la phase d'acquisition sont ceux fixés par la notice d'utilisation du système d'acquisition (SIR-3000) et sont synthétisés dans le **tableau 5** :

Tableau 5: Filtres appliqués lors de l'acquisition en fonction de la fréquence de l'antenne

Fréquence d'antenne	Filtre passe-haut	Filtre passe-bas
400 Mhz	100 MHz	800 MHz
200 Mhz	50 MHz	600 MHz
100 Mhz	25 MHz	300 MHz

✓ **Autres traitements**

Les autres traitements appliqués sont réversibles lors de la phase de traitement post-acquisition avec le logiciel Radan. On peut distinguer :

- la modification de l'offset : ce traitement permet de fixer la surface du remplissage, par l'identification sur le radargramme du premier réflecteur important. Ce réflecteur est dû au passage de l'onde entre deux milieux aux permittivités diélectriques très différentes (air/sédiment) ;

- changement du gain : ce paramètre permet de visualiser de façon optimale les radargrammes sur le site d'acquisition ;
- les taux de transmission : ils ont été fixés à 100 kHz pour les antennes de 400, 200 et 100 MHz.

II – 3.b. Le traitement post-acquisition

Une fois la phase d'acquisition finalisée, la phase de traitement post-acquisition des radargrammes va permettre de visualiser les différents réflecteurs afin de faciliter leur identification et leur interprétation. Ces traitements sont décrits dans le présent chapitre dans leur ordre d'application (**cf. fig. 13**).

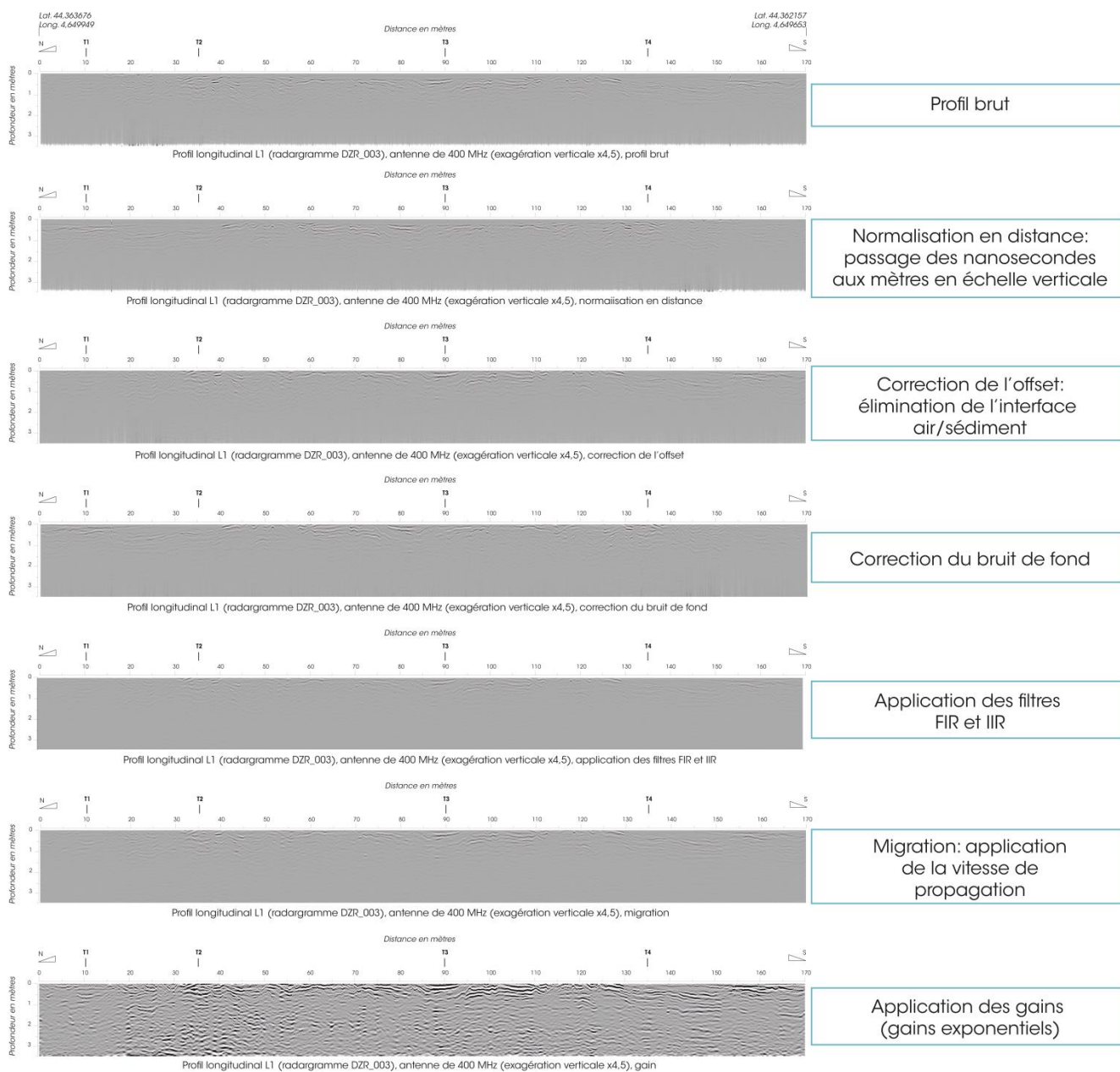


Figure 13 : Les différents traitements appliqués aux profils radar du casier Girardon de Donzère-Mondragon (profil L1, antenne de 400 MHz)

✓ La normalisation en distance

La normalisation en distance permet d'appliquer une échelle horizontale constante entre deux points. Ces points ont été marqués lors de l'acquisition tous les 5 mètres sur le site de Donzère-Mondragon. Ces points sont identifiés comme des « mark » sous le logiciel Radan.

✓ **La correction de l'offset**

Cette correction est appliquée à la fois pendant la phase d'acquisition (cf. II-4.a.) et la phase de traitement. Elle permet de redéfinir la position de la surface en retirant le réflecteur air/sédiment.

✓ **Correction du bruit de fond**

Une correction du bruit de fond a été appliquée de façon homogène sur chaque radargramme, en full pass.

✓ **L'application des filtres**

Aucune déconvolution n'a été appliquée sur les radargrammes, car le signal était suffisamment bon, sans présence de réflecteurs multiples. Le signal des profils a pu être cependant encore amélioré. Les filtres choisis lors de la phase d'acquisition (filtres FIR) ont été appliqués à nouveau, ainsi qu'un « stack » qui somme un certain nombre de scans et lisse les profils en retirant les éventuels réflecteurs parasites.

Les choix des différentes familles de filtres ainsi que leurs valeurs sont synthétisés dans le **tableau n°6** :

Tableau 6: Filtres et stack horizontal appliqués aux radargrammes du casier Girardon de Donzère-Mondragon

Traitement		Casier n°15 de Donzère-Mondragon		
Type d'antenne		100 MHz	200 MHz	400 MHz
FIR	Low	300 MHz	600 MHz	800 MHz
	High	25 MHz	50 MHz	100 MHz
IIR	Low	non	500 MHz	650 MHz
	High	non	100 MHz	200 MHz
Stack horizontal		15 + 2	15 + 2	15 + 2

✓ **La migration**

La migration est une normalisation en distance verticale. Lors de la phase d'acquisition, le temps d'aller-retour de l'onde est mesuré en nanosecondes. La transformation de cette échelle temporelle en échelle spatiale sur l'ensemble des profils est obtenue avec la vitesse mesurée lors de l'acquisition en CMP au cours des études précédentes sur les casiers Girardon de l'île de la Platière et de Peyraud : 0,089 m/ns.

✓ **L'augmentation du gain**

Ces différents traitements appliqués diminuent la visibilité des réflecteurs sur les radargrammes. Sur l'ensemble des profils du casier de Donzère-Mondragon des gains exponentiels ont été appliqués en raison de la forte absorption du signal par les particules fines. Ce traitement a tendance à lisser les

différences d'intensité entre les réflecteurs, mais permet de les identifier plus facilement, notamment en profondeur.

✓ **La correction topographique**

Les profils ayant été acquis majoritairement sur la zone d'exploitation agricole, sur un terrain présentant peu de dénivelé, aucune correction topographique n'a été appliquée sur les profils, car la différence d'altitude est plus faible que la résolution verticale des antennes de 200 et de 100 MHz.

II - 4. LE TRAITEMENT 3D

Afin de proposer pour les deux sites d'étude une représentation en 3D ou/et de la distribution spatiale des PCBi ou/et du remplissage sédimentaire, le logiciel Rockworks 15 de la société Rockware (www.rockware.com) a été utilisé.

À partir des profils radar prétraités, le logiciel Rockworks propose plusieurs algorithmes d'interpolation pour extraire des données des interprétations en termes de surface ou de volume.

Au vu des objectifs de l'étude, nous présentons dans ce chapitre le(s) résultat(s) dit(s) préliminaire(s). Les acquisitions ont été réalisées avec trois fréquences centrales différentes (100, 200 et 400 MHz), cette partie présente donc les observations principales quant à l'utilisation optimale des profils en fonction du type d'antenne.

Comme expliqué dans le chapitre II, la fréquence centrale de l'antenne utilisée impacte la résolution et la profondeur d'investigation dans un milieu donné.

La **figure 14** montre un même profil traité du site d'étude, le profil longitudinal L1 (le plus proche du Rhône) acquis avec a) l'antenne de 400 MHz, b) l'antenne de 200 MHz et c) l'antenne de 100 MHz. Sur cette figure, une même zone de 20 mètres de long et de 2 mètres de profondeur a été représentée sur chaque profil, afin de mettre en évidence les différences de résolution verticale et de profondeur d'investigation de chaque antenne.

✓ Les profils de l'antenne de 100 MHz

La profondeur d'investigation est avec cette fréquence d'antenne d'environ 10 mètres, et la résolution verticale d'environ 1m. L'identification des structures sédimentaires est donc très imprécise, et trop sommaire pour le niveau de détail exigé par la présente étude.

L'ensemble des profils traités du casier de Donzère-Mondragon pour l'antenne de 100 MHz est regroupé en **Annexe 2**.

En raison de la profondeur de pénétration élevée de cette antenne, ces profils ont été cependant exploités pour la localisation du toit des graviers, ce réflecteur étant visible sur la totalité des radargrammes.

✓ Les profils de l'antenne de 200 MHz

La profondeur d'investigation de cette antenne est de 4m. Les réflecteurs sont bien visibles, en nombre et précision suffisants en vue d'une interprétation ; le signal est moins perturbé qu'avec l'antenne de 400 MHz (les objets de petite taille ne sont pas identifiés).

La résolution verticale est de l'ordre de 20 cm. Toutes les structures sédimentaires majeures ont été identifiées sur ces profils ; néanmoins, l'épaisseur du remplissage peut parfois excéder la profondeur d'investigation.

L'ensemble des profils traités du site de référence de l'antenne de 200 MHz est regroupé en **Annexe 3**.

En raison d'un compromis satisfaisant entre la résolution verticale et la profondeur d'investigation, les profils de l'antenne de 200 MHz ont été exploités pour l'interprétation des structures sédimentaires.

✓ Les profils de l'antenne de 400 MHz

Avec cette fréquence, la profondeur d'investigation est de 3,5 mètres (temps d'aller-retour de l'onde de 75 ns). Les réflecteurs sont très visibles sur l'ensemble de ces profils, avec de nombreuses réflexions parasites, malgré les traitements effectués (bruit de fond, migration, filtres, etc.). La résolution verticale est de l'ordre de 10 cm.

Ces profils, en raison du nombre important de réflecteurs, ne permettent pas une interprétation aisée des structures sédimentaires majeures, et n'ont donc pas été exploités.

L'ensemble des profils traités du site de référence de l'antenne de 400 MHz est regroupé en **Annexe 4**.

Ces profils de l'antenne de 400 MHz ont été exploités uniquement dans un but de vérification des structures identifiées sur les profils de l'antenne de 200 MHz.

Les intérêts majeurs, spécifiques à chaque antenne, des différents profils sont synthétisés dans le tableau suivant (**cf. tab. 7**).

Tableau 7 : Exploitation préférentielle des radargrammes pour chaque antenne

Antennes	Utilisation
100 MHz	Identification du toit des graviers
200 MHz	Identification des structures
400 MHz	Vérification des structures identifiées avec l'antenne de 200 MHz

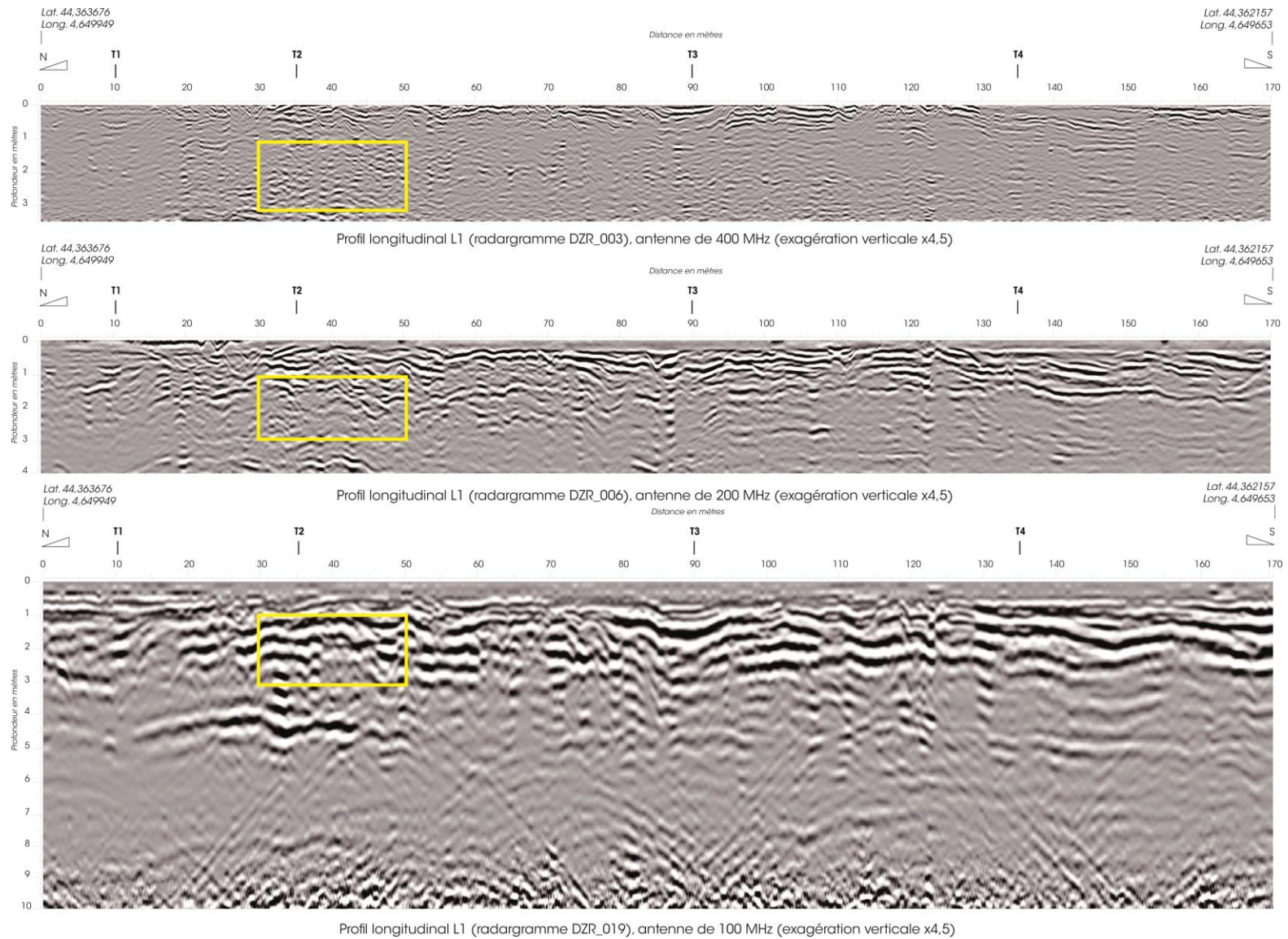


Figure 14: Profil L1 traité du casier de Donzère-Mondragon pour a) l'antenne de 400 MHz, b) l'antenne de 200 MHz et c) l'antenne de 100 MHz (en jaune, zone identique identifiée sur chaque radargramme de 20 mètres de long et de 2 mètres de profondeur, avec une exagération verticale de 4,5)

IV – 1. INTERPRÉTATION DE LA POSITION DU TOIT DES GRAVIERS

Un des enjeux de la présente étude est de pouvoir positionner le toit des graviers sur les radargrammes grâce à l'identification d'un réflecteur spécifique et/ou d'une différence de nature de remplissage significative, et de ne se servir que de quelques sondages à la perche en points de contrôle.

Les sondages à la perche réalisés sur Donzère-Mondragon (données CNR) ne se situent pas directement sur la zone d'étude, mais entre autres sur le casier situé juste à l'aval, soit le casier n°16, ainsi que sur d'autres points du même train de casiers.

Bien qu'elles ne soient pas positionnées exactement sur notre site d'étude, ces sondages nous renseignent néanmoins sur les profondeurs du toit des graviers (position en profondeur de l'ancien lit du Rhône) rencontrées sur le train de casiers de Donzère-Mondragon.

Le **tableau 8** synthétise la profondeur du toit des graviers (GGR) mesurée par sondages à la perche (données CNR).

Tableau 8 : Profondeur du toit des graviers mesurée par les sondages à la perche et coordonnées en Lambert 93 des points de sondage

Nom du sondage	Coordonnée X (Lambert 93)	Coordonnée Y (Lambert 93)	Profondeur du toit des graviers (en mètres)
CBA1	831369,25270	6362746,42100	4,35
CBA 2	831382,52860	6362745,10500	7
CBA 3	831394,57150	6362746,41700	3,3
CBA4	831415,74330	6362739,22400	1,5
CBA5	831432,54970	6362737,02400	0,3
CBA7	831447,97800	6363445,46600	3,5
CBA8	831422,52490	6363438,74300	3,2
CBA6	831483,87210	6363435,23500	3,9
CBA 9	831520,31680	6363406,58100	1,8
CBA 10	831611,96700	6365515,28800	1,5
CBA 11	831597,16110	6365524,77600	3,25
CBA 12	831626,89670	6365511,61800	2,8

D'après ces prérequis, le toit des graviers sur le train de casiers de Donzère-Mondragon se situe à une profondeur comprise entre 30 cm et 7 m, avec un nombre majoritaire de mesures autour de 3 m (7 mesures sur 12).

Au cours de l'étude précédente sur les casiers de l'île de la Platière et de Peyraud, une comparaison des résultats de l'interprétation de la position du toit des graviers entre les sondages à la perche et l'analyse des radargrammes avait été effectuée. La **figure 15** rappelle la différence observée entre ces deux méthodes sur un des profils réalisés sur le casier de Peyraud.

Pour rappel, la différence est de 2,5% pour le casier de l'île de la Platière et de moins de 10% pour le casier de Peyraud.

La méthode d'interprétation de la position du toit des graviers par l'analyse des radargrammes est donc considérée comme très satisfaisante. Nous avons donc suivi pour cette étude la même méthode d'interprétation des radargrammes de 100 MHz, en identifiant un réflecteur particulièrement fort qui sépare deux types de remplissage différents.

Ce réflecteur est extrêmement visible et facilement identifiable sur les 7 profils de l'antenne de 100 MHz ; les **figures 16 à 19** présentent l'interprétation de la position du toit des graviers (trait jaune) sur les radargrammes traités.

La profondeur du toit des graviers ainsi interprétée est cohérente avec les sondages à la perche réalisés sur le même train de casiers, avec une profondeur comprise entre 3 et 3,5 mètres.

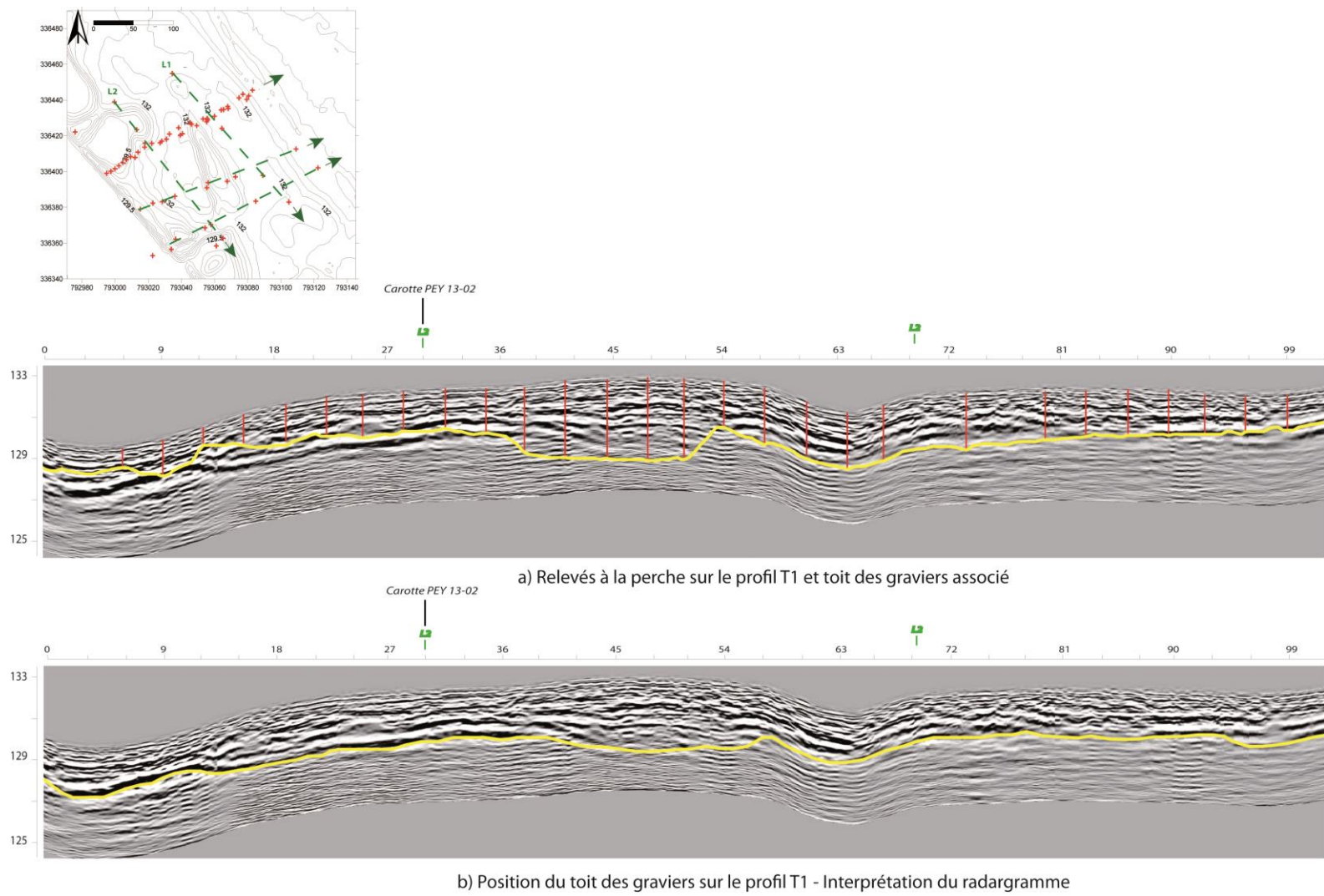
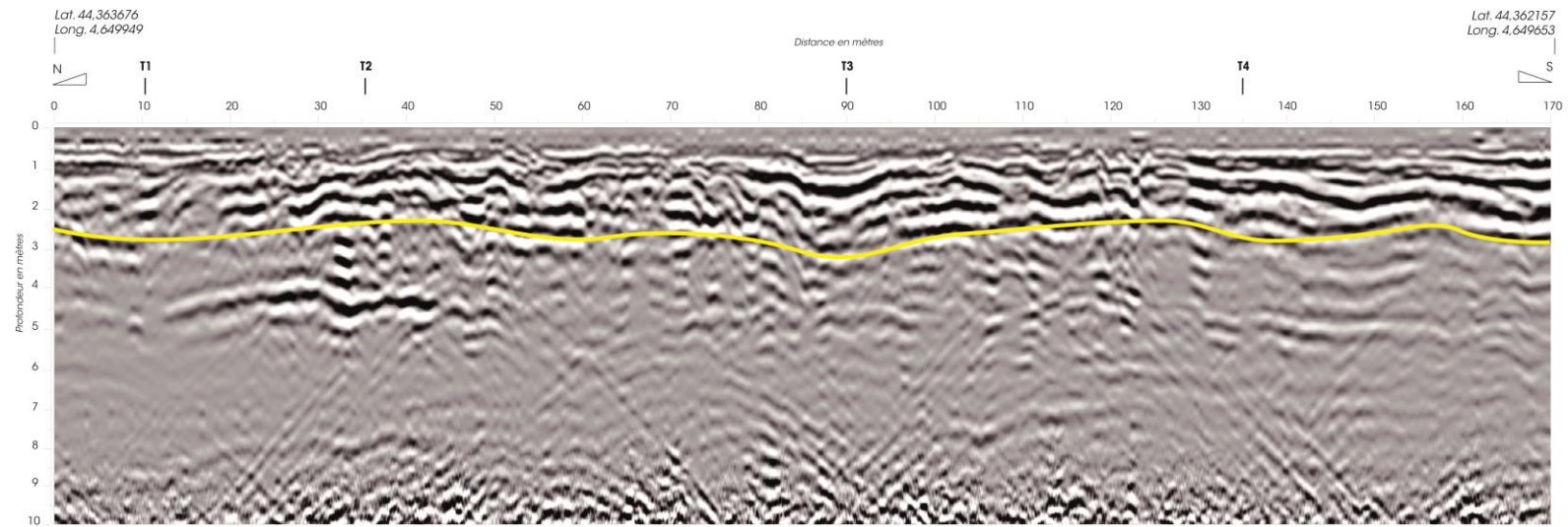
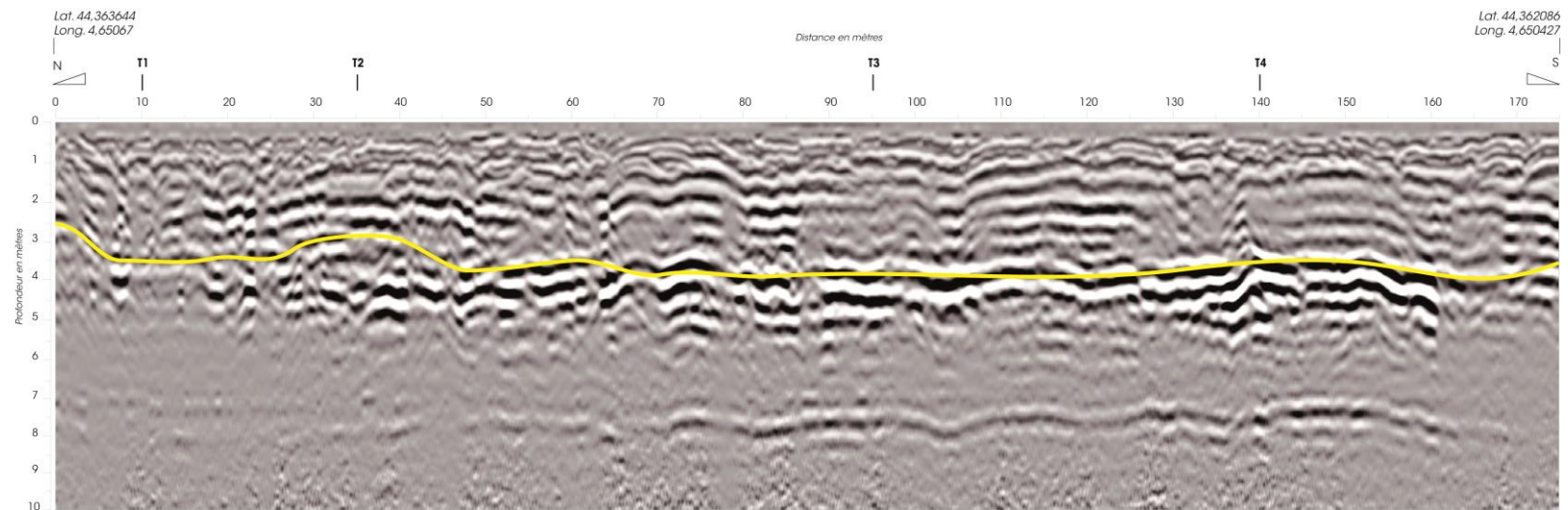


Figure 15 : Comparaison de la position du toit des graviers (trait jaune) entre a) les sondages à la perche et b) l'interprétation du radargramme sur le profil T1 (antenne de 100 MHz) sur le casier de Peyraud



Profil longitudinal L1 (radargramme DZR_019), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)



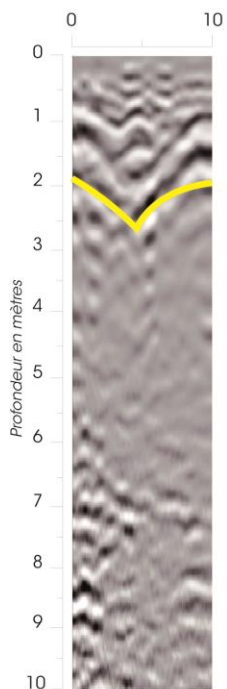
Profil longitudinal L2 (radargramme DZR_022), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)

Figure 16 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur les radargrammes L1 et L2 de l'antenne de 100 MHz sur le casier de Donzère-Mondragon

Lat. 44,363359
Long. 4,651311

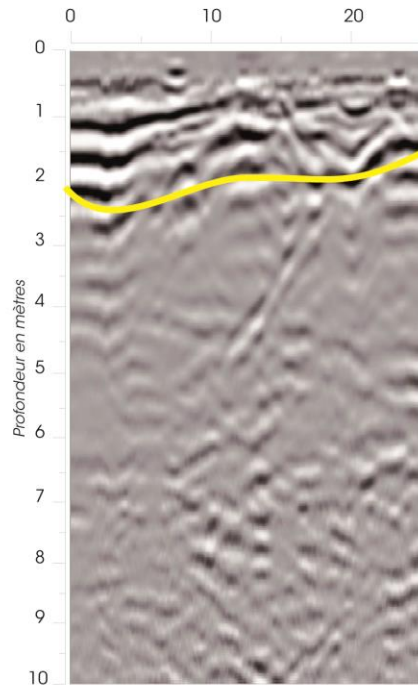


Distance en mètres



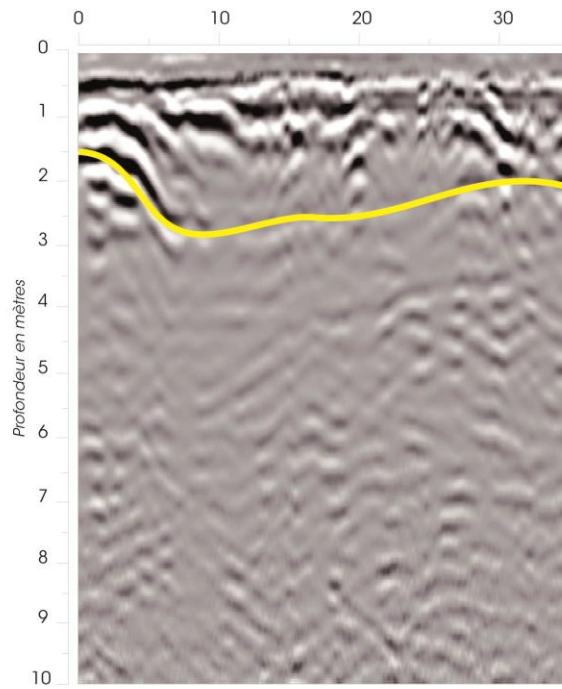
Radargramme DZR_028

Distance en mètres



Radargramme DZR_027

Distance en mètres

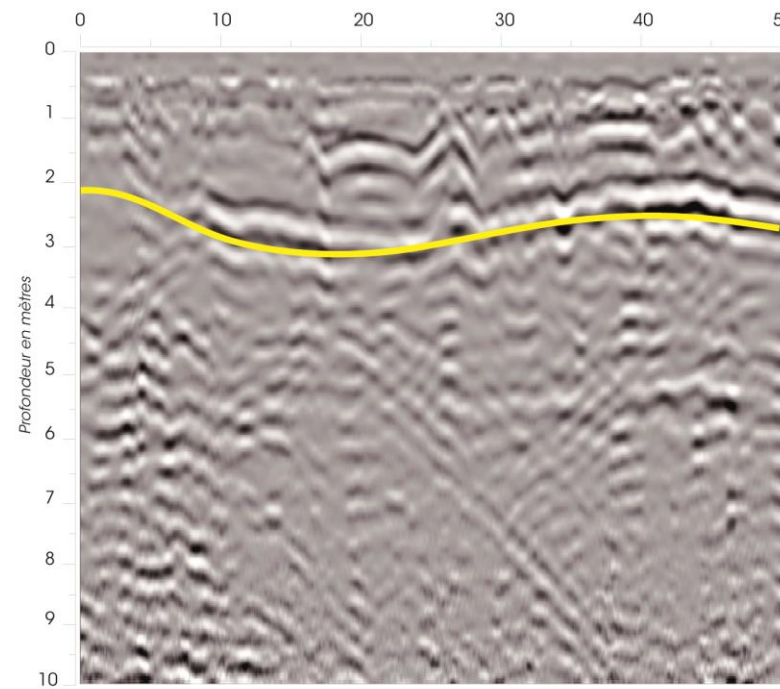


Radargramme DZR_026

Lat. 44,362294
Long. 4,65156201



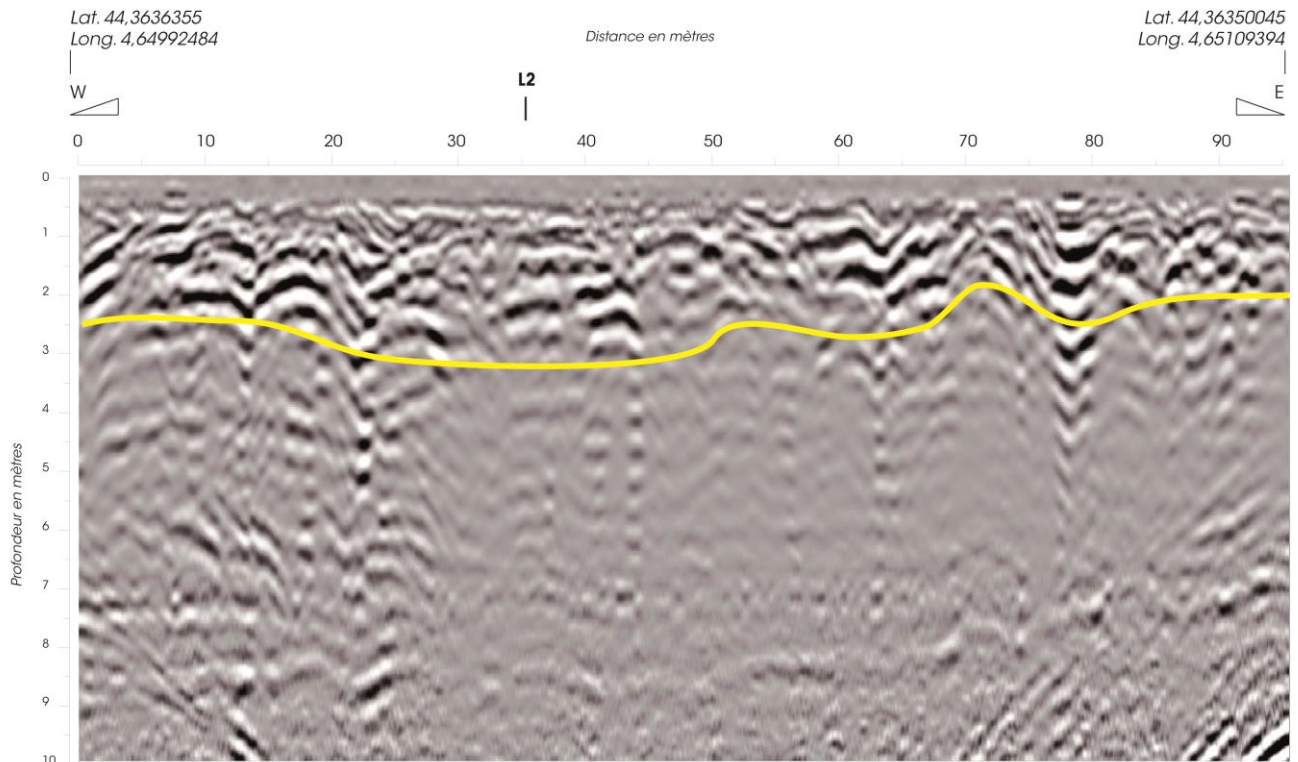
Distance en mètres



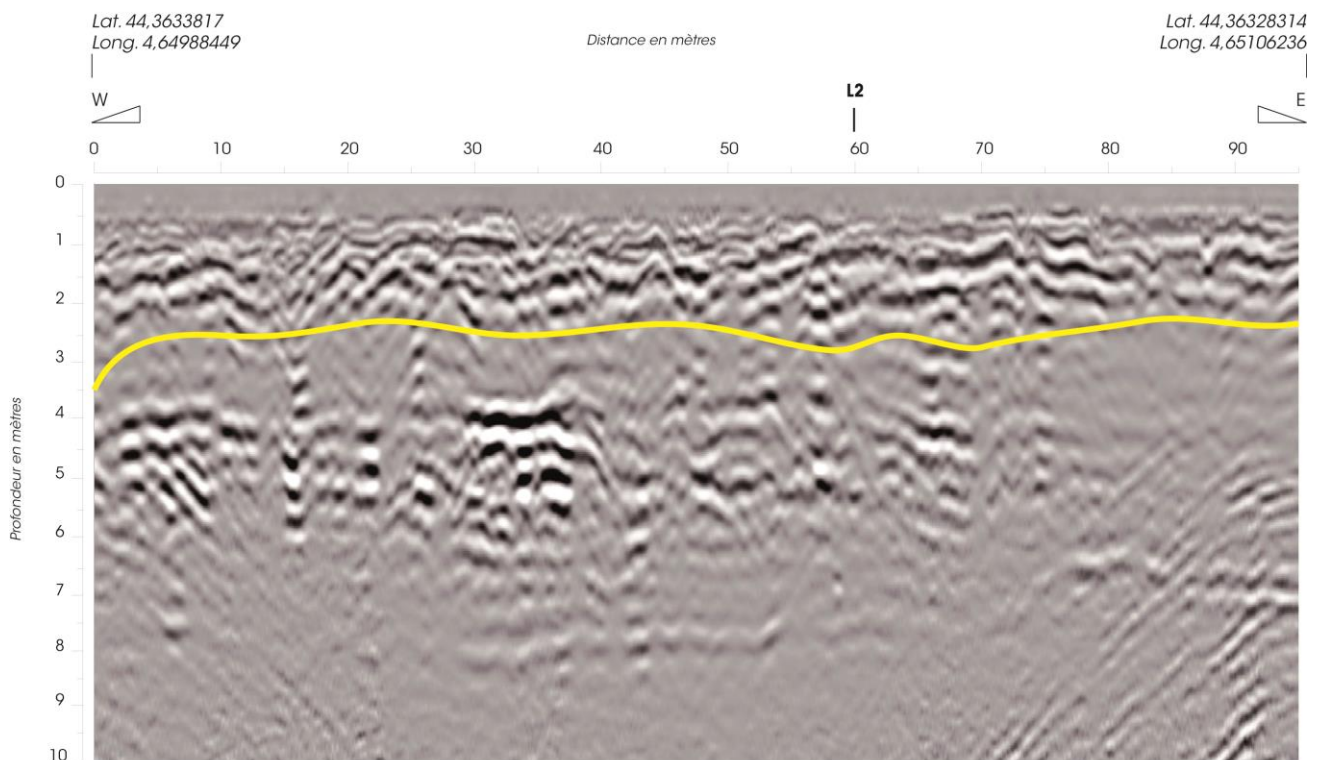
Radargramme DZR_024

Profil longitudinal L3 antenne de 100 MHz, longueur totale de 120 m (exagération verticale x4,5)

Figure 17 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur le radargramme L3 de l'antenne de 100 MHz sur le casier de Donzère-Mondragon



Profil transversal T1 (radargramme DZR_020), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T2 (radargramme DZR_021), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)

Figure 18 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur les radargrammes T1 et T2 de l'antenne de 100 MHz sur le site de Donzère-Mondragon

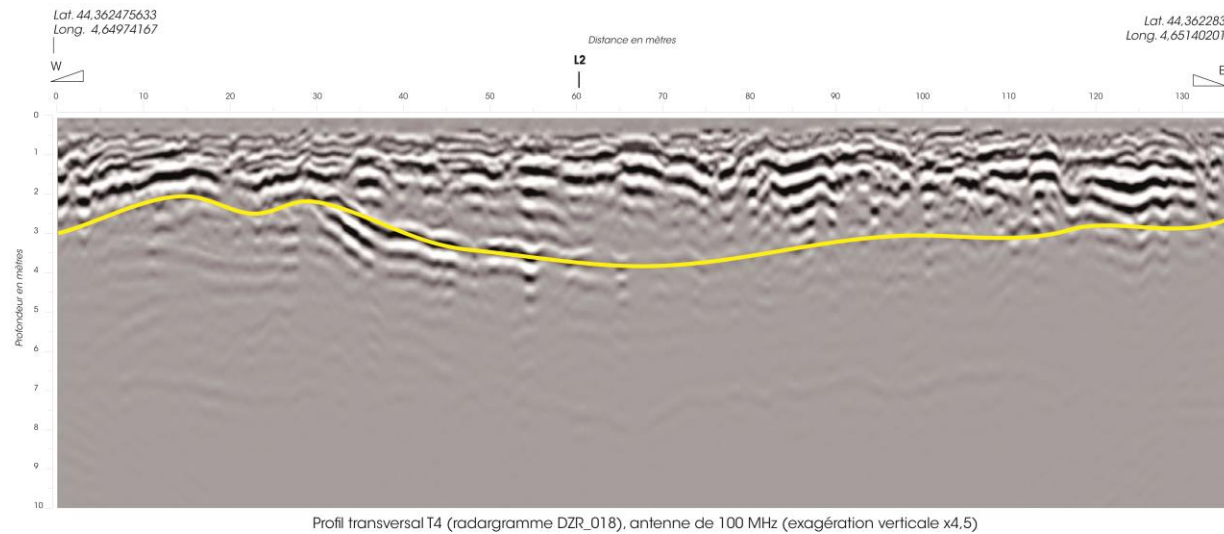
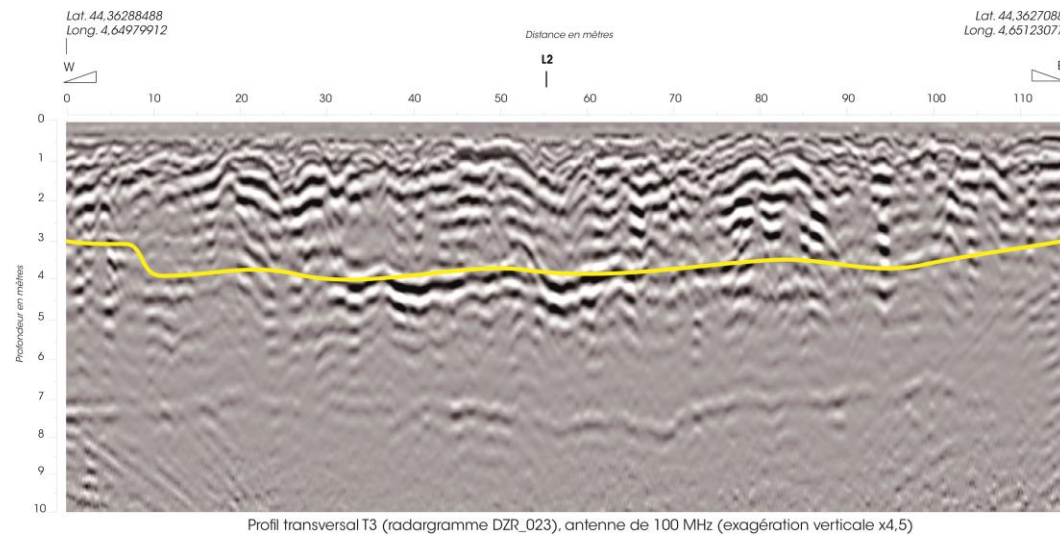


Figure 19 : Positionnement du toit des graviers (trait jaune) sur les profils T3 et T4 de l'antenne de 100 MHz sur le site de Donzère-Mondragon

Le logiciel Rockwoks utilisé dans la présente étude pour le modèle 3D permet de d'extrapoler la surface du toit des graviers telle qu'elle a été identifiée sur les radargrammes et de mesurer le volume compris entre cette surface et la surface topographique pour le casier investigué. Le volume ainsi calculé est de 80 600 m³.









IV – 2. INTERPRÉTATION DU REMPLISSAGE SÉDIMENTAIRE

IV – 2.a. Les types de structures rencontrées

Grâce à l'étude globale des profils radar, plusieurs faciès sédimentaires ont pu être identifiés, en lien avec la littérature (Roberts et al., 2003 ; Ekes & Friele, 2003). Ces faciès renseignent sur le mode de remplissage des casiers ou la nature stratigraphique des structures.

Quatre faciès sédimentaires principaux ont été identifiés (**cf. tab. 9**) sur les radargrammes, de manière cohérente avec les études préalables réalisées sur les casiers Girardon de l'île de la Platière et de Peyraud.

Tableau 9 : Les différents faciès sédimentaires de la zone d'étude de Donzère-Mondragon

	Faciès	Radargramme	Structure interprétée
1.	Figure d'accrétation latérale		
2.	Dépôts de sédiments parallèles		
3.	Toit des graviers		
4.	Atténuation due à la présence d'argile		



































- ✓ Faciès de type 1 : les figures d'accrétion sont caractérisées par des réflecteurs avec un certain pendage. Elles plongent vers l'Est, sauf lorsqu'elles correspondent au remplissage d'un ancien chenal, où dans ce cas elles sont disposées de manière symétrique. Ces figures sont caractéristiques de la partie du casier proche du Rhône.
- ✓ Faciès de type 2 : les dépôts de sédiments parallèles sont identifiables par la présence de réflecteurs parallèles. Ils correspondent à des dépôts plus récents.
- ✓ Faciès de type 3 : la position du toit des graviers est identifiable car le réflecteur qui le représente est en général très fort (contraste de permittivité diélectrique important entre les sédiments et les graviers). De plus, Ce réflecteur est présent sur la totalité des profils.
- ✓ Faciès de type 4 : la présence d'argile est une véritable contrainte dans les acquisitions radar car sa présence va atténuer fortement la propagation du signal. On aura alors des difficultés pour identifier les réflecteurs. Ces zones d'argiles se trouvent le plus souvent en profondeur.

IV - 2.b. Résultats de l'interprétation des radargrammes : les structures sédimentaires

Les structures sédimentaires ont été identifiées sur l'ensemble des profils de l'antenne de 200 MHz. Afin de faciliter l'interprétation de ces structures en termes de dynamique de dépôt, le profil longitudinal L3, situé dans la partie latérale Est du casier, au niveau du bras du Rhône qui incise la zone d'étude, sera présenté séparément des profils L1, L2, T1, T2, T3 et T4, situés quant à eux dans la zone agricole.

Le **tableau 10** présente la description structurale et la description des faciès sédimentaires des dix-sept structures identifiées dans l'ensemble des sept profils, ainsi que la forme des réflecteurs correspondants. Afin de faciliter l'interprétation des radargrammes et leur lecture, nous avons associé une couleur à chacune de ces structures sur les profils.

Tableau 10 : Grille de lecture de l'interprétation des structures sédimentaires sur les sept radargrammes de l'antenne de 200 MHz et leur couleur associée

Couleur	Radargramme	Description structurale et sédimentaire
		Silts, sans structure déterminée, accrétion à tendance latérale vers l'Est
		Sables grossiers, drappage sub-horizontale
		Silts et fraction fine, aucune structuration
		Silts et sables, accrétion à la fois latérale et verticale
		Silts , accrétion latérale
		Silts , accrétion latérale
		Silts grossiers et fines, accrétion verticale, drappage sub-horizontale
		Lentille de sables grossiers (ancien chenal ?), drappage sub-horizontale
		Silts et fines, accrétion verticale
		Sables grossiers, drappage sub-horizontale
		Lentille de sables grossiers (ancien chenal ?), drappage sub-horizontale
		Silts et sables, accrétion à la fois latérale et verticale
		Silts et fines, accrétion latérale
		Silts et fines, accrétion verticale
		Lentille de silts grossiers (ancien chenal ?), drappage sub-horizontale
		Lentille de silts grossiers (ancien chenal ?), drappage sub-horizontale
		Couche de surface, fines, aucune structuration

Les **figures 20, 21, 22, 23, 24 et 25** présentent respectivement les profils L1, L2, T1, T2, T3 et T4, dans le détail des étapes nécessaires à la production des profils colorisés.

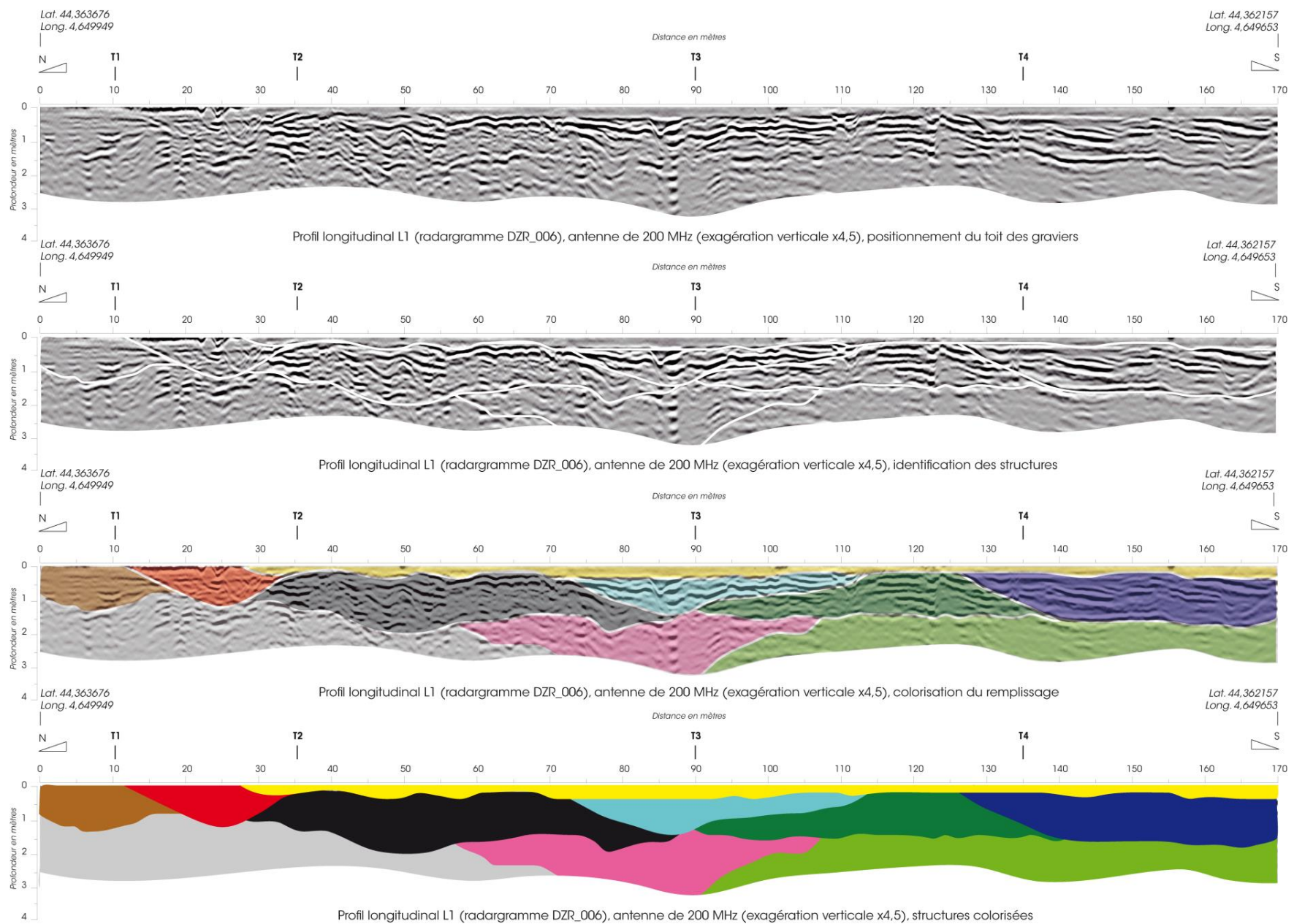


Figure 20 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil L1 (antenne de 200 MHz)

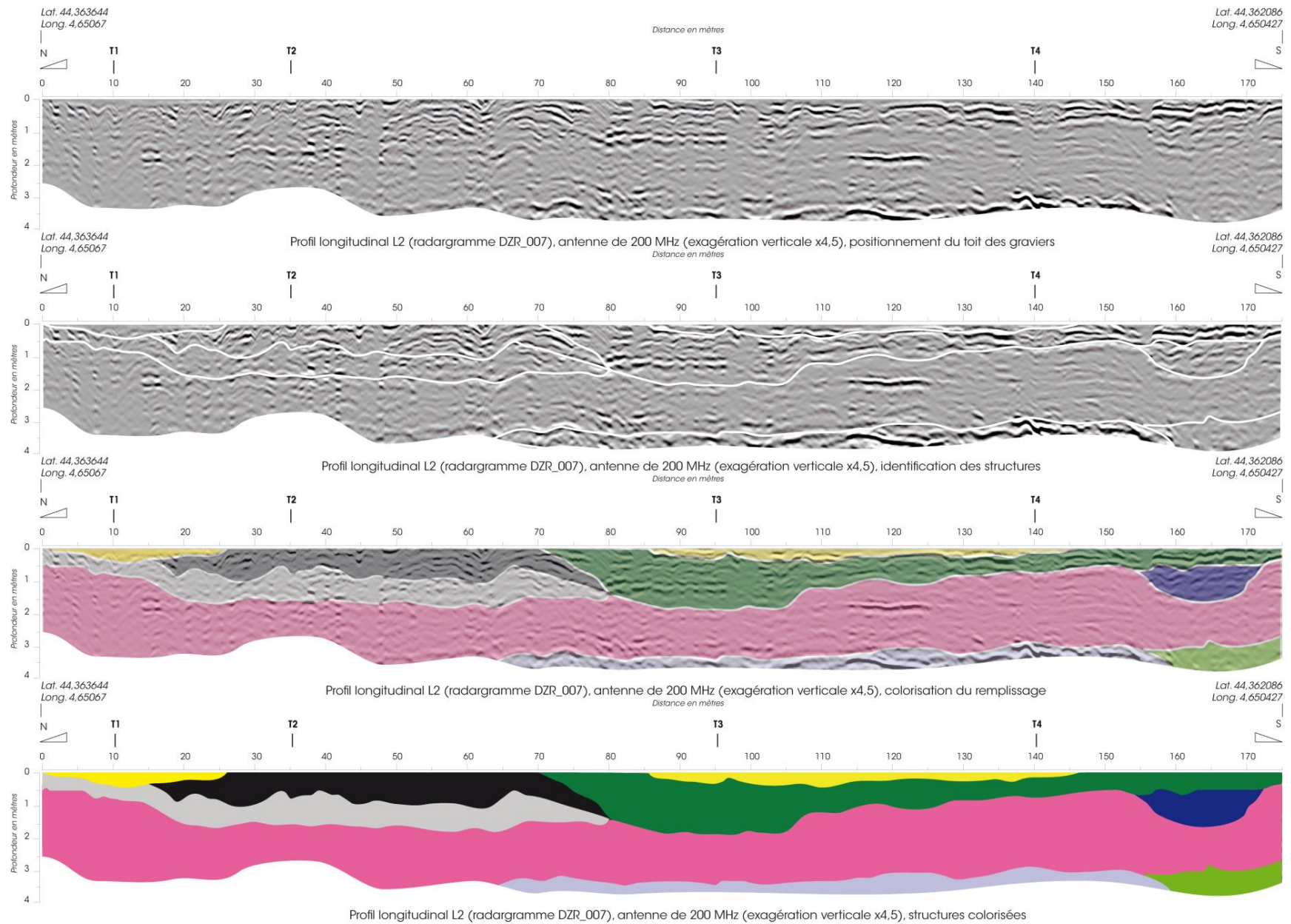
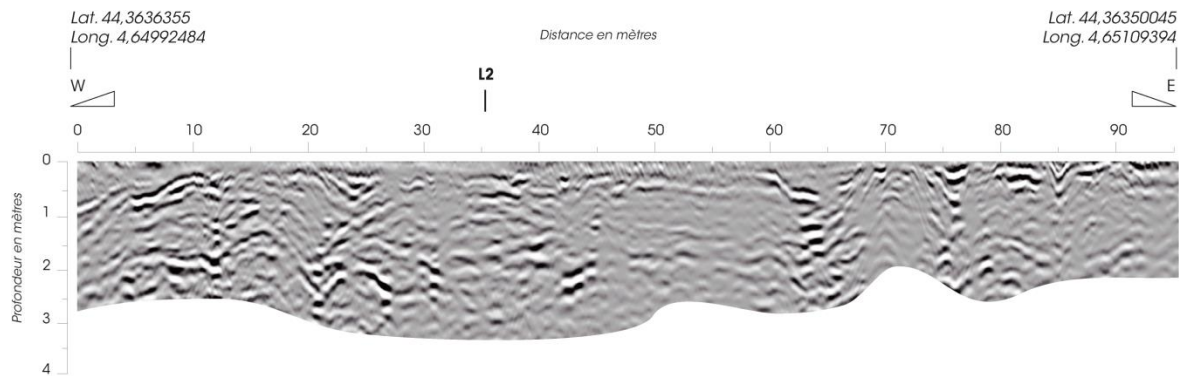
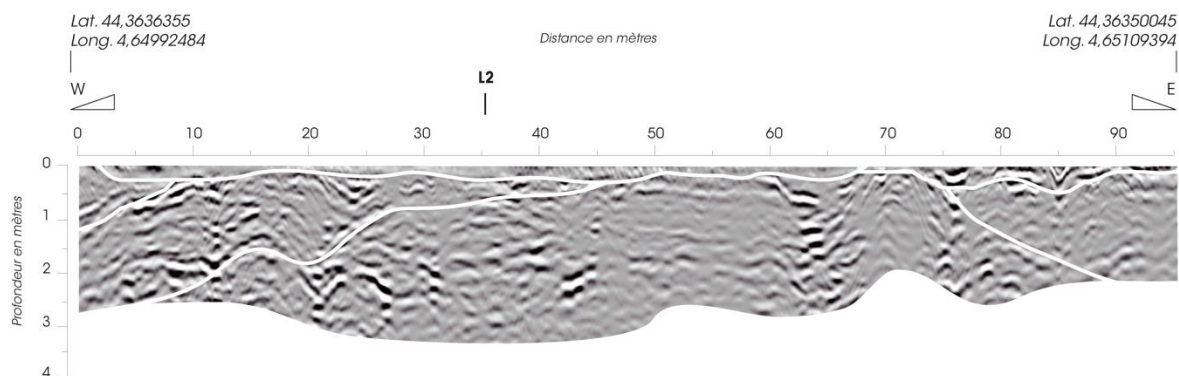


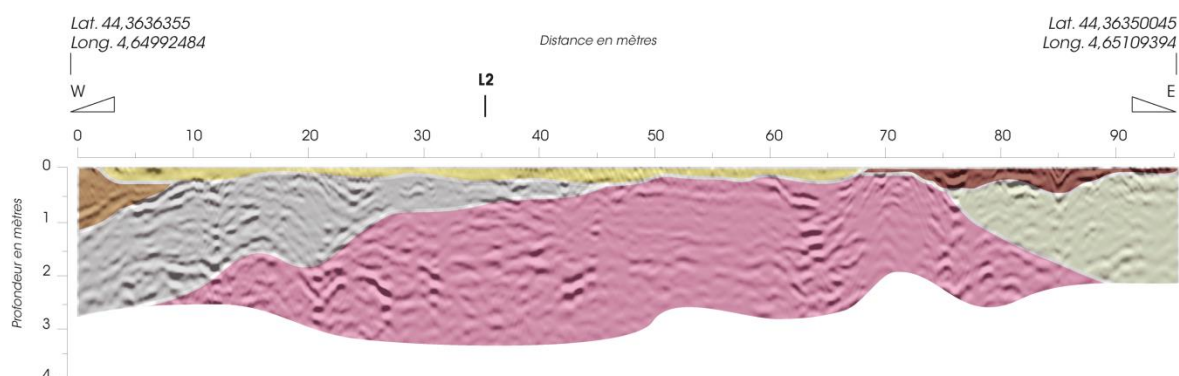
Figure 21 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil L2 (antenne de 200 MHz)



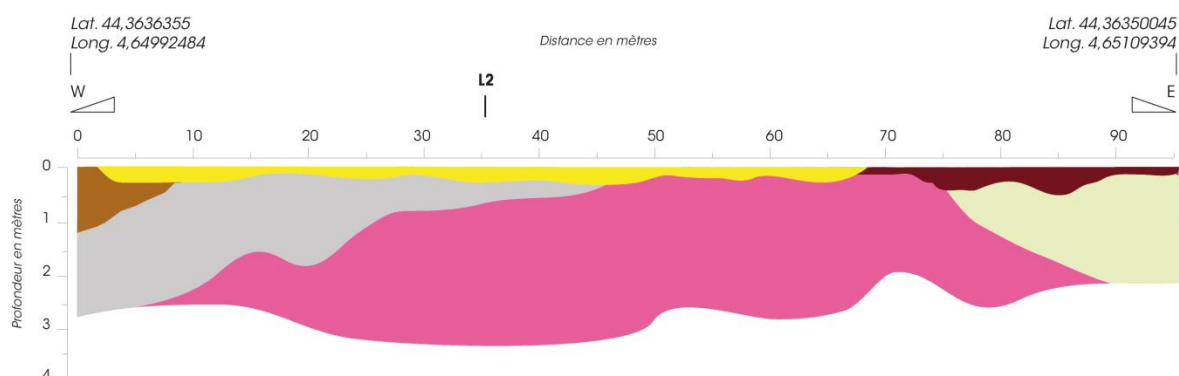
Profil transversal T1 (radargramme DZR_013), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), positionnement du toit des graviers



Profil transversal T1 (radargramme DZR_013), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), identification des structures

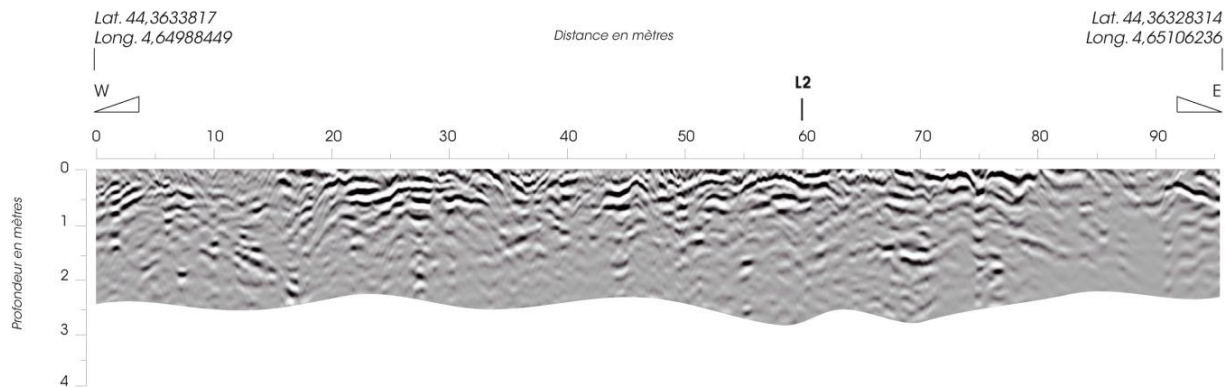


Profil transversal T1 (radargramme DZR_013), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), colorisation du remplissage

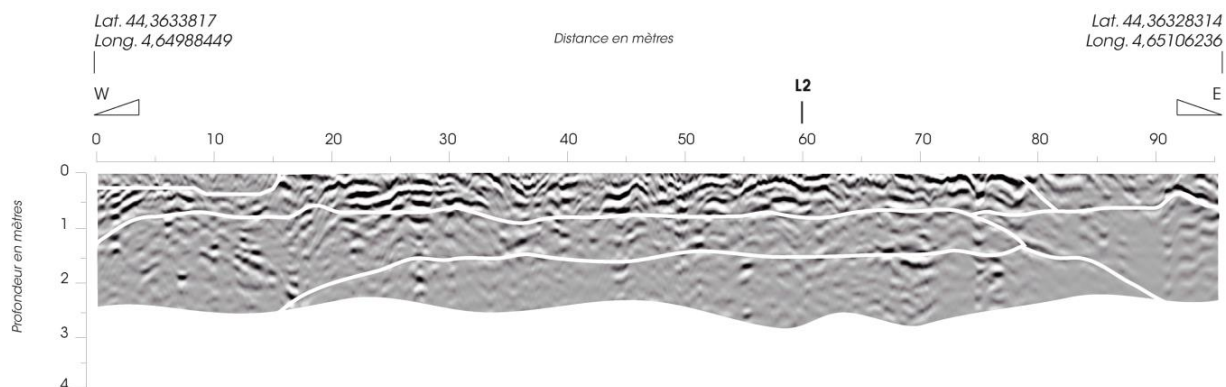


Profil transversal T1 (radargramme DZR_013), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), structures colorisées

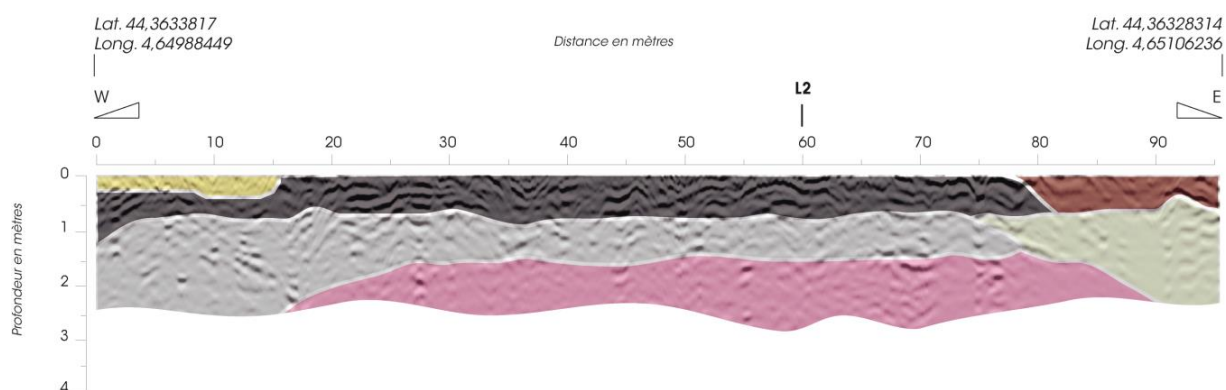
Figure 22 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T1 (antenne de 200 MHz)



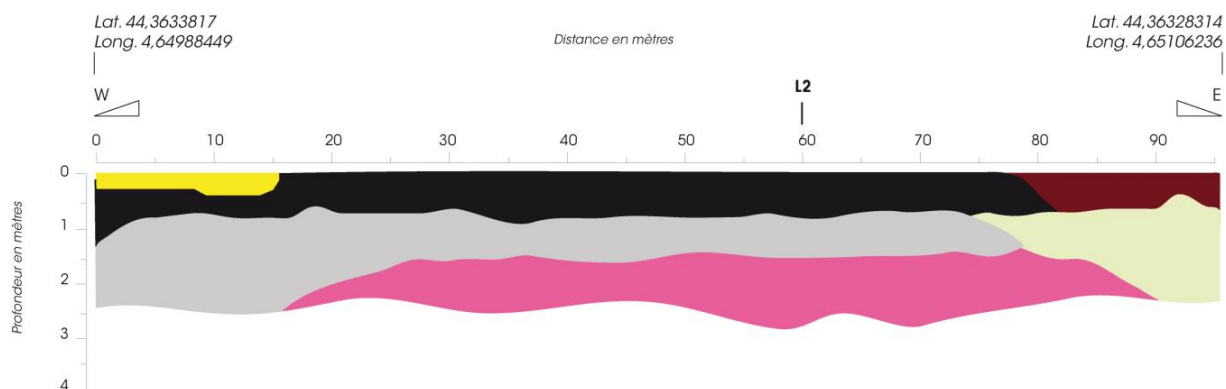
Profil transversal T2 (radargramme DZR_014), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), positionnement du toit des graviers



Profil transversal T2 (radargramme DZR_014), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), identification des structures



Profil transversal T2 (radargramme DZR_014), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), colorisation du remplissage



Profil transversal T2 (radargramme DZR_014), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), structures colorisées

Figure 23 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T2 (antenne de 200 MHz)

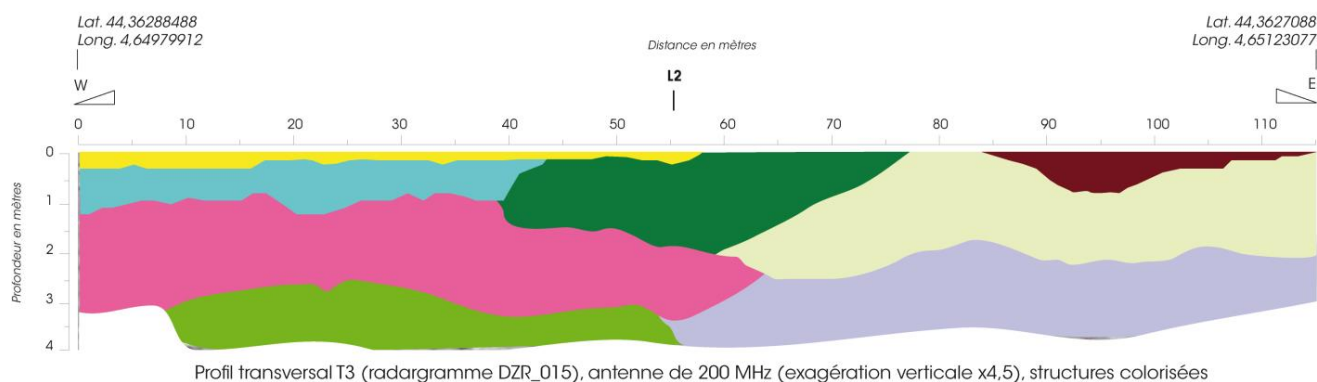
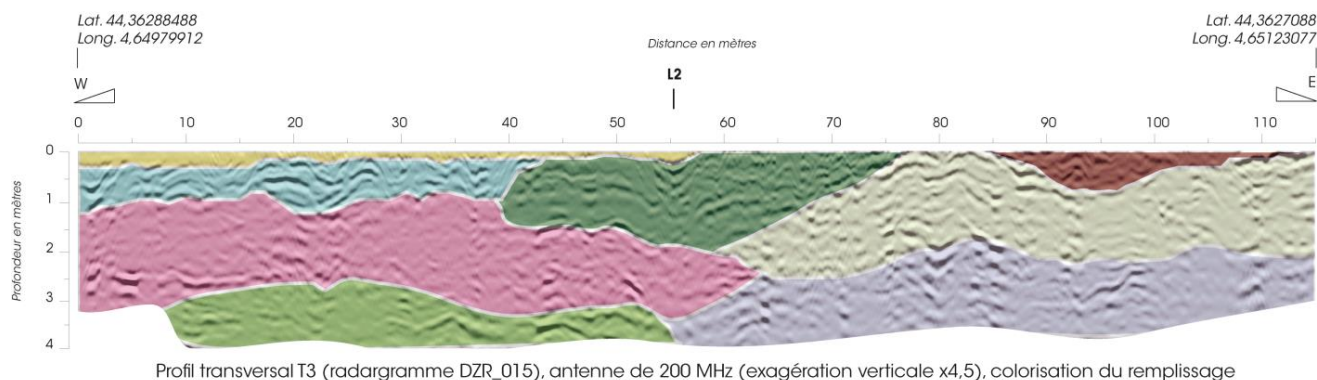
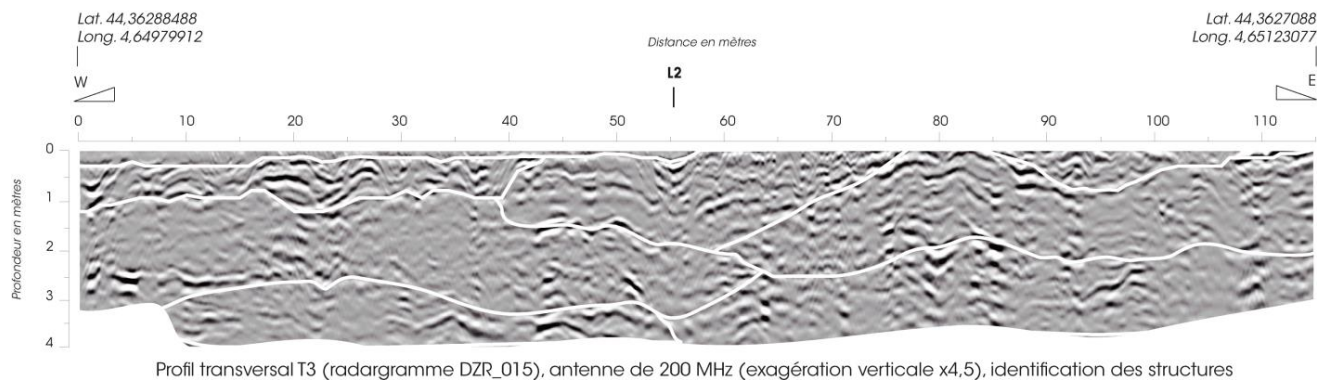
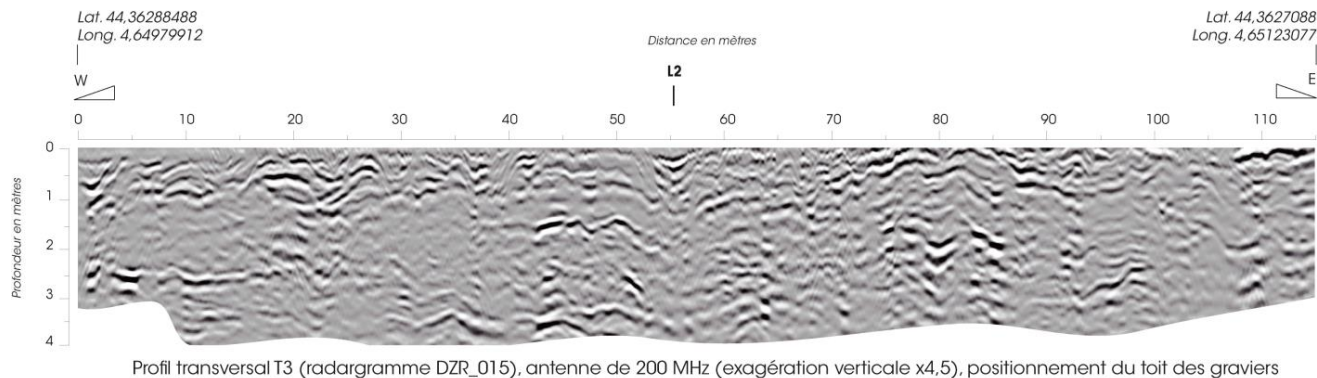


Figure 24: Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T3 (antenne de 200 MHz)

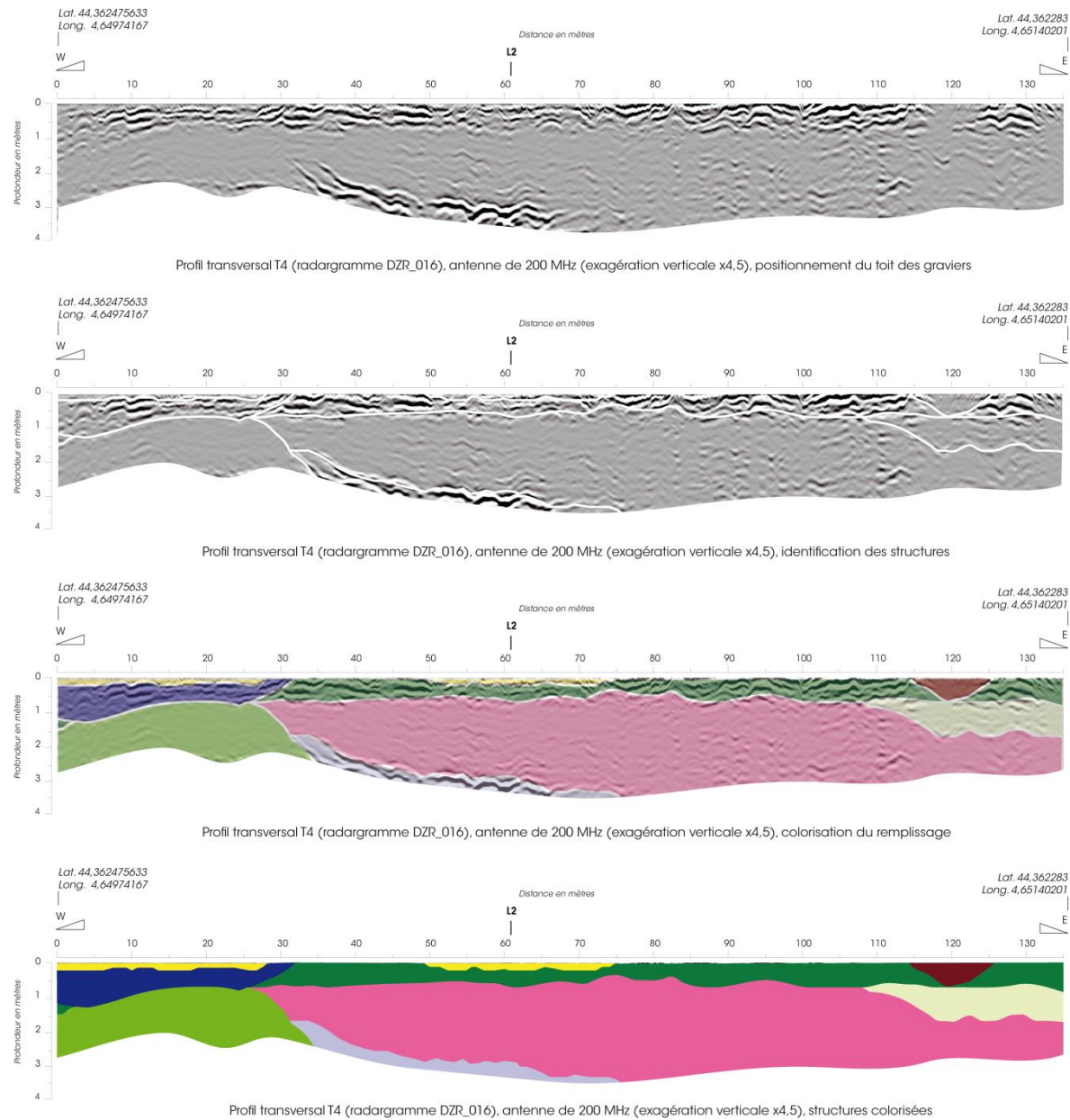
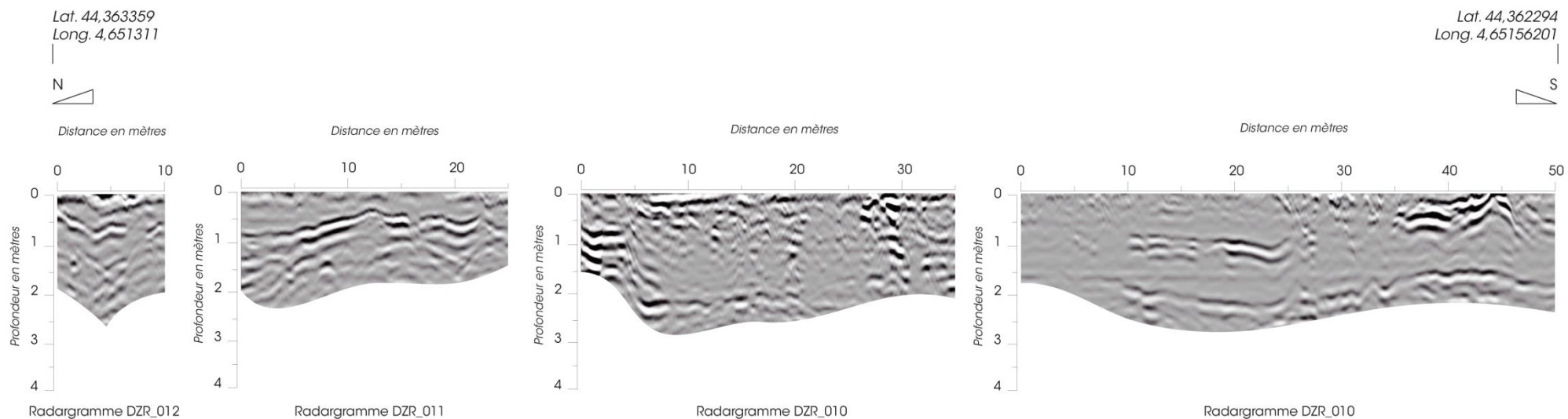


Figure 25 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil T4 (antenne de 200 MHz)

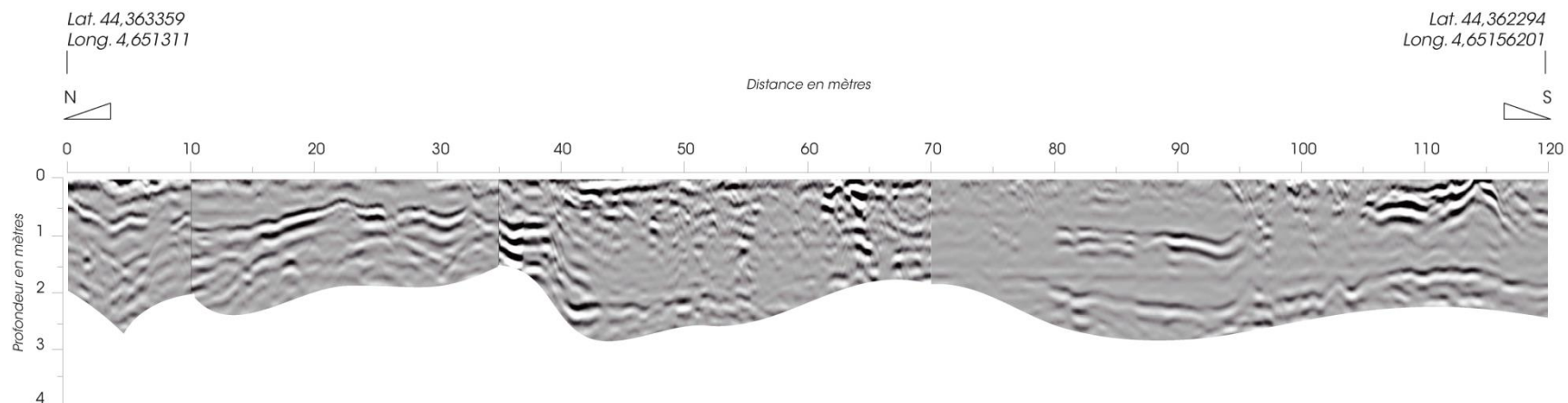
Le profil longitudinal L3, d'une longueur de 120 mètres, est situé dans la partie latérale Est du casier, partie incisée par un bras du Rhône. Les structures sédimentaires rencontrées sur ce transect suivent donc une chronologie et une dynamique de dépôt différentes des autres structures du casier.

Ce profil a été acquis en plusieurs transects. Afin de faciliter l'interprétation des structures, nous pouvons le représenter comme situé sur un unique transect (**cf. fig. 26**). Les raccords entre les différentes acquisitions sont visibles, mais la continuité des réflecteurs est respectée, ainsi que la continuité du toit des graviers, ce qui nous permet d'utiliser ce profil « reconstitué » pour l'identification des structures sédimentaires (**cf. fig. 27**).

Cette partie du casier répondant à une dynamique différente, des couleurs différentes de celles des autres profils ont été majoritairement choisies (sauf les structures en jaune et en bordeaux, qui présentent les mêmes faciès que celles identifiées dans les autres profils).



Profil longitudinal L3 antenne de 200 MHz, longueur totale de 120 m (exagération verticale x4,5), selon les transects d'acquisition



Profil longitudinal L3 antenne de 200 MHz, longueur totale de 120 m (exagération verticale x4,5), replacé sur un seul transect

Figure 26 : Profil longitudinal L3 selon a) les transects d'acquisition et b) selon un seul transect continu

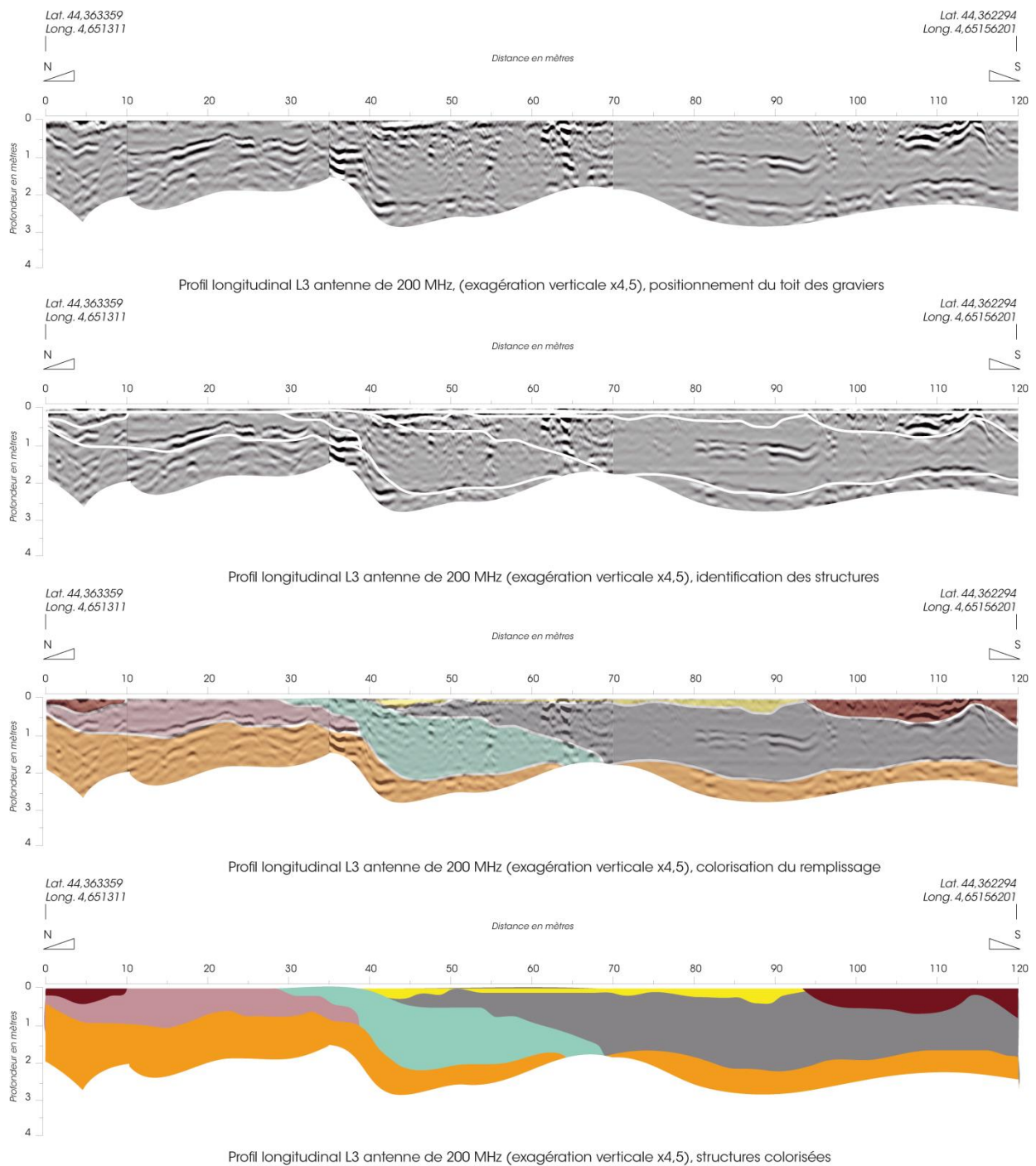


Figure 27 : Étapes détaillées de l'identification des structures sédimentaires sur le profil L3 (antenne de 200 MHz)

IV – 3. RELATION ENTRE LES STRUCTURES SÉDIMENTAIRES ET L'ÉTUDE DIACHRONIQUE

L'étude diachronique réalisée par la CNR et présentée dans la partie I permet de reconstituer une chronique de remplissage du casier en fonction des différentes structures sédimentaires.

La **figure 28** représente la mise en place des différentes structures sédimentaires selon ces quatre phases temporelles le long du profil T3 (antenne de 200 MHz).

Le dépôt de quatre grands ensembles sur ce profil a pu ainsi être identifié sur les six fenêtres temporelles suivantes :

- en 1901 (Branciard) : mise en place du toit des graviers

- de 1901 à 1947 : **dépôt des structures I-a, I-b, I-c et I-d** ; le casier se remplit majoritairement durant cette période, avec en 1947 le début d'une végétation arborée. Les structures sédimentaires sont donc en place, avec le dépôt premier de la structure I-a, proche de la digue, puis de la structure I-b plus latéralement. Les structures I-c et I-d se déposent selon la même logique, au-dessus des structures précédentes.

- de 1947 à 1961 : **dépôt des structures II-a et II-b**, en priorité au centre du casier, là où se déploie en 1961 une végétation ligneuse. À proximité de la digue, les dépôts sont moins consolidés, sans doute en raison de remobilisations plus fréquentes consécutives aux débordements latéraux du Rhône.

- de 1961 à 1972 : **dépôt de la structure III-a**, en comblement d'un ancien chenal : le bras latéral Est du Rhône est entièrement comblé, et la zone du casier est exploité pour l'agriculture.

- de 1972 à 1982 : **dépôt de la structure IV-a**, la plus proche du Rhône : les débordements du Rhône sont moins fréquents, et les structures se stabilisent entièrement sans remobilisation.

- de 1982 à 2009 : pas de changements dans cette partie du casier, les structures sont en place, contrairement à celles de la partie latérale Est, avec l'ouverture du chenal.

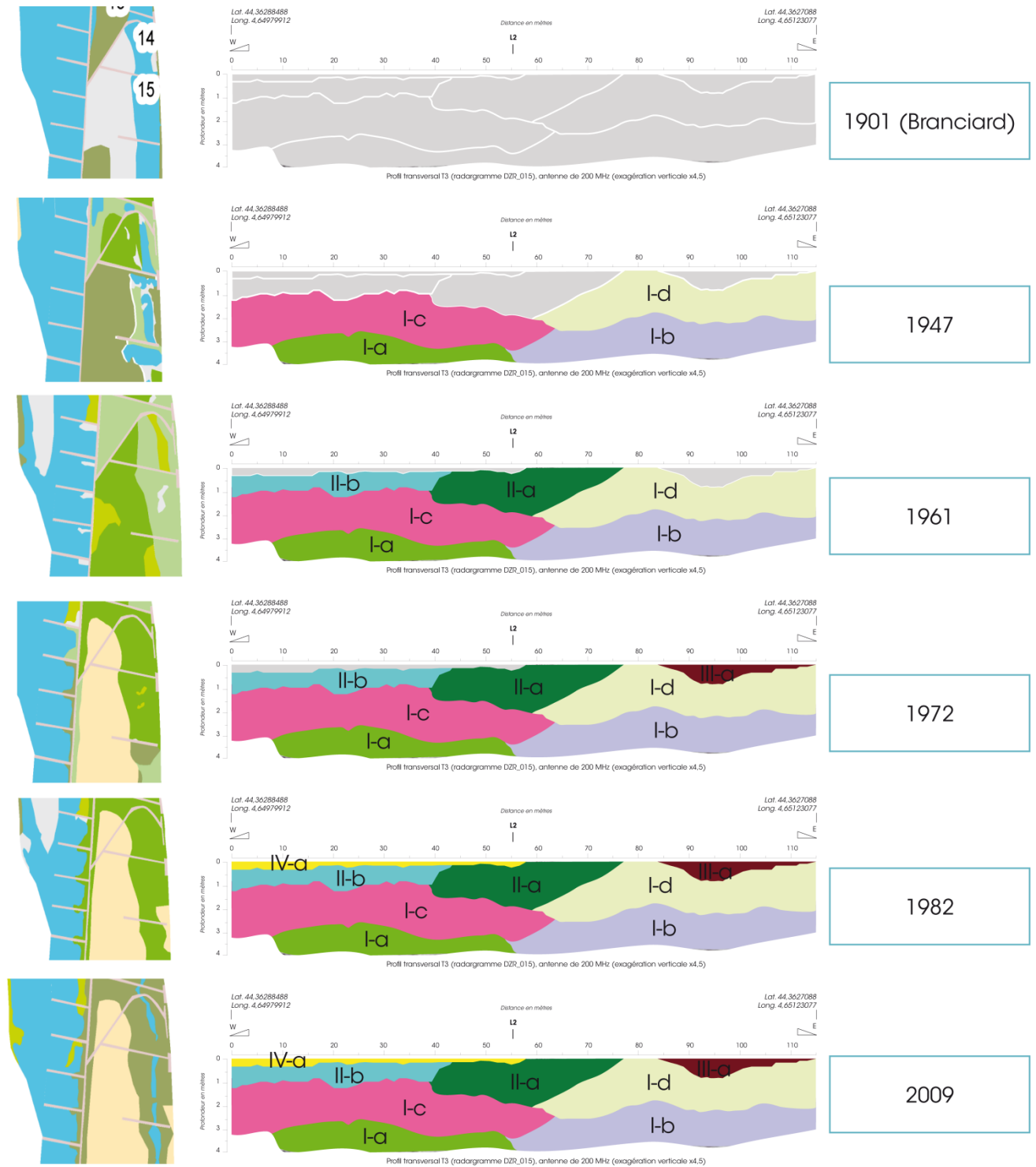



















Figure 28 : Remplissage du casier de la zone d'étude de Donzère-Mondragon en fonction des différentes fenêtres temporelles identifiées par l'étude diachronique (en couleur : structures déposées dans la période considérée ; en gris : structures déposées dans les périodes temporelles postérieures)

Les **figures 29 à 34** représentent cette même étude diachronique pour l'ensemble des sept profils, selon cette fois les six fenêtres temporelles considérées.

L'étude comparée des structures sédimentaires identifiées sur les radargrammes et la diachronie permet d'établir une chronologie du remplissage du casier étudié dans la zone de Donzère-Mondragon et de reconstituer l'historique de la mise en place de ces différentes structures.

Le **tableau 11** regroupe les informations de la temporalité du dépôt des 17 structures sédimentaires rencontrées sur l'ensemble des sept transects.

Tableau 11 : Période de dépôt de chacune des structures sédimentaires rencontrées sur l'ensemble des sept profils sur la zone étudiée de Donzère-Mondragon

Fenêtre temporelle	Structure(s) déposée(s), dans l'ordre chronologique des dépôts
1901 (Branciard)	Mise en place du toit des graviers
De 1901 à 1947	 I-a  I-c  I-e  I-b  I-d  I-f
De 1947 à 1961	 II-a  II-c  II-e  II-g  II-b  II-d  II-f  II-h
De 1961 à 1972	 III-a  III-b
De 1972 à 1982	 IV-a
De 1982 à 2009	Pas de dépôt de nouvelles structures Incision de la partie latérale Est

1901 (Branciard)

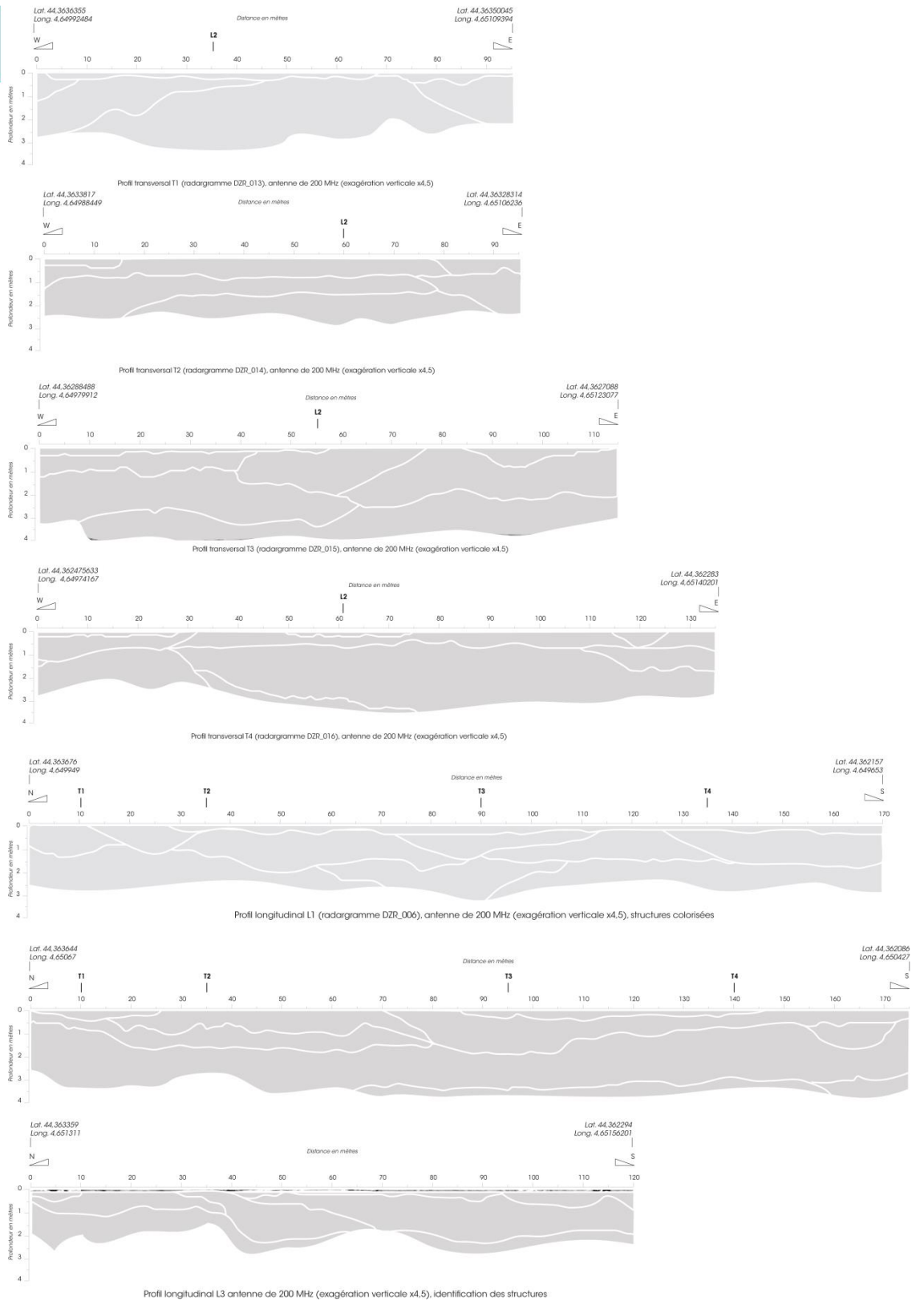
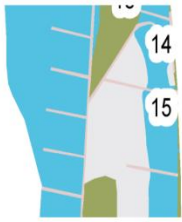


Figure 29: Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon en 1901 (Branciard) (en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes temporelles postérieures)

1947

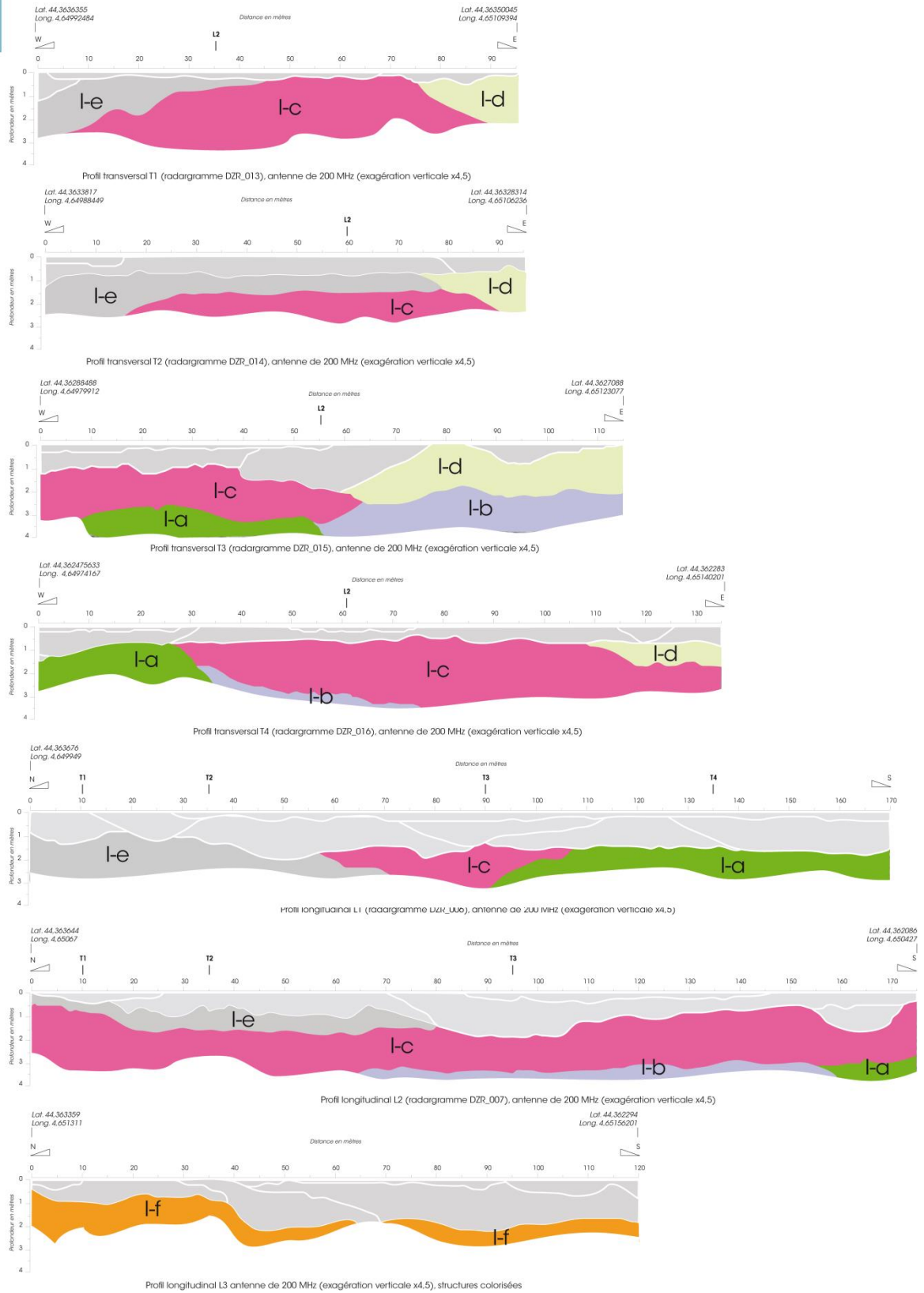


Figure 30 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1901 à 1947 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures)

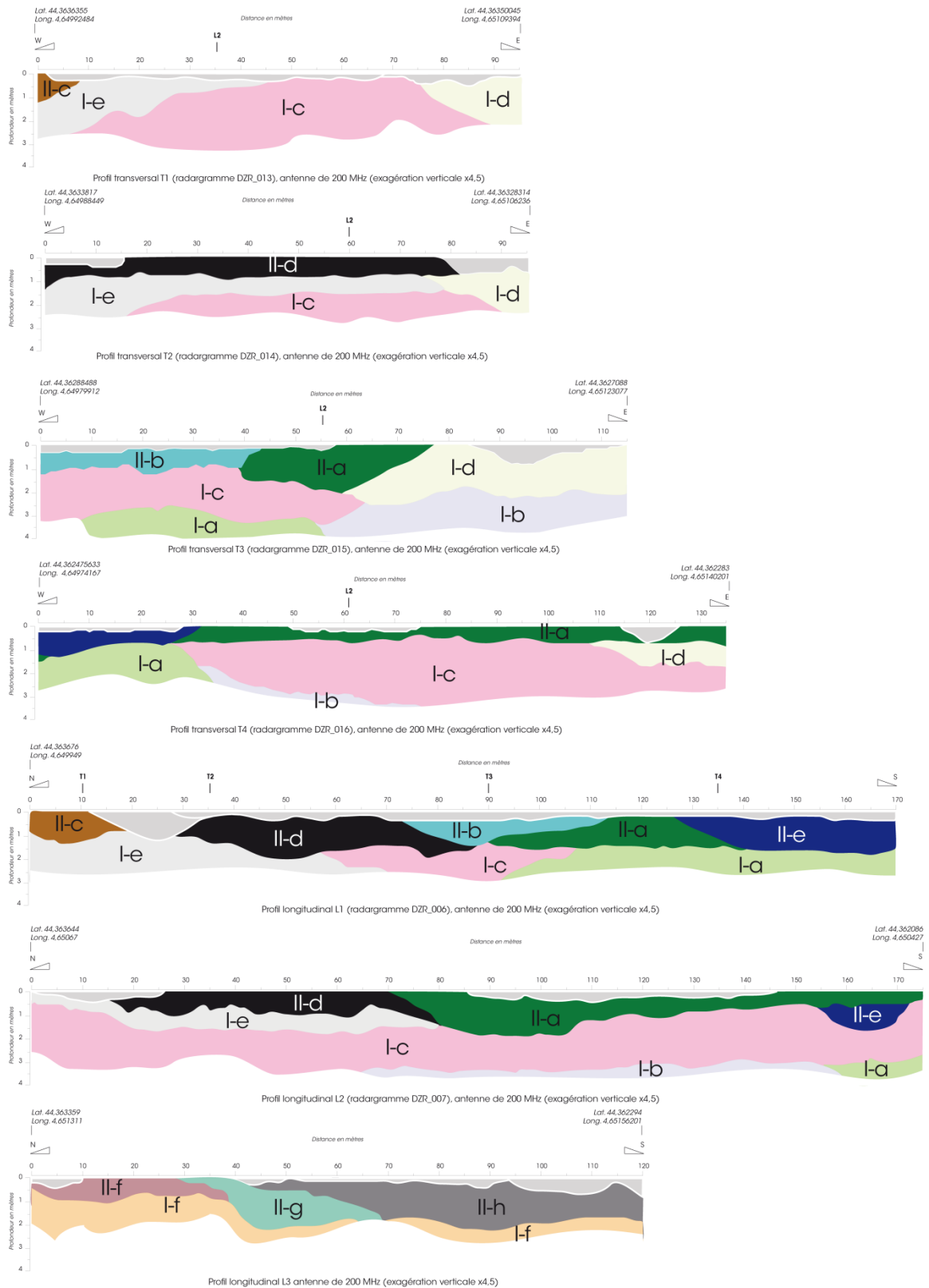
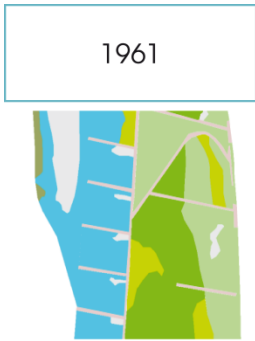


Figure 31: Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1947 à 1961 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)

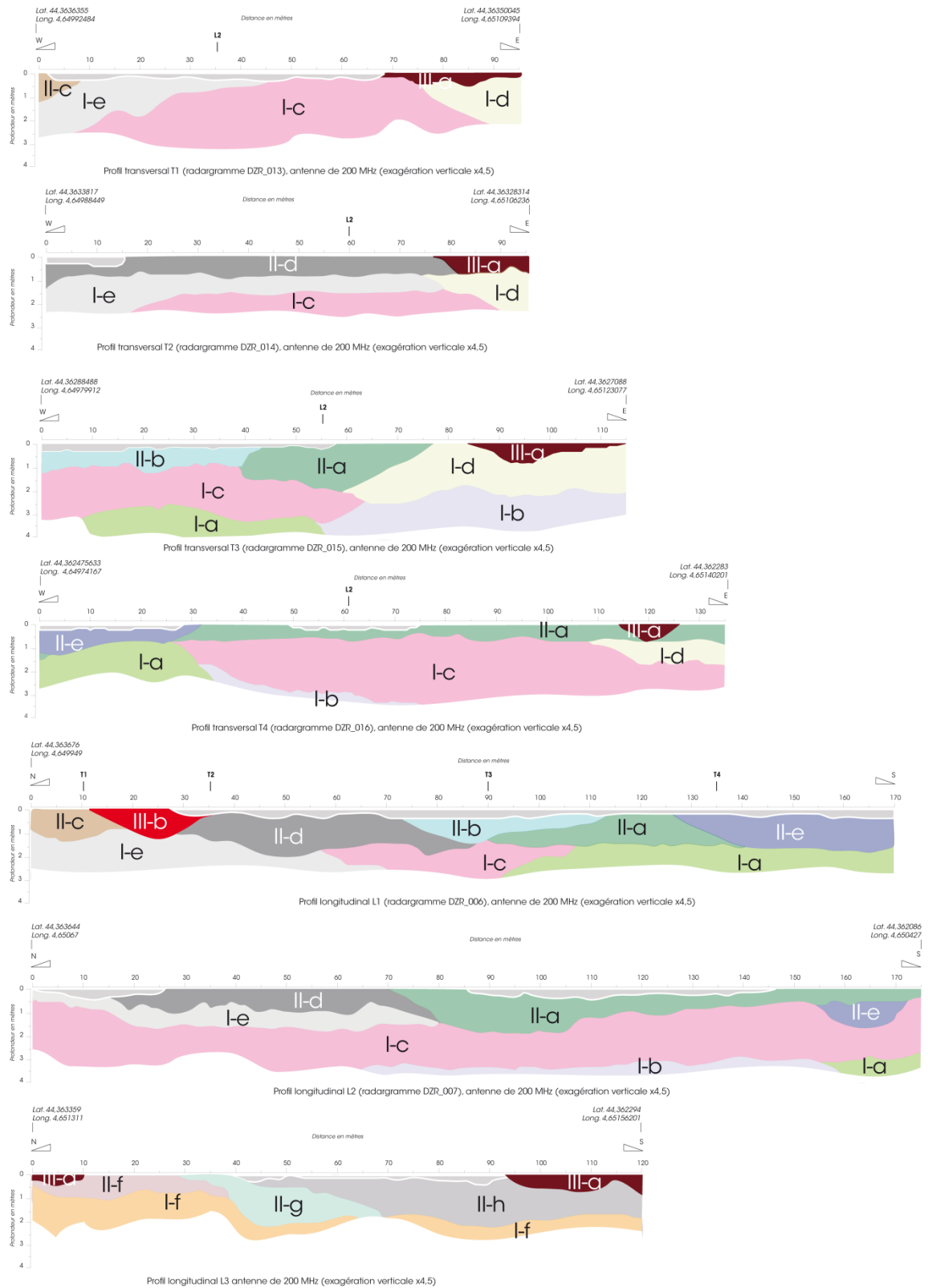
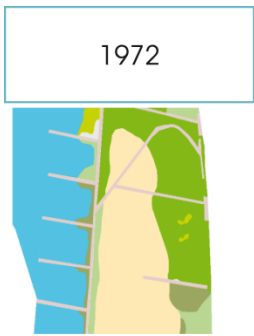


Figure 32 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1961 à 1972 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)

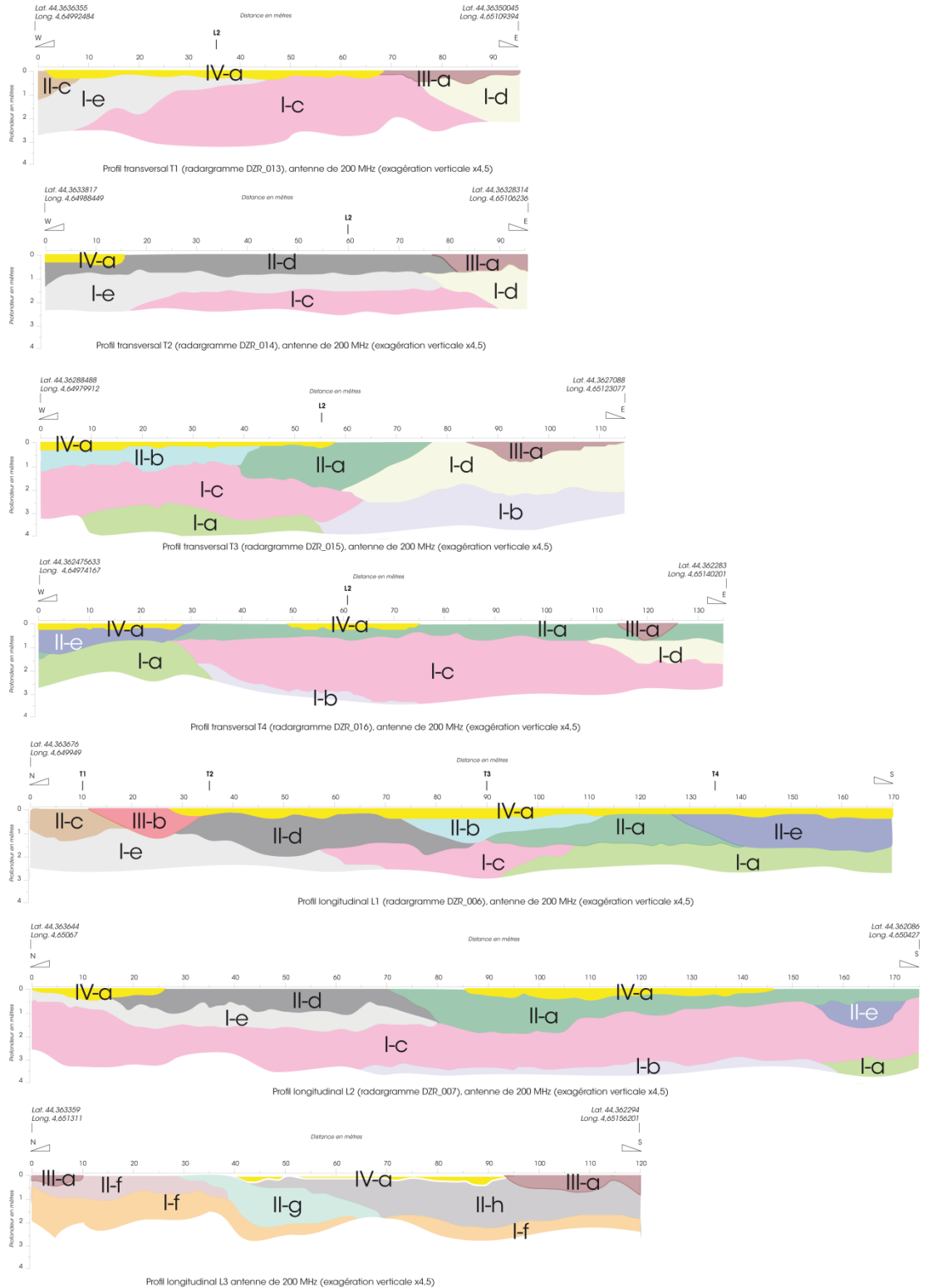
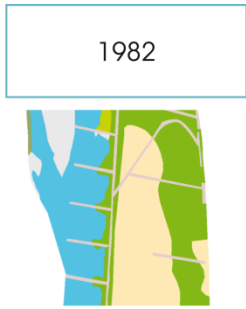


Figure 33 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz : de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1972 à 1982 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)

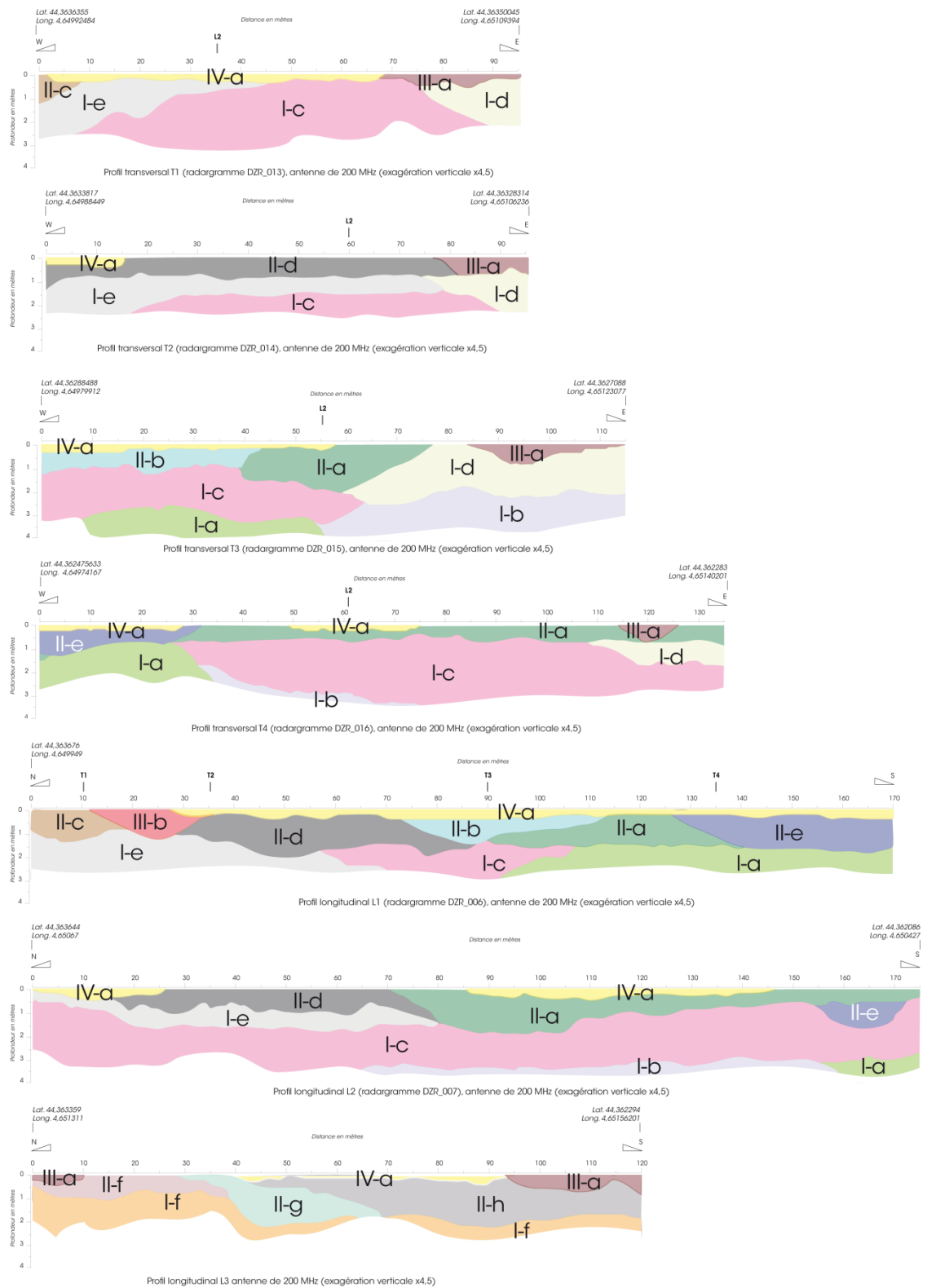
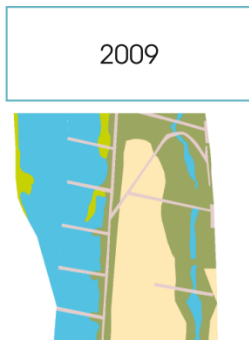


Figure 34 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1982 à 2009 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)

N - 4. Le modèle 3D sous Rockworks

Sur la base des structures sédimentaires identifiées sur chaque profil de l'antenne de 200 MHz, la construction d'un modèle 3D est réalisée sur le logiciel Rockworks, dans le but de déterminer le volume et la position de chacune de ces unités.

Cette étape nécessite de :

- rentrer chaque profil avec un système de coordonnées dans un repère cartésien et indiquer les limites dans l'espace du projet ;
- faire le choix d'une méthode d'interpolation et d'un nombre de nœuds.

Le présent chapitre propose de détailler chacune de ces étapes.

✓ Le système de coordonnées pour chaque profil et les limites dans l'espace du projet

Afin de représenter l'ensemble structures sédimentaires dans l'espace, chaque profil doit être affecté de coordonnées dans un repère cartésien, dont l'origine est l'arrivée du transect L1.

Ces coordonnées permettent de représenter ensuite dans l'espace les différents profils (cf. fig. 35), et de procéder à d'éventuels recalages des limites des structures sédimentaires au niveau des intersections entre les profils longitudinaux et transversaux pour un parfait recouvrement de ces structures.

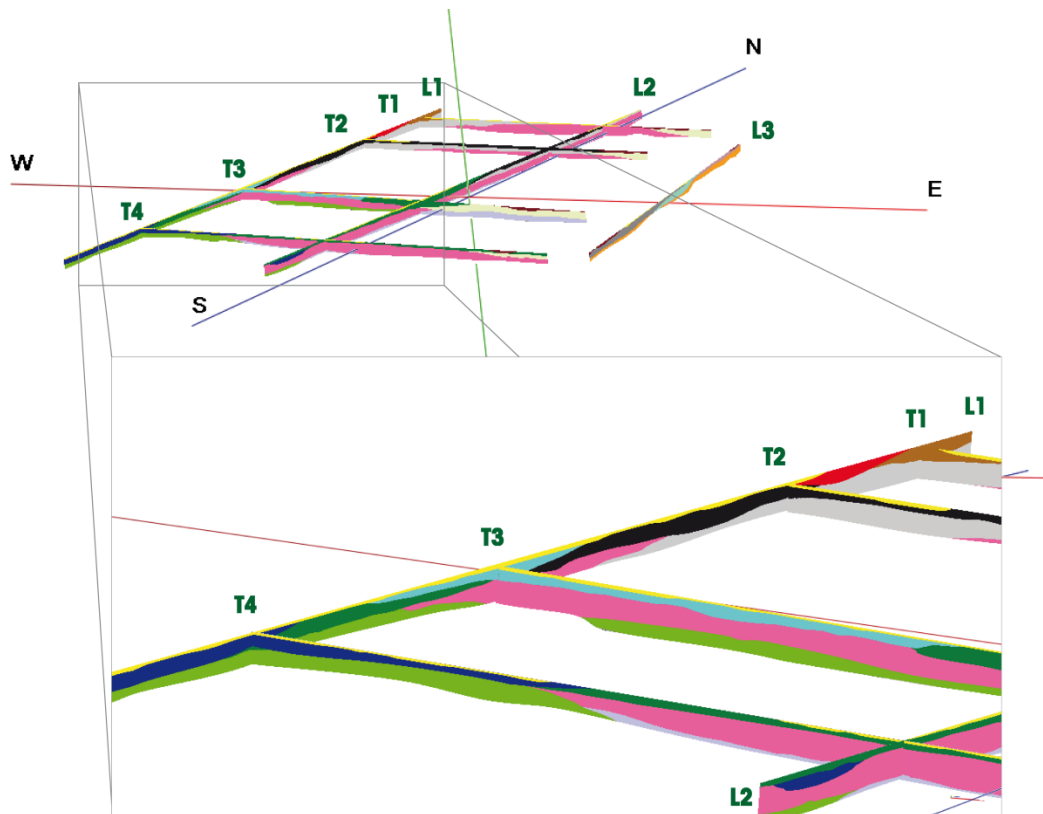


Figure 35 : Représentation dans l'espace des profils de l'antenne de 200 MHz avec les structures sédimentaires identifiées et colorisées (Rockworks) ; zoom sur le profil L1 pour illustrer le parfait recouvrement des structures avec T1, T2, T3 et T4.

Le logiciel Rockworks utilisé ne peut considérer comme zone de projet qu'un parallélépipède rectangle ; les limites de la zone d'interpolation ont été fixées dans le même repère cartésien que

celui des profils, et correspondent de manière satisfaisante à celle du casier. Aucun polygone de découpe n'a donc été utilisé dans la suite du traitement et du calcul des volumes.

✓ **Choix d'une méthode d'interpolation et d'un nombre de nœuds**

Pour créer un solide à partir des profils radar, le logiciel Rockworks utilise une méthode d'interpolation en voxel, qui est un pixel en trois dimensions soit en cube, soit en parallélépipède rectangle. L'algorithme choisi est l'algorithme Inverse-Distance Anisotropic, qui réalise l'interpolation d'un nouveau voxel sur la base des voxels situés dans chaque secteur à 90°. Cette recherche des voxels voisins est ainsi dirigée dans l'espace, donc particulièrement adaptée au mode de dépôt des structures sédimentaires.

Chaque voxel correspondant à un nœud, le nombre de nœuds qui va servir à l'interpolation des profils doit donc être défini. Ce choix doit tenir compte différentes contraintes :

- un nombre de nœuds insuffisant conduirait à une estimation trop imprécise des volumes,
- un nombre de nœuds trop important permettrait une bonne estimation des volumes et un très bon rendu visuel, mais avec un temps de calcul excessif.

À la suite des résultats issus de différents essais, nous avons retenu les paramètres suivants : un nœud tous les 3m selon l'axe des X (soit 53 nœuds), tous les 3mcm selon l'axe des Y (soit 59 nœuds) et tous les 5 cm selon l'axe des Z (soit 81 nœuds), soit un total de 253 287 nœuds. Ces paramètres permettent un compromis satisfaisant entre le rendu visuel, la précision sur l'estimation des volumes et le temps de calcul (cf. fig. 36). Il est cependant possible d'améliorer la précision des estimations de volumes en augmentant le nombre de nœuds, ce qui ne nous semblait pas nécessaire dans le cadre de cette étude mais qui pourrait être réalisée par la suite sur simple demande des équipes participant au projet.

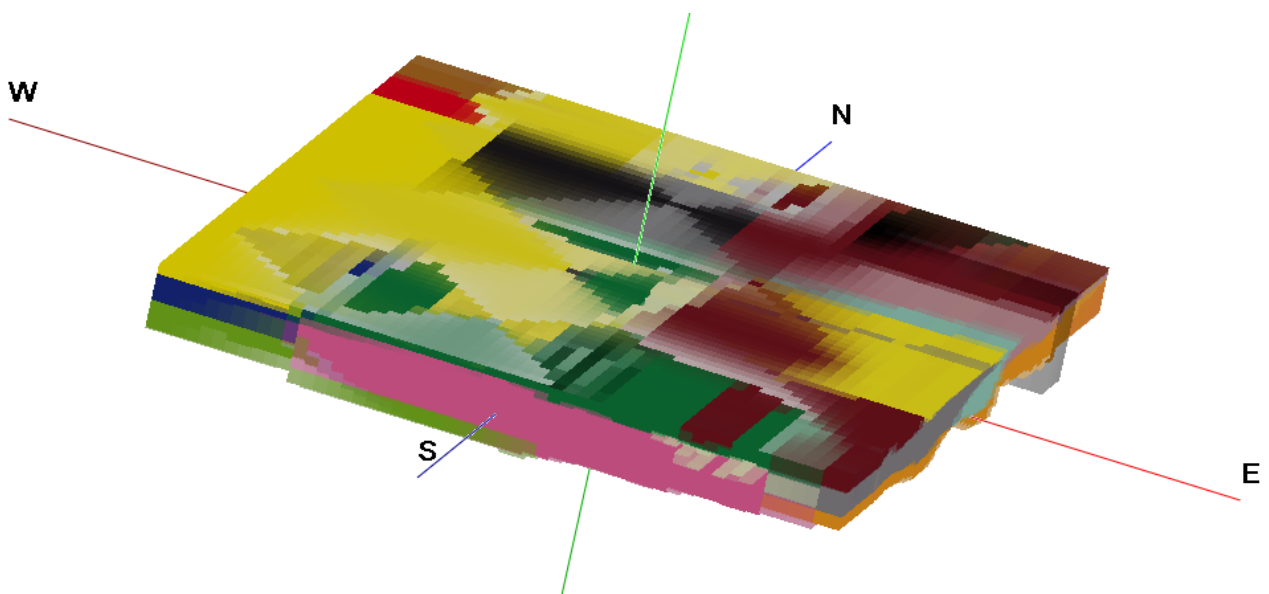



















Figure 36 : Modèle en 3D du remplissage sédimentaire de la zone investiguée

✓ **Calcul du volume de chaque structure sédimentaire**

À l'aide du logiciel Rockworks, le volume de chaque structure sédimentaire identifiée a été calculé sur une zone d'interpolation correspondant à l'ensemble du casier Girardon investigué. Les volumes

calculés sont répertoriés dans le **tableau 12**, pour chaque structure sédimentaire, toujours en fonction des fenêtres temporelles précédemment identifiées.

Tableau 12 : Volume dans chaque fenêtre temporelle pour chaque structure sédimentaire identifiée (en m³)

Fenêtre temporelle	Structure(s) déposée(s), dans l'ordre chronologique des dépôts	Volume en m ³
1901 (Branciard)	Mise en place du toit des graviers	
De 1901 à 1947	 I-a	4 702
	 I-b	3 884
	 I-c	28 500
	 I-d	4 990
	 I-e	4 676
	 I-f	3 959
De 1947 à 1961	 II-a	6 417
	 II-b	1 508
	 II-c	1 349
	 II-d	4 589
	 II-e	2 064
	 II-f	861
	 II-g	1 386
	 II-h	2 508
De 1961 à 1972	 III-a	2 341
	 III-b	400
De 1972 à 1982	 IV-a	2 449
De 1982 à 2009	Pas de dépôt de nouvelles structures Incision de la partie latérale Est	

Selon ce modèle, nous pouvons sommer le volume sédimentaire déposé pour chaque période :

- de 1901 à 1947 : 50 711 m³ (avec une très grande dominance de la structure I-c : 56% des dépôts)
- de 1947 à 1961 : 20 682 m³ (majoritairement les structures II-a et II-d)
- de 1961 à 1972 : 2 741 (majoritairement la structure III-a, qui correspond au remplissage d'un ancien chenal)
- de 1972 à 1982 : 2 449 m³ (uniquement la structure IV-a).

La somme des volumes de chaque structure sédimentaire (76 583 m³) présente un écart de 5 % au volume total du casier calculée par le logiciel (80 600 m³). Cet écart se justifie par le nombre limité de profils et donc d'informations sur l'ensemble du casier. Par souci de cohérence, le volume total retenu pour la zone investiguée est celui de la somme des volumes de chaque structure, soit 76 583 m³.

La structure I-c (en rose sur les profils) représente à elle seule 37 % du remplissage sédimentaire.

La **figure 37** représente le pourcentage du volume de chaque structure sédimentaire sur l'ensemble du volume.

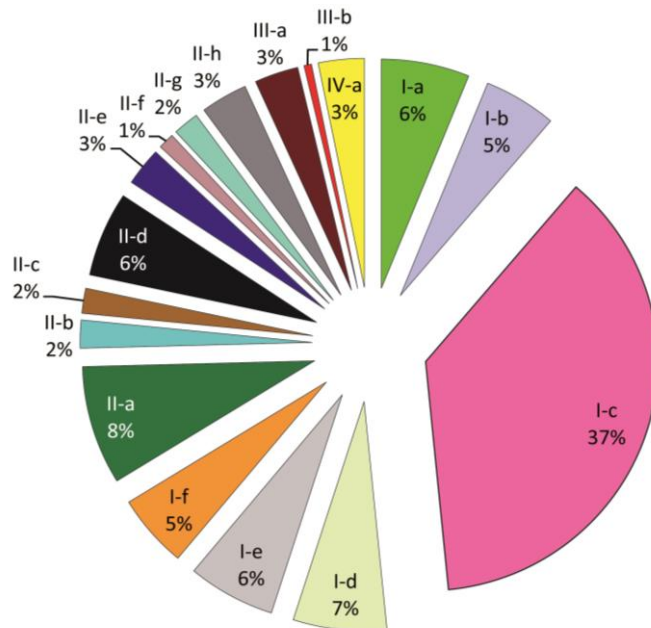


Figure 37 : Pourcentage de chaque structure sédimentaire (en volume)

La **figure 38** représente dans l'espace de la zone investiguée la plupart des structures sédimentaires, par ordre décroissant de leur volume respectif.

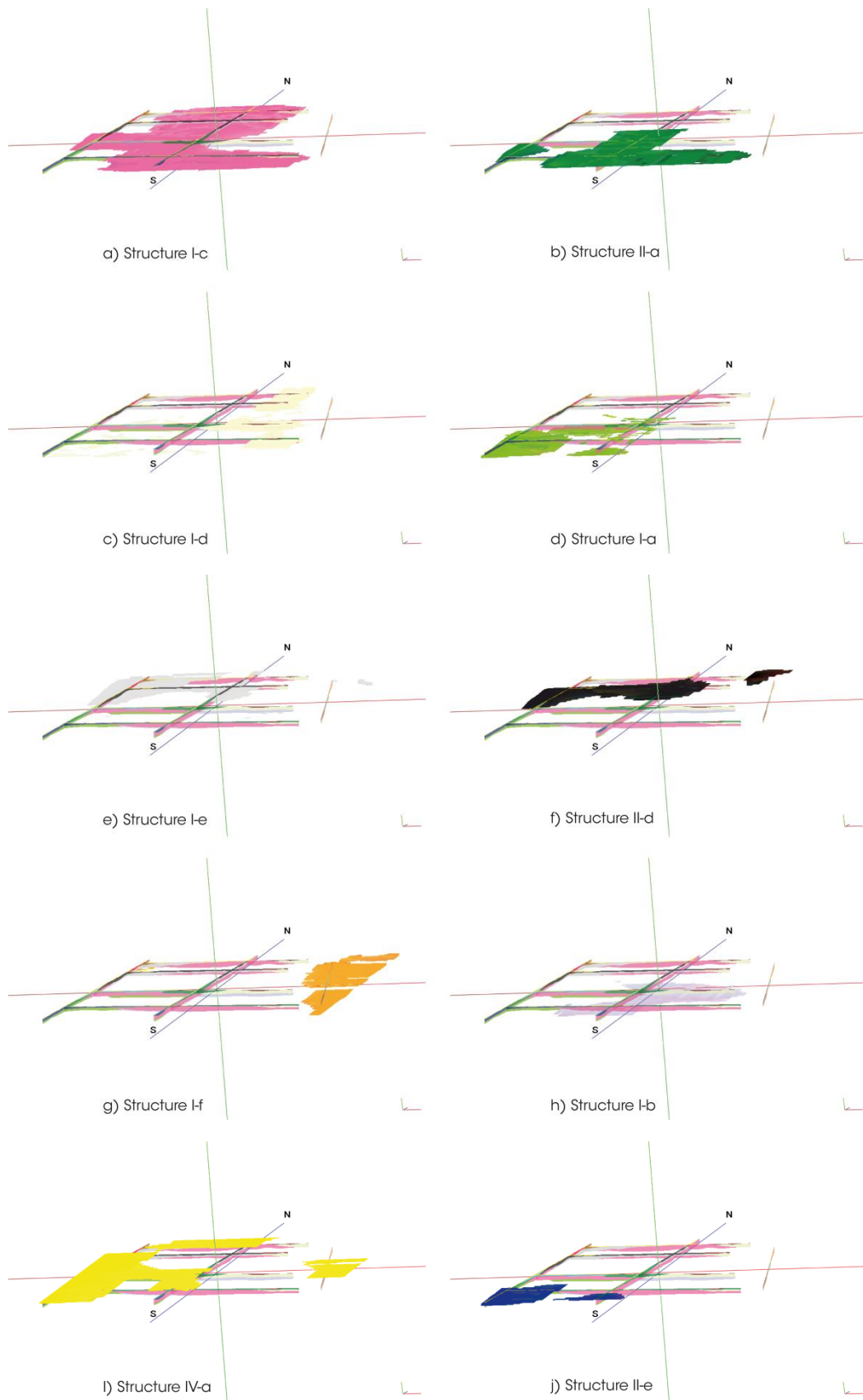


Figure 38 : Représentation dans l'espace des volumes de la majorité des structures sédimentaires de la zone investiguée

La présente étude a pour but de réaliser une investigation au radar géologique du remplissage sédimentaire sur un casier Girardon de Donzère-Mondragon afin d'en estimer ultérieurement la masse en PCBi.

Sur le site d'étude, chacun des sept transects a été investigué avec une antenne de 100 MHz, 200 MHz et 400 MHz (soit une longueur totale d'investigation de 2,715 km), avec un relevé au D-GPS ou GPS d'environ 150 points.

Le remplissage de la zone d'étude est délimitée par la surface topographique et par le lit de l'ancien Rhône, appelé toit des graviers. La profondeur d'investigation du radar géologique avec les antennes de 100 MHz et de 200 MHz permet d'identifier le réflecteur du toit des graviers et de le positionner dans l'espace. Au regard de ces résultats, le radar géologique s'avère donc une méthode très satisfaisante pour estimer la position du toit des graviers dans l'espace ; quelques relevés à la perche sont néanmoins nécessaires pour caler cette limite lorsque des zones d'argile atténuent la pénétration de l'onde. Une comparaison avec d'autres éventuels relevés à la perche permettrait de confirmer cette position, les relevés à la perche transmis par la CNR ne se situant pas exactement dans la zone d'étude ; néanmoins, les résultats actuels sont cohérents entre eux, avec une profondeur du toit des graviers majoritairement située vers 3 mètres.

Après acquisition et traitement des radargrammes, les réflecteurs des profils acquis à l'antenne de 200 MHz sont parfaitement visibles et la résolution verticale de l'ordre de 20 cm permet d'identifier les structures sédimentaires en place. Cette identification est cohérente sur le site d'étude avec l'étude diachronique (évolution de la limite de la berge en fonction du temps). Le couplage de ces informations permet d'établir une chronologie du remplissage sédimentaire du casier, en détaillant la temporalité de dépôt de chacun des dix-sept structures identifiées sur l'ensemble des sept profils (antenne de 200 MHz).

Le positionnement dans l'espace des différents profils avec les structures sédimentaires identifiées permet, par interpolation, de mesurer des volumes (logiciel Rockworks). Le remplissage sédimentaire est constitué à 37 % d'une seule structure, avec un faciès de silts et de fines, sans structuration particulière. Nous pouvons également identifier la position d'anciens chenaux, et de lentilles de sables grossiers.

La majorité du remplissage sédimentaire du casier de Donzère-Mondragon s'est déposé entre 1901 et 1961, soit avant le pic de pollution en PCBi en France de 1975. La structure susceptible de contenir le maximum de polluants organiques de type PCBi est la structure IV-a, qui représente en volume uniquement 3 % du remplissage, et qui est située en surface. Cette hypothèse ne prend pas en compte d'éventuelles remobilisations de stocks pollués, et sera confirmée ou infirmée par des analyses en polluants.

Cette première partie de l'étude permet d'identifier les structures sédimentaires à investiguer par carottages haute résolution de manière prioritaire. Cette campagne de prélèvement et ces résultats d'analyses chimiques et sédimentologiques sont présentés dans la **Partie B**, et permettra d'estimer, grâce à la connaissance des volumes respectifs de chaque structure, de la masse en PCBi comprise dans le casier investigué (cf. **Partie C**).

PARTIE B

PRÉLÈVEMENT, DESCRIPTION ET ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES DES TROIS ARCHIVES SÉDIMENTAIRES PRÉLEVÉES SUR LA ZONE D'ÉTUDE

I – Contexte scientifique et objectif de la phase B	71
II - Localisation des prélèvements par carottage	72
III – Matériel et méthodes	82
III – 1. Le carottage	82
III – 2. La description sédimentologique	82
III – 3. Les analyses granulométriques	82
IV – Résultats	84
IV – 1. La carotte DZR_1601	84
IV – 1. a. La description sédimentologique	84
IV – 1. b. Les analyses granulométriques	85
IV – 2. La carotte DZR_1602	86
IV – 2. a. La description sédimentologique	86
IV – 2. b. Les analyses granulométriques	87
IV – 3. La carotte DZR_1603	89
IV – 3. a. La description sédimentologique	89
IV – 3. b. Les analyses granulométriques	91
IV – 4. Relation avec les structures sédimentaires précédemment identifiées	92
V – Synthèse et conclusion	96
Liste des annexes	69
Liste des figures	70
Liste des tableaux	70

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 – Éléments et définitions des termes de l'analyse granulométrique

Annexe 2 – Description lithologique des trois archives sédimentaires

Annexe 3 – Mesures granulométriques réalisées sur les carottes DZR_1601, DZR81602 et DZR_1603

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des transects de la phase 1 de la présente étude sur Donzère-Mondragon (source LIDAR : CNR)	72
Figure 2 : Profils L1, L2 et L3 traités et interprétés, antenne de 200 MHz	73
Figure 3 : Profils T1, T2, T3 et T4 traités et interprétés, antenne de 200 MHz	74
Figure 4 : Estimation du volume de chaque structure sédimentaire	75
Figure 5 : Production et consommation (en tonnes) de PCBi en France	75
Figure 6 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1961 à 1972 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)	76
Figure 7 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1972 à 1982 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)	77
Figure 8 : Localisation des trois carottages sur le casier de Donzère-Mondragon (source image: Google Earth) ..	14
Figure 9 : Localisation des points de carottage court sur les transects réalisés au radar géologique (source LIDAR : CNR)	78
Figure 10 : Positionnement des prélèvements par carottage court DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 et des prélèvements à la tarière *1, *2 et *3 sur les radargrammes L2, T2, T3, et T4 de l'antenne de 200 MHz traités	79
Figure 11 : Positionnement des prélèvements par carottage court DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 et des prélèvements à la tarière *1, *2 et *3 sur les radargrammes L2, T2, T3, et T4 de l'antenne de 200 MHz traités et interprétés (les structures sédimentaires sont représentées en transparence pour laisser visible le radargramme correspondant)	81
Figure 12 : Échelle granulométrique AFNOR	83
Figure 13 : Le granulomètre Mastersizer 2000 et le préparateur d'échantillon hydro 2000G	83
Figure 14 : Description sédimentologique de la carotte DZR_1601.....	84
Figure 15 : Résultats des mesures granulométriques (pourcentage de sable, silt et argile) réalisées sur la carotte DZR_1601 (pas d'échantillonnage de 2 cm)	85
Figure 16 : Répartition des 39 échantillons de la carotte DZR_1601 dans un diagramme ternaire sable / silt / argile	86
Figure 17 : Description sédimentologique de la carotte DZR_1602	87
Figure 18 : Résultats des mesures granulométriques (pourcentage de sable, silt et argile) réalisées sur la carotte DZR_1601 (pas d'échantillonnage de 2 cm)	88
Figure 19 : Répartition des 32 échantillons de la carotte DZR_1602 dans un diagramme ternaire sable / silt / argile	89
Figure 20 : Description sédimentologique de la carotte DZR_1603	90
Figure 21 : Résultats des mesures granulométriques (pourcentage de sable, silt et argile) réalisées sur la carotte DZR_1603 (pas d'échantillonnage de 2 cm)	91
Figure 22 : Répartition des 41 échantillons de la carotte DZR_1603 dans un diagramme ternaire sable / silt / argile	92
Figure 23 : Localisation des logs des descriptions lithologiques des carottes DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 sur le radargramme L2 traité et interprété	93
Figure 24 : Structures sédimentaires investiguées à l'aide des carottages et des prélèvements à la tarière	94

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Coordonnées en longitude / latitude des trois carottages	79
---	-----------

Afin de quantifier la présence de polluants organiques comprise dans ce type d'aménagement, une étude a été réalisée sur un casier Girardon de Donzère-Mondragon afin de mettre en évidence (i) une dynamique de remplissage sédimentaire du casier par analyse diachronique de l'avancement des berges, et (ii) une chronique historique de pollution en PCBi. À la suite de l'étude réalisée au cours de la phase 1 (« Traitement et interprétation des profils radar », septembre 2016), le positionnement et le volume des structures sédimentaires principales du remplissage de la zone investiguée au radar géologique ont été estimés. Nous avons donc positionné les carottages de manière optimale, afin de pouvoir caractériser à la fois les structures présentant les volumes les plus importants, et celles déposées au moment du rejet maximal de PCBi dans l'environnement

La partie B s'articule selon les chapitres suivants :

- le premier chapitre la localisation des carottages, notamment au regard des radargrammes et du positionnement des structures sédimentaires ;
- le deuxième chapitre décrit les méthodes de carottage et d'analyse granulométrique employées au cours de l'étude ;
- le troisième chapitre présente les résultats (i) de la description lithologique des archives, (ii) des analyses granulométriques et (iii) de l'échantillonnage de ces archives en vue des mesures en polluants (PCBi).

II – LOCALISATION DES PRÉLÈVEMENTS PAR CAROTTAGE

La détermination du positionnement des prélèvements par carottage court est un des enjeux de l'étude des radargrammes (livrable de la phase 1). Pour rappel, la **figure 1** montre le positionnement des sept transects, la **figure 2** récapitule l'interprétation réalisée sur la base des radargrammes de l'antenne de 200 MHz, après traitement, pour les transects L1, L2 et L3, et la **figure 3** pour les transects T1, T2, T3 et T4.

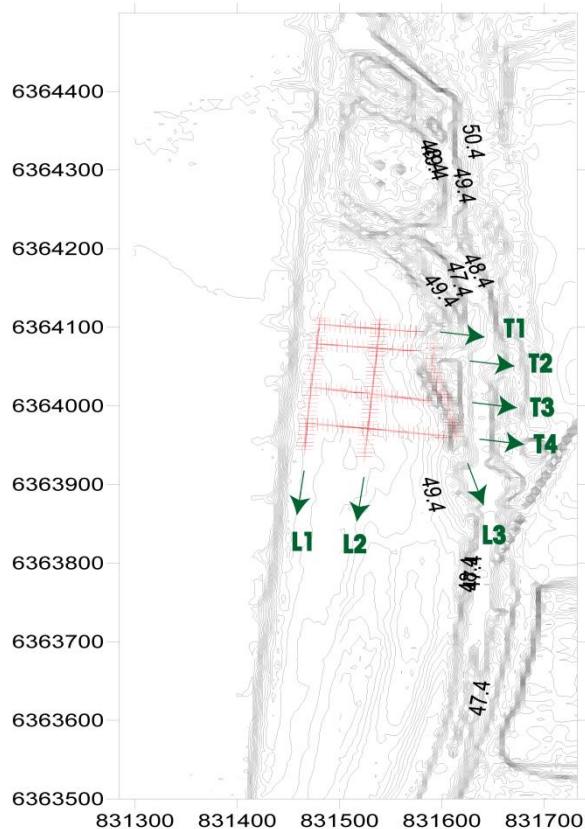
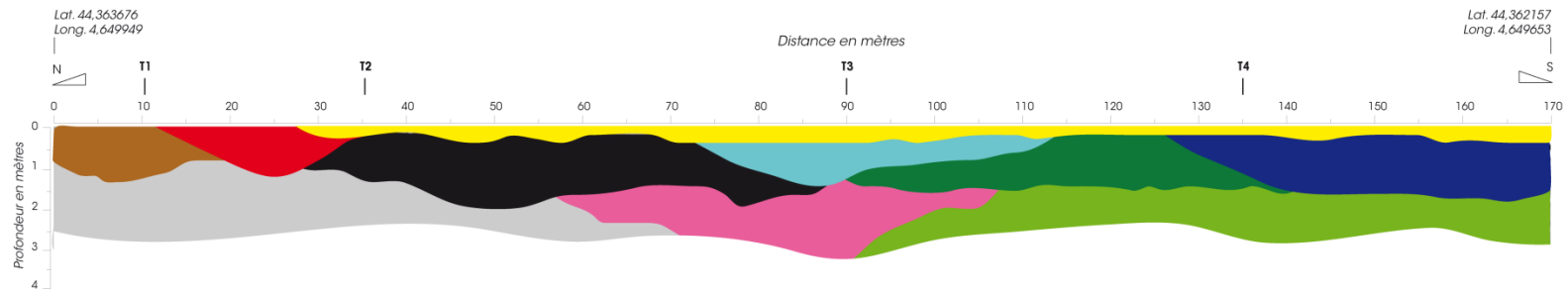
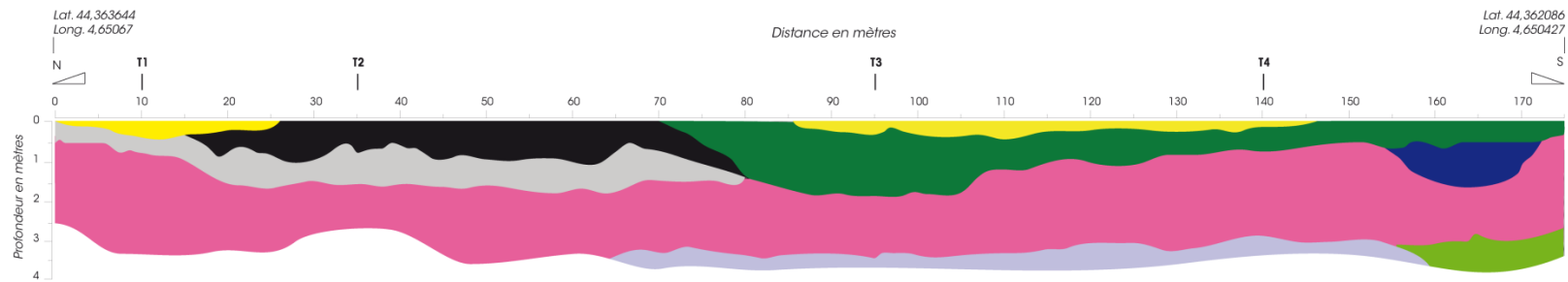


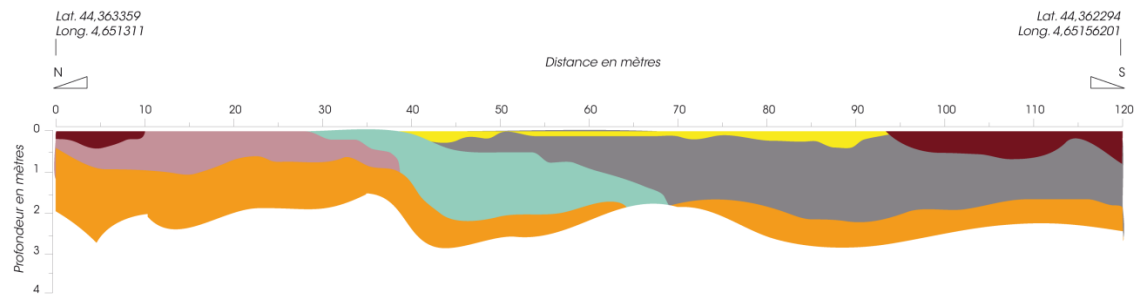
Figure 1 : Localisation des transects de la phase 1 de la présente étude sur Donzère-Mondragon (source LIDAR : CNR)



Profil longitudinal L1 (radargramme DZR_006), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)

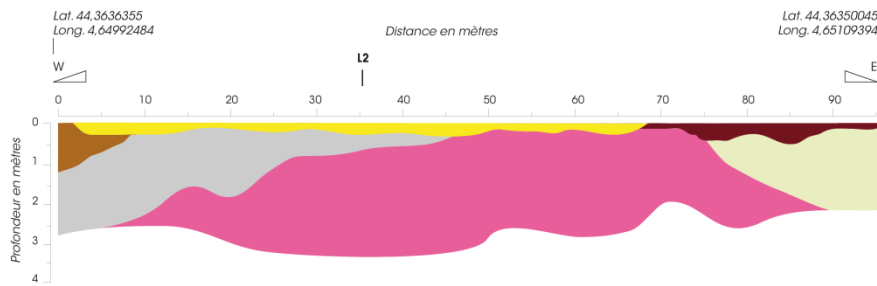


Profil longitudinal L2 (radargramme DZR_007), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)

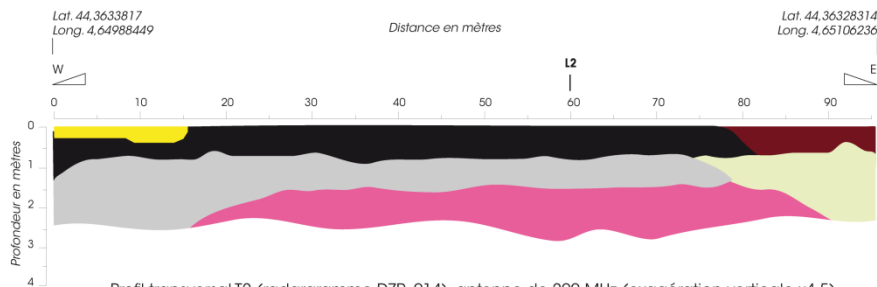


Profil longitudinal L3 antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5), structures colorisées

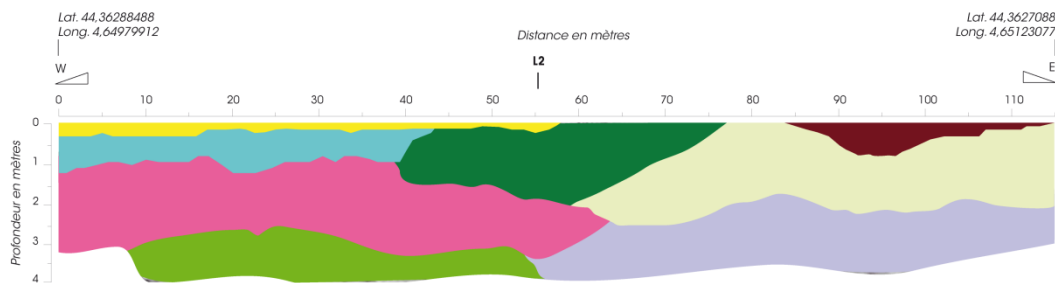
Figure 2 : Profils L1, L2 et L3 traités et interprétés, antenne de 200 MHz



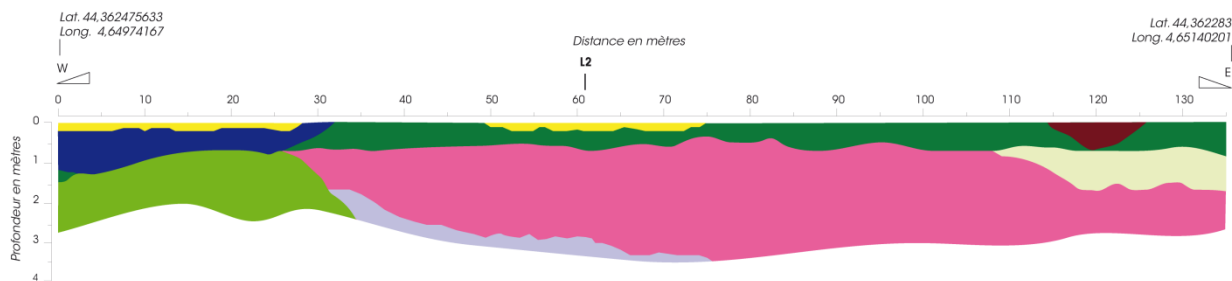
Profil transversal T1 (radargramme DZR_013), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T2 (radargramme DZR_014), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T3 (radargramme DZR_015), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T4 (radargramme DZR_016), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)

Figure 3 : Profils T1, T2, T3 et T4 traités et interprétés, antenne de 200 MHz

Lors de la phase 1 de l'étude, le volume respectif de chacune des structures a été calculé. La **figure 4** récapitule ces estimations calculées en pseudo-3D à l'aide du logiciel Rockworks (www.rockware.com).

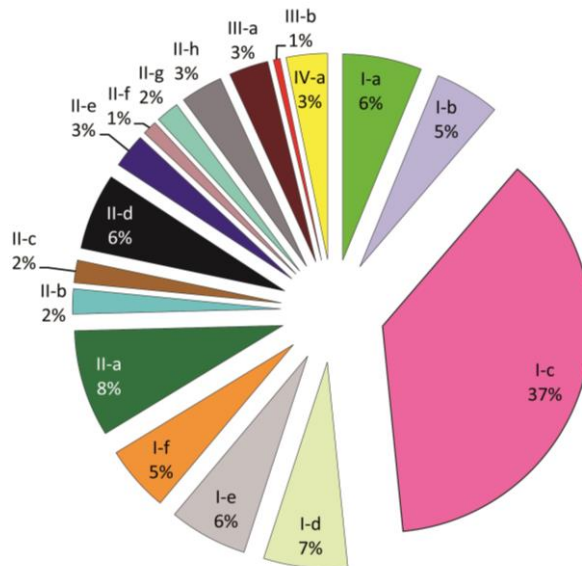


Figure 4 : Estimation du volume de chaque structure sédimentaire

La structure sédimentaire I-c (en rose) représente à elle seule 37% du remplissage de la zone investiguée ; elle doit donc être prélevée par carottage court afin d'en mesurer la teneur en polluants organiques (PCBi), de façon à caractériser un volume important du casier. Les autres structures représentatives en termes de volume sont les structures I-e (en gris clair), II-a (en vert foncé), et II-d (en noir). Elles seront-elles aussi investiguées par carottage court.

L'enjeu de l'étude étant d'estimer la masse de PCBi comprise dans le casier, il est important d'investiguer en priorité les structures déposées durant la période de rejet majoritaire de ces polluants. La **figure 5** représente l'évolution de la consommation (en tonnes) et de la production (en tonnes) de PCBi en France.

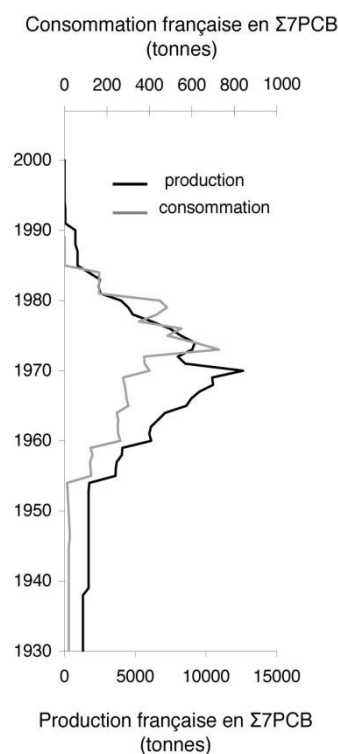


Figure 5 : Production et consommation (en tonnes) de PCBi en France

Le pic de production se situe dans les années 1970. L'étude diachronique réalisée lors de la phase 1 de la présente étude nous permet d'identifier les structures sédimentaires qui se sont déposées durant cette période. Parmi les périodes temporelles identifiées par la CNR, deux nous semblent pertinentes :

- entre 1961 et 1972, pour la phase ascendante de la production ;
- entre 1972 et 1982 pour la phase descendante qui a suivi les différentes réglementations.

Pour rappel, la **figure 6** représente les structures sédimentaires déposées entre 1961 et 1972, et la **figure 7** entre 1972 et 1982, identifiées sur les radargrammes de l'antenne de 200 MHz.

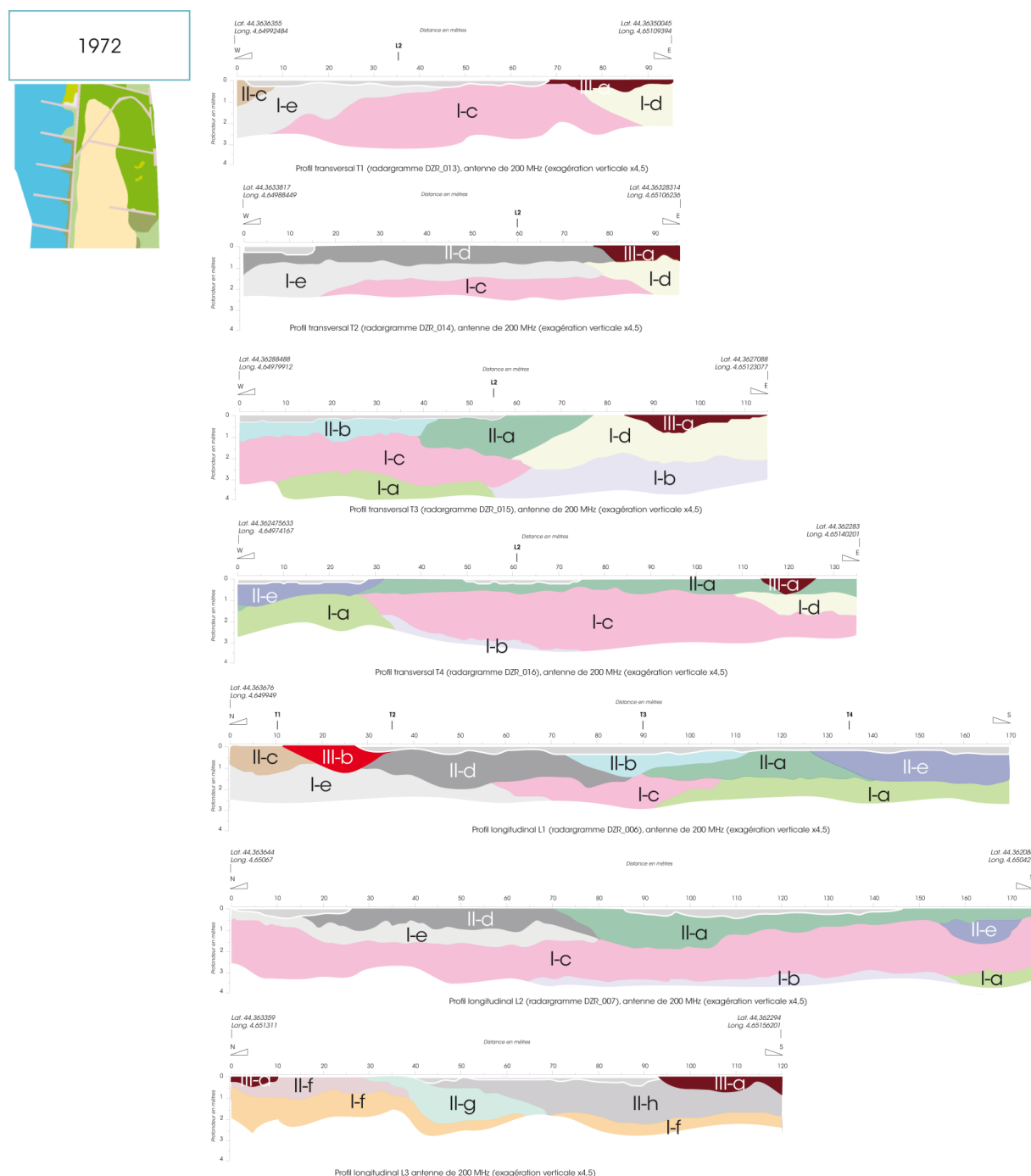


Figure 6 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1961 à 1972 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)

La structure déposée durant la période 1962-1972 la plus présente sur l'ensemble des radargrammes est la structure III-a (en bordeaux). Néanmoins, elle ne représente que 3 % seulement du remplissage sédimentaire, et est localisée sur la partie Est du casier.

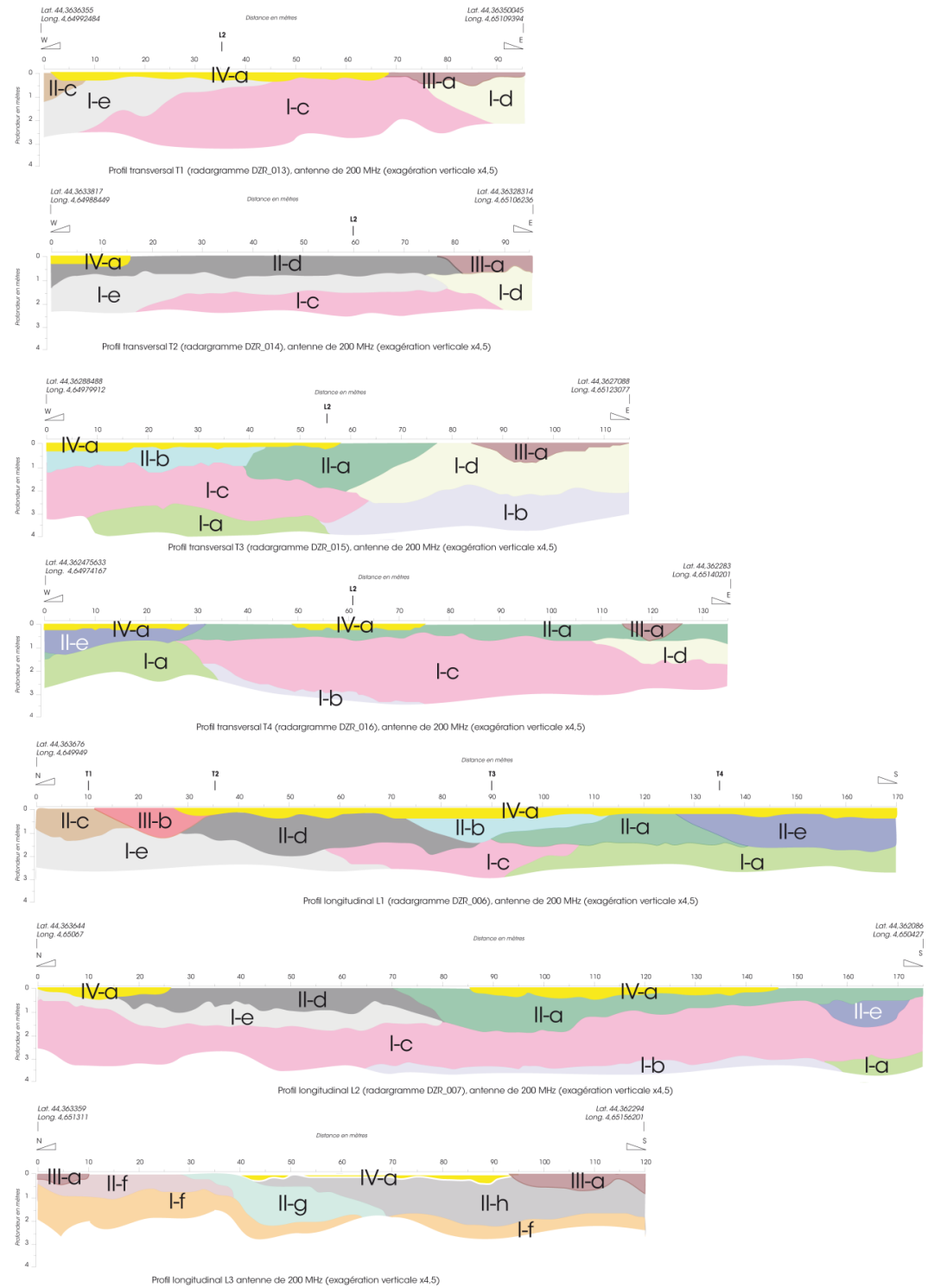
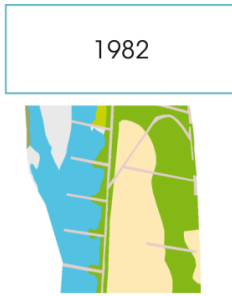


Figure 7 : Les différentes structures sédimentaires identifiées sur les sept radargrammes (antenne de 200 MHz ; de haut en bas : T1, T2, T3, T4, L1, L2, L3) du casier du site d'étude de Donzère-Mondragon de 1972 à 1982 (en couleur : les structures déposées selon la période considérée ; en gris : structures sédimentaires déposées dans des périodes postérieures ; en transparence : structures déposées dans des périodes antérieures)

La structure déposée durant la période 1972-1982 la plus présente sur l'ensemble des radargrammes est la structure IV-a (en jaune). Elle représente également 3% du remplissage sédimentaire, mais est localisée sur l'ensemble du casier, en surface.

En s'appuyant sur l'interprétation des radargrammes de l'antenne de 200 MHz et sur l'étude diachronique, les structures à analyser de manière prioritaire sont donc :

- les structures I-c, I-e, II-a et II-d pour caractériser la majorité en volume du remplissage (57 % au total) ;

- la structure III-a, qui est plutôt un remplissage d'ancien chenal, pour caractériser la pollution en PCBi présente durant la période croissante de production / consommation entre 1962 et 1972 ;

- la structure IV-a, qui est présente sur l'ensemble du casier en surface, pour caractériser la période décroissante de production / consommation en PCBi entre 1972 et 1982.

Afin d'investiguer ces structures avec un nombre de carottages courts et d'analyses optimisé, nous avons choisi le plan d'implantation suivant (cf. **fig. 8**) :

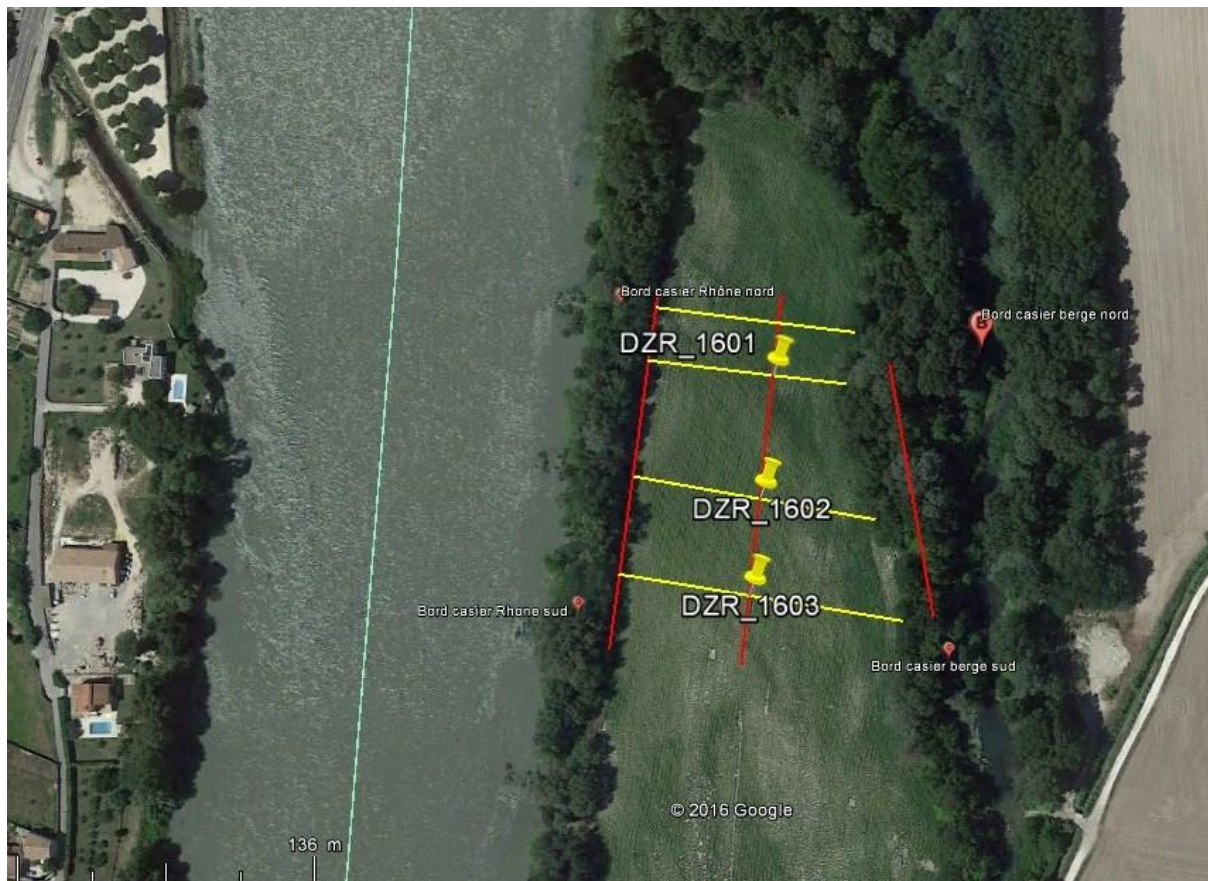


Figure 8 : Localisation des trois carottages sur le casier de Donzère-Mondragon (source image: Google Earth)

Le **tableau 1** récapitule les coordonnées des carottages, et la **figure 9** présente leur positionnement sur le LIDAR (source : CNR) où sont également représentées les localisations des différents transects.

Tableau 1 : Coordonnées en longitude / latitude des trois carottages

Carotte	Longitude	Latitude
DZR_1601	44,363310	4,650617
DZR_1602	44,362792	4,650543
DZR_1603	44,362385	4,650479

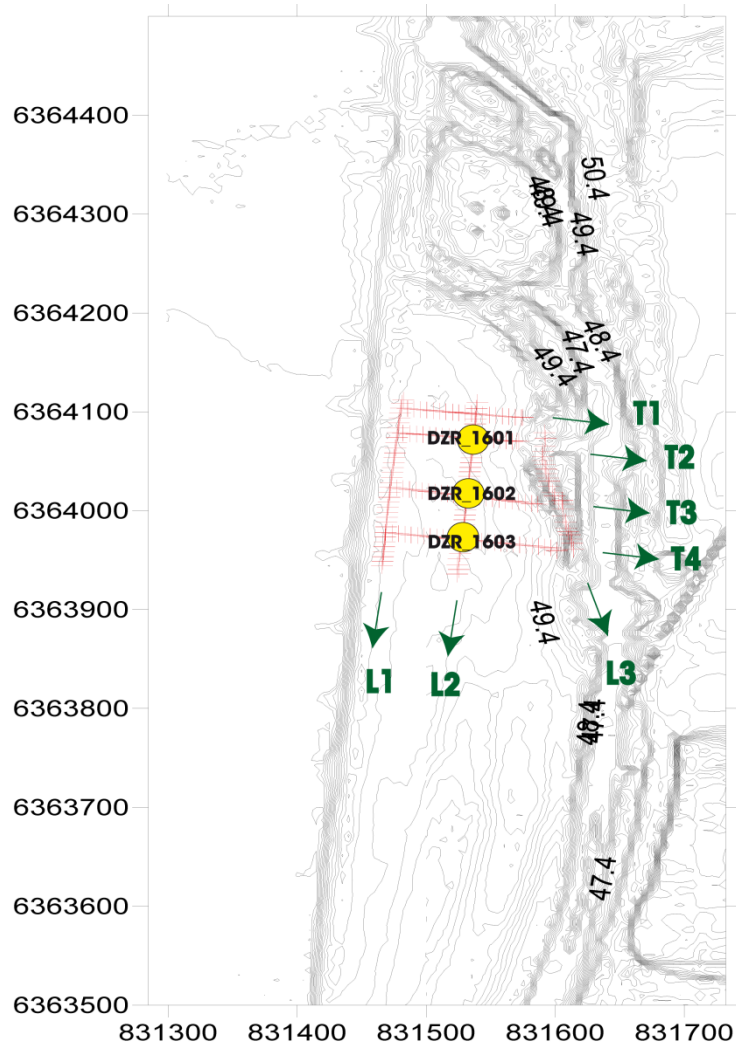


Figure 9 : Localisation des points de carottage court sur les transects réalisés au radar géologique (source LIDAR : CNR)

Chaque prélèvement est situé à l'intersection de deux transects, de façon à caractériser les remplissages sédimentaires dans les deux dimensions (x et y) avec le plus de précision possible :

- la carotte DZR_1601 est située à l'intersection de L2 et de T2 ;
- la carotte DZR_1602 est située à l'intersection de L2 et T3 ;
- la carotte DZR_1603 est située à l'intersection de L2 et T4.

La structure IIIa (en bordeaux), de par sa nature sédimentaire spécifique (remplissage d'ancien chenal), n'a pas été investiguée par carottage, mais à la tarière, ce qui est suffisant pour investiguer une structure unique. Trois prélèvements spécifiques ont été ainsi réalisés.

La **figure 10** illustre le positionnement des carottes DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 et des prélèvements à la tarière *1, *2 et *3 sur les radargrammes L2, T2, T3 et T4 acquis à l'antenne de 200 MHz traités, et la **figure 11** sur ces mêmes radargrammes interprétés en termes de structures sédimentaires.

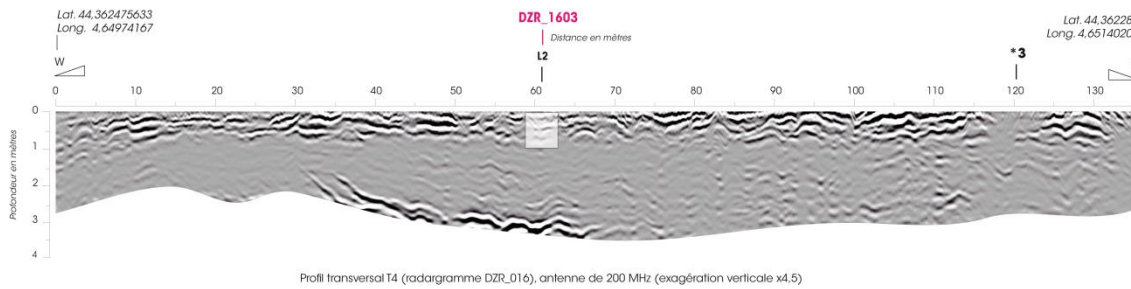
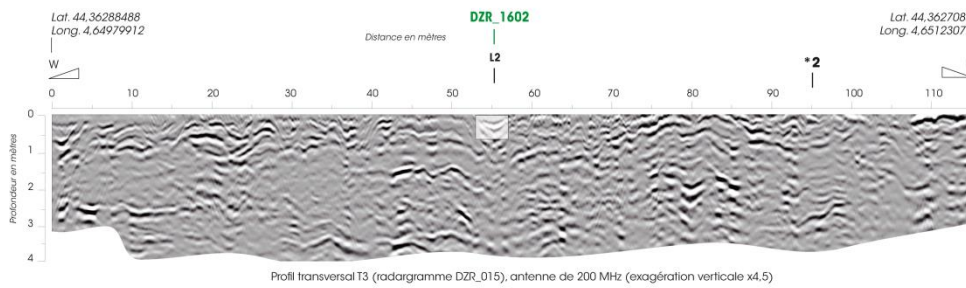
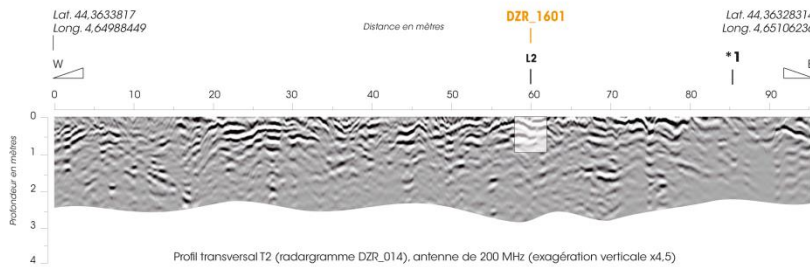
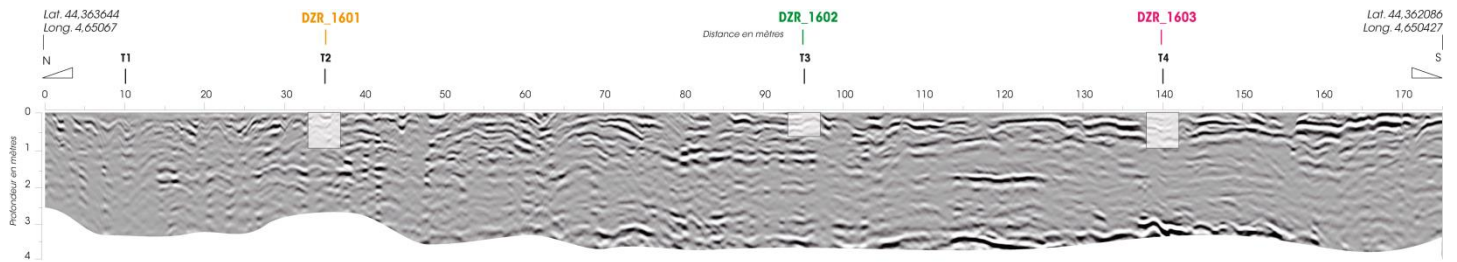


Figure 10 : Positionnement des prélèvements par carottage court DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 et des prélèvements à la tarière *1, *2 et *3 sur les radargrammes L2, T2, T3, et T4 de l'antenne de 200 MHz traités

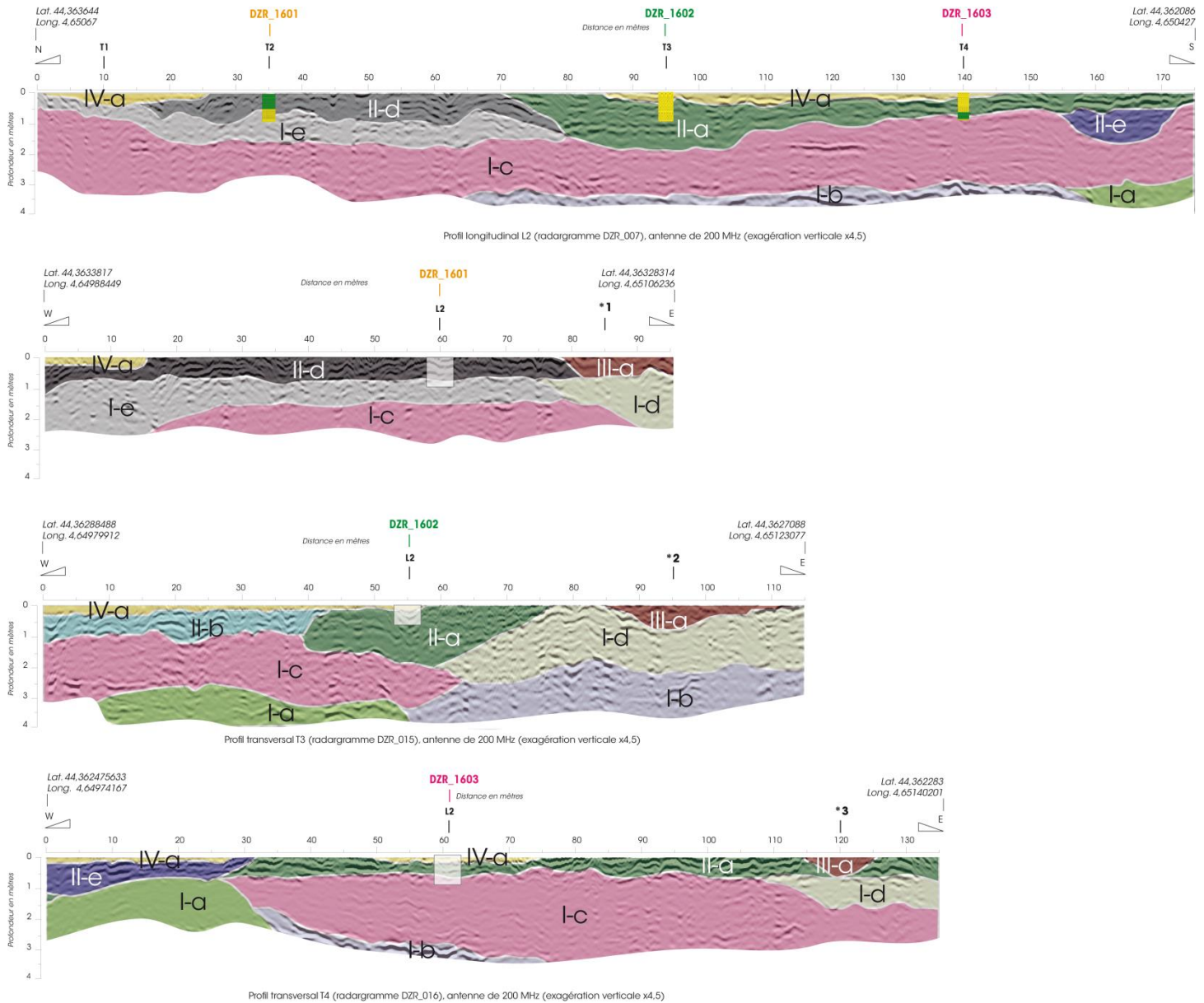


Figure 11 : Positionnement des prélèvements par carottage court DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 et des prélèvements à la tarière *1, *2 et *3 sur les radargrammes L2, T2, T3, et T4 de l'antenne de 200 MHz traités et interprétés (les structures sédimentaires sont représentées en transparence pour laisser visible le radargramme correspondant)

Les carottages n'ont pas atteint le toit des graviers : les couches de sable visibles sur les radargrammes ont en effet bloqué la progression du carottier en profondeur, et ce sur les trois prélèvements. La longueur des carottes est donc de :

- 78 cm pour DZR_1601 ;
- 64 cm pour DZR_1602 ;
- 81 cm pour DZR_1603.

Bien que ces longueurs soient relativement faibles, elles sont suffisantes pour investiguer les structures concernées, mener descriptions lithologiques et les analyses granulométriques, et réaliser un échantillonnage optimisé pour les mesures en PCBi.

III – 1. LE CAROTTAGE

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 le carottage et la mise en tube des sédiments en une seule étape, et la transparence du tube permet d'effectuer un premier contrôle visuel des sédiments prélevés. Les trois carottes ont été prélevées jusqu'au refus, qui, au regard de l'interprétation de la position du toit des graviers sur les radargrammes et des mesures réalisées en sondage à la perche, a été rencontré avant ce toit des graviers, et est dû à des couches de sable que le carottier ne peut pas traverser.

La profondeur atteinte est équivalente à la longueur des carottes, le taux de compaction est donc nul.

III – 2. LA DESCRIPTION SÉDIMENTOLOGIQUE

Réalisée dès l'ouverture des carottes, la description des archives sédimentaires permet d'identifier les différents lithofaciès 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 (<https://www.rockware.com>).

III – 3. LES ANALYSES GRANULOMÉTRIQUES

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.

L'**Annexe 1** présente des éléments détaillés ainsi qu'une définition des termes de l'analyse granulométrique.

La classification granulométrique des sédiments utilisée dans ce rapport est présentée dans la **figure 12**.

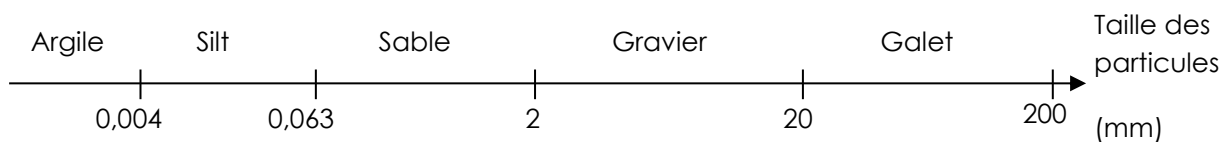


Figure 12 : Échelle granulométrique AFNOR

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 (cf. **fig. 13**). 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 (cf. **Annexe 2**)

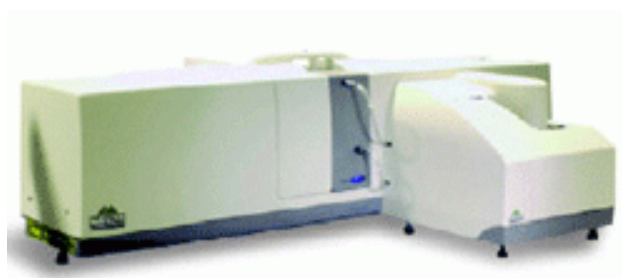


Figure 13 : Le granulomètre Mastersizer 2000 et le préparateur d'échantillon hydro 2000G

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 obscurité de la cellule de comptage comprise entre 10 et 20%.

Les mesures ont été réalisées pour chaque échantillon 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.

Les courbes granulométriques de chaque échantillon sont fournies en **Annexe 3**, ainsi que les tableaux de mesures.

IV – 1. LA CAROTTE DZR_1601

IV – 1. a. La description sédimentologique

La **figure 14** représente la description sédimentologique de l'archive sédimentaire DZR_1601.

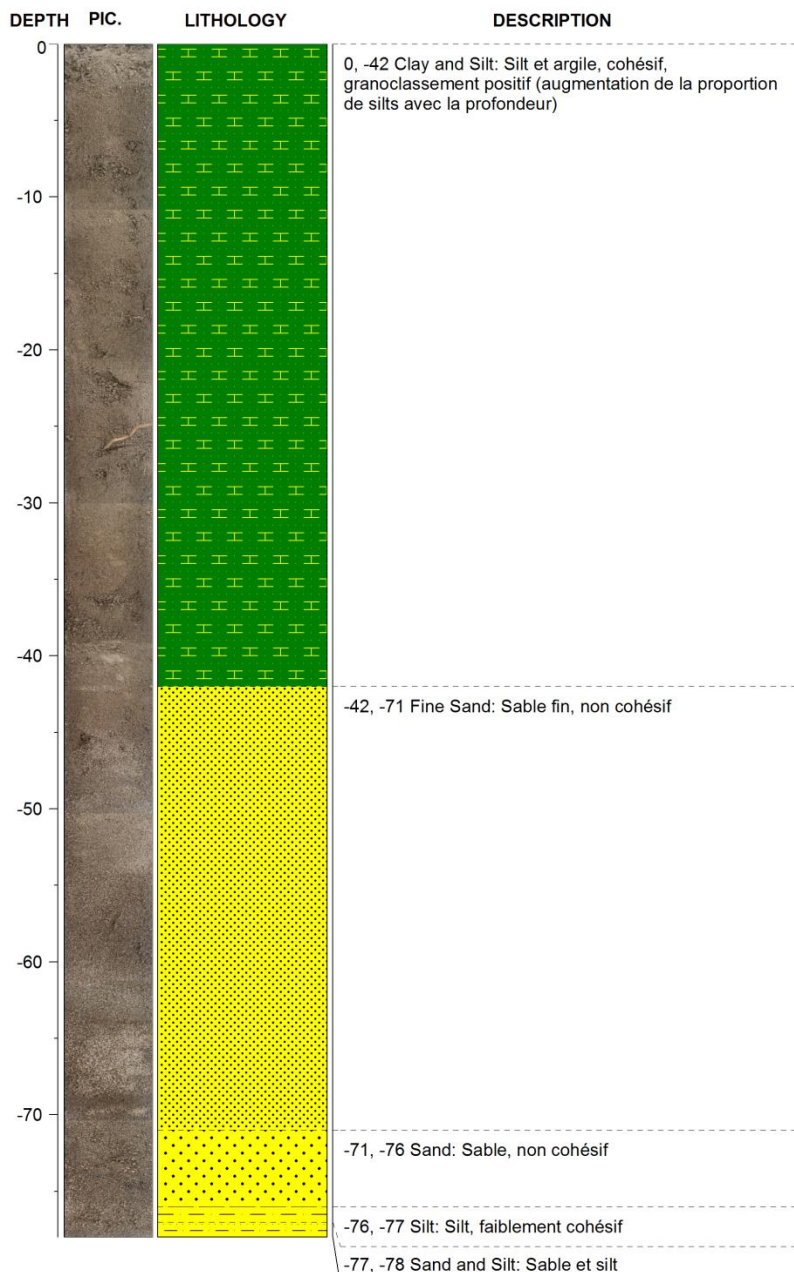


Figure 14 : Description sédimentologique de la carotte DZR_1601

De la surface à 42 cm de profondeur, la carotte présente un lithofaciès de silt et d'argile, soit une granulométrie plutôt fine. De 42 à 71 cm de profondeur, le lithofaciès est plus grossier (sable fin), non

cohésif, et ne présente pas un granoclassement particulier. De 71 à 78 cm de profondeur, nous observons une alternance de passées de silt et de sable.

IV – 1. b. Les analyses granulométriques

Des analyses granulométriques ont été réalisées avec un pas d'échantillonnage fin, soit 2 cm. Un total de 39 analyses a été réalisé sur cette archive. L'ensemble des résultats pour chaque échantillon est présenté en **Annexe 3**.

La **figure 15** représente les résultats en pourcentage de sable, silt et argile pour chaque échantillon en fonction de la profondeur ; ces résultats ont été mis en regard du log de la description précédemment établi. La **figure 16** représente la répartition de ces échantillons sur un diagramme ternaire sable / silt / argile.

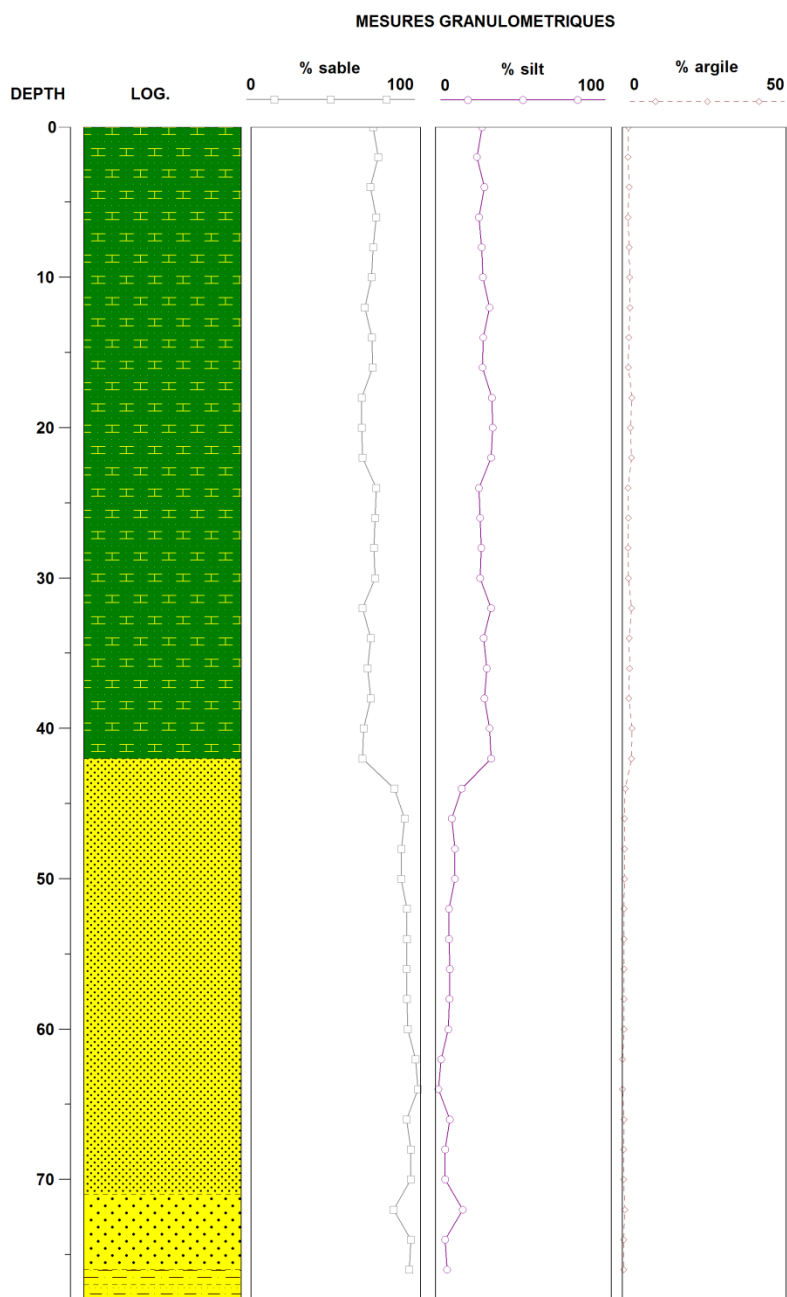


Figure 15 : Résultats des mesures granulométriques (pourcentage de sable, silt et argile) réalisées sur la carotte DZR_1601 (pas d'échantillonnage de 2 cm)

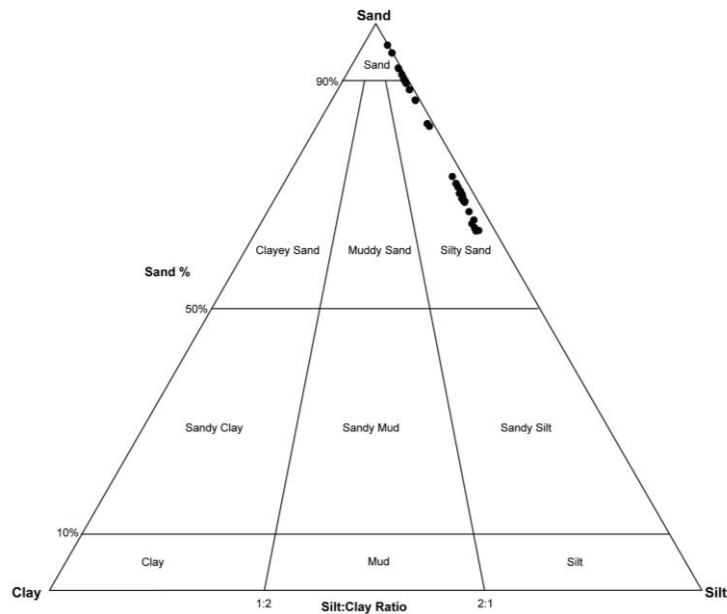


Figure 16 : Répartition des 39 échantillons de la carotte DZR_1601 dans un diagramme ternaire sable / silt / argile

Les résultats des mesures granulométriques sont tout à fait cohérents avec la description lithologique :

- de la surface à 42 cm de profondeur, le pourcentage de sable est constant, avec une moyenne de 70 % (28 % en moyenne de silt). Le D50 (non représenté dans la figure 15 mais présent pour chaque échantillon dans l'Annexe 3) est en moyenne de 135 μm ;
- de 42 à 71 cm de profondeur, les échantillons sont plus sableux, et la moyenne de sable est de 92 % (pour une moyenne en silt de 8%). Le D50 est en moyenne de 214 μm , ce qui confirme là encore la description lithologique.
- de 71 à 78 cm de profondeur, nous observons une alternance de passées sableuse et silteuse.

IV – 2. LA CAROTTE DZR_1602

IV – 2. a. La description sédimentologique

La **figure 17** représente la description sédimentologique de l'archive sédimentaire DZR_1602.



Figure 17 : Description sédimentologique de la carotte DZR_1602

Les limites franches observées sur la photographie de la carotte sont dues au montage photographique, et n'ont aucune réalité lithologique.

Cette archive sédimentaire présente une lithologie plus contrastée et avec plus d'alternance que l'archive sédimentaire DZR_1602. Dans les passées plus silteuses, la présence de ces particules plus fines rend le matériau plus cohésif.

IV – 1. b. Les analyses granulométriques

Des analyses granulométriques ont été réalisées avec un pas d'échantillonnage fin, soit 2 cm. Un total de 32 analyses a été réalisé sur cette archive. L'ensemble des résultats pour chaque échantillon est présenté en **Annexe 3**.

La **figure 18** représente les résultats en pourcentage de sable, silt et argile pour chaque échantillon en fonction de la profondeur ; ces résultats ont été mis en regard du log de la description précédemment

établi. La **figure 19** représente la répartition de ces échantillons sur un diagramme ternaire sable / silt / argile.

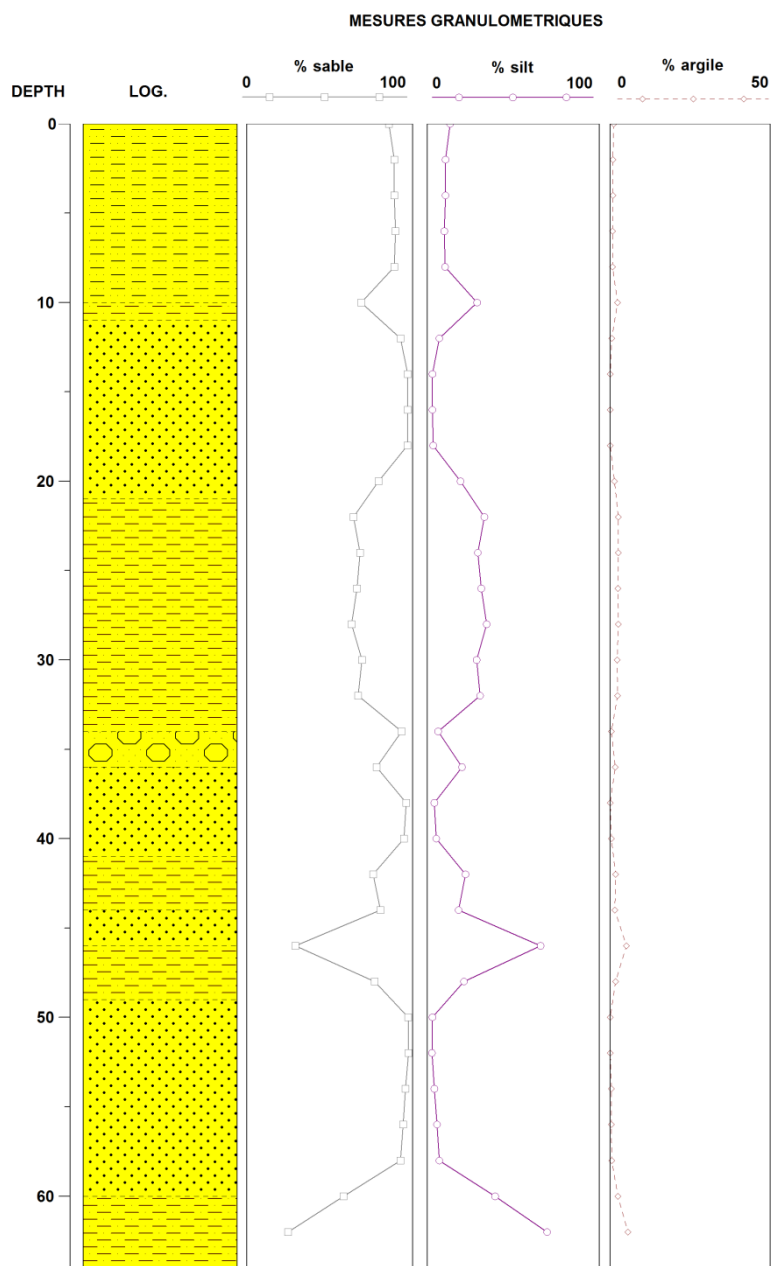


Figure 18 : Résultats des mesures granulométriques (pourcentage de sable, silt et argile) réalisées sur la carotte DZR_1601 (pas d'échantillonnage de 2 cm)

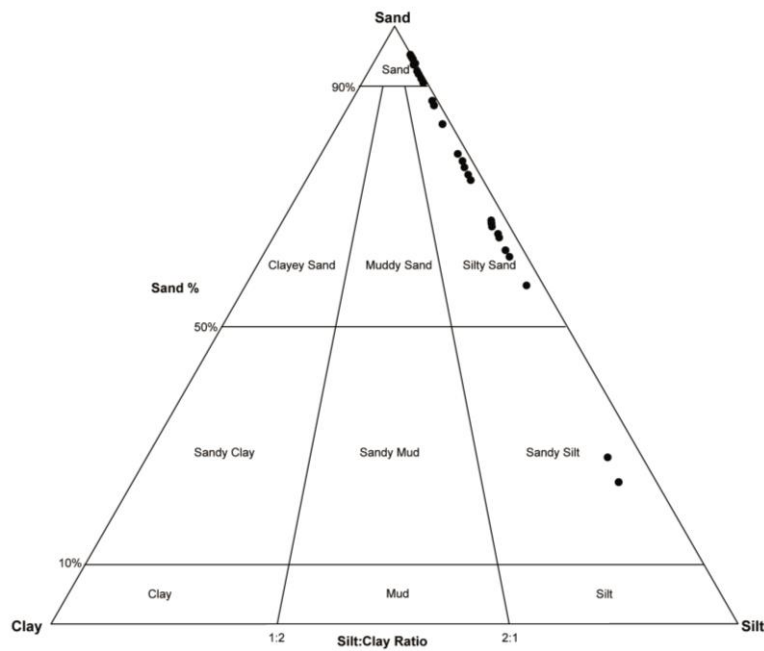


Figure 19 : Répartition des 32 échantillons de la carotte DZR_1602 dans un diagramme ternaire sable / silt / argile

Les résultats des mesures granulométriques sont cohérents avec la description lithologique. Les principales passées présentent les caractéristiques suivantes :

- en surface, de 0 à 10 cm de profondeur, nous observons une couche sableuse (en moyenne 88 % de sable, pour 14 % de silt, avec un D50 en moyenne de 222,5 μm), à la quelle succède une couche fine (de 2 cm) de silt sableux ;
- de 12 à 20 cm de profondeur, et de 50 à 59 cm de profondeur, nous observons à nouveau deux passées sableuses (en moyenne 95 % de sable et 4 % de silt, pour un D50 en moyenne de 320 μm pour la première et de 240 μm pour la seconde) ;
- ces passées sableuses alternent avec des passées de silt.

La répartition des échantillons sur le diagramme ternaire sable / silt / argile est différente de l'archive DZR_1601 : les échantillons présentent une granulométrie plus fine, (les points sont plus proches du pôle silteux sur la carotte DZR_1602 que sur la carotte DZR_1601).

IV – 3. LA CAROTTE DZR_1603

IV – 2. a. La description sédimentologique

La **figure 20** représente la description sédimentologique de l'archive sédimentaire DZR_1603.

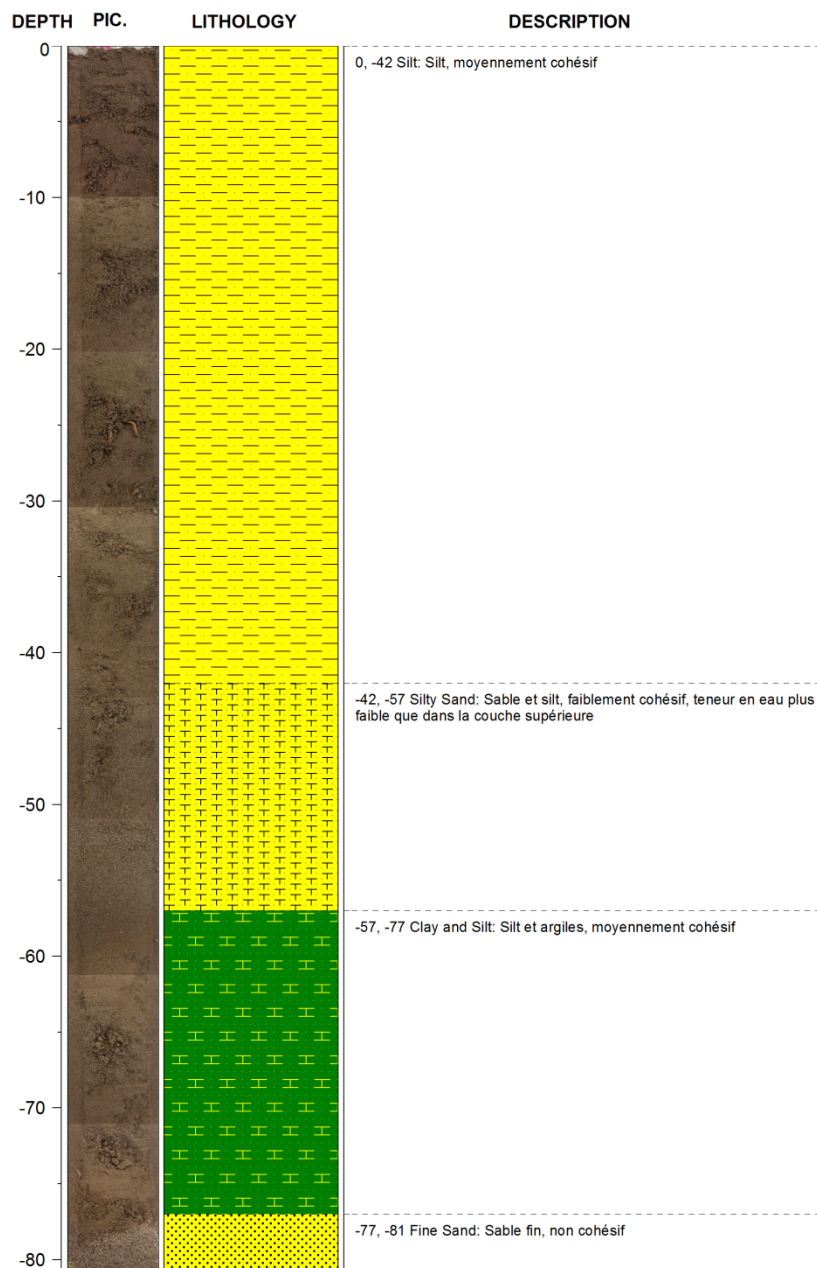


Figure 20 : Description sédimentologique de la carotte DZR_1603

Cette archive ne présente pas de alternances de passées sableuses et silteuses comme la carotte DZR_1602, mais une succession de passées beaucoup plus importantes et homogènes :

- de la surface à 42 cm de profondeur, nous observons une passée de silt, avec une cohésion moyenne due à la présence de ces particules fines ;
- de 42 à 57 cm de profondeur, la passée sableuse indique une augmentation des débits ;
- de 57 à 77 cm de profondeur, les particules sont plus fines, ce qui indique à l'opposé de la passée précédente une diminution des débits ;
- enfin, la passée de 77 à 81 cm de profondeur, nous sommes en présence d'une passée beaucoup plus sableuse, qui a entraîné le refus du carottage.

IV – 1. b. Les analyses granulométriques

Des analyses granulométriques ont été réalisées avec un pas d'échantillonnage fin, soit 2 cm. Un total de 41 analyses a été réalisé sur cette archive. L'ensemble des résultats pour chaque échantillon est présenté en **Annexe 3**.

La **figure 21** représente les résultats en pourcentage de sable, silt et argile pour chaque échantillon en fonction de la profondeur ; ces résultats ont été mis en regard du log de la description précédemment établi. La **figure 22** représente la répartition de ces échantillons sur un diagramme ternaire sable / silt / argile.

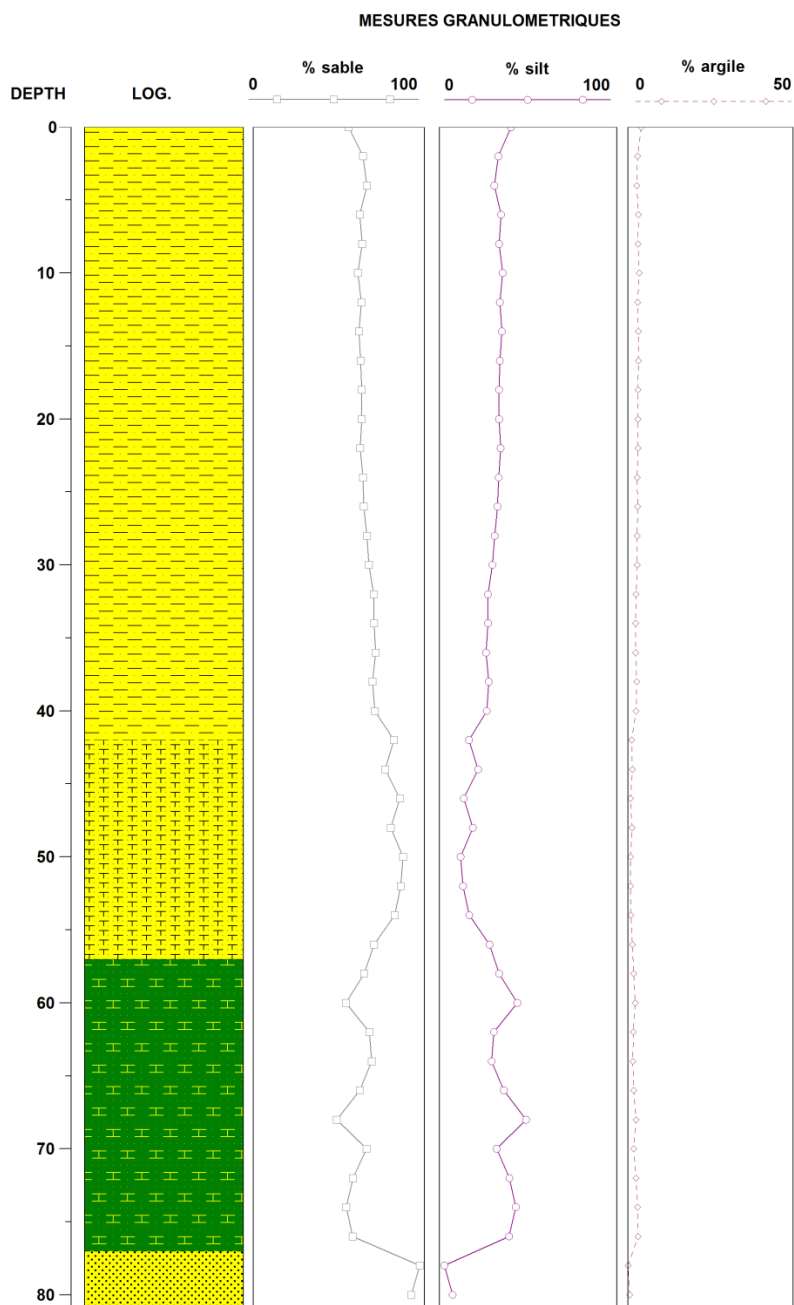


Figure 21 : Résultats des mesures granulométriques (pourcentage de sable, silt et argile) réalisées sur la carotte DZR_1603 (pas d'échantillonnage de 2 cm)

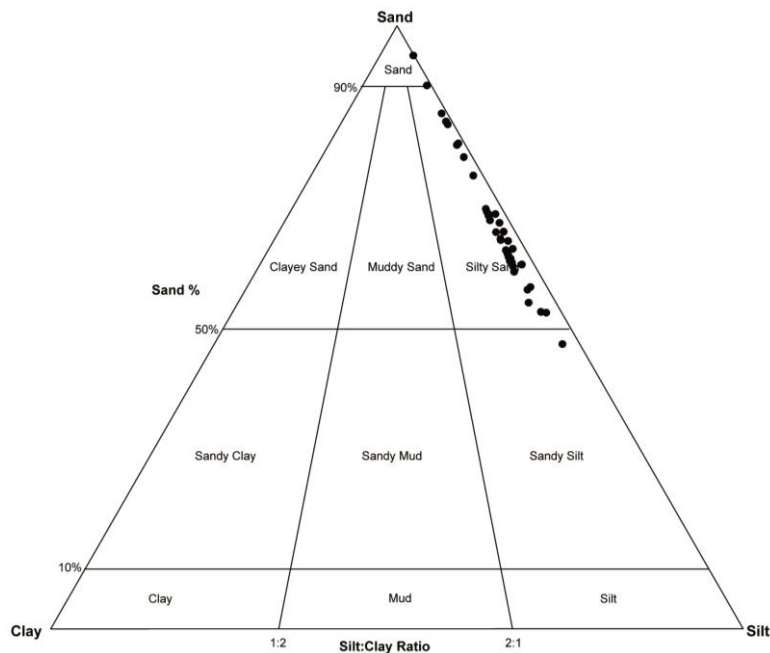


Figure 22 : Répartition des 41 échantillons de la carotte DZR_1603 dans un diagramme ternaire sable / silt / argile

Les résultats des mesures granulométriques, sont, de même que pour DZR_1601 et DZR81602, cohérents avec la description lithologique. Les différentes passées sont :

- de la surface à 42 cm de profondeur, nous observons une granulométrie sableuse / silteuse, avec en moyenne 65 % de sable, 32 % de silt, et une valeur du D50 en moyenne de 122 μm ;
- de 43 à 57 cm de profondeur, le pourcentage de sable augmente (81,5 % en moyenne, pour 17,5 % de silt), ainsi que la moyenne du D50 (132 μm) ;
- de 58 à 77 cm de profondeur, nous observons une passée plus fine avec en moyenne 69 % de sable, 29,5 % de silt et un D50 à 100 μm ;
- enfin, la passée sableuse qui a entraîné le refus du carottage présente en moyenne 94,5 % de sable, 5 % de silt et un D50 à 200 μm .

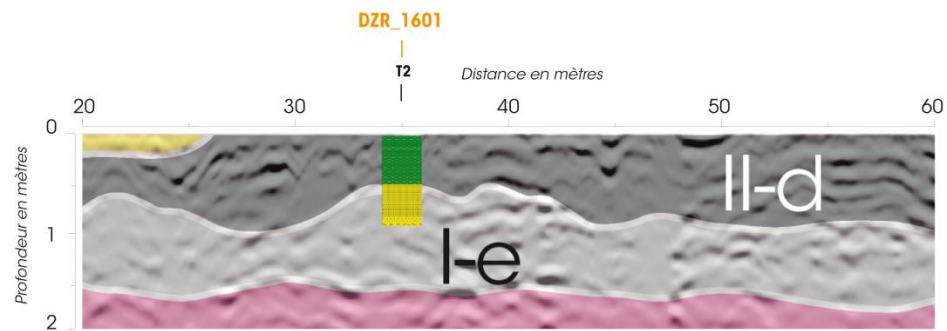
Les échantillons se répartissent très majoritairement dans la classe granulométrique des sables silteux.

IV – 4. RELATION AVEC LES STRUCTURES SÉDIMENTAIRES PRÉCÉDEMMENT IDENTIFIÉES

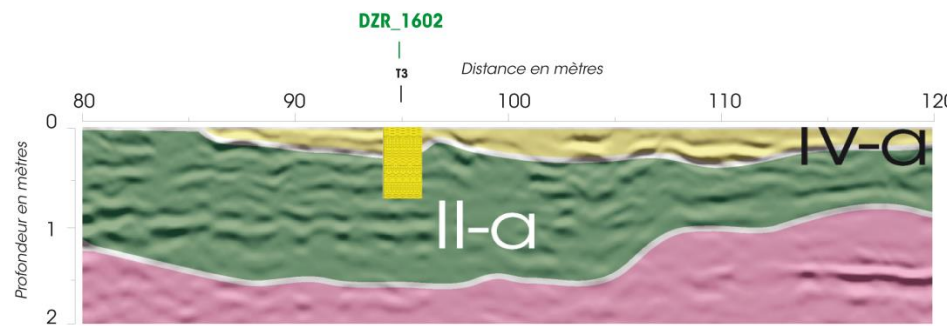
Les carottages ont été positionnés de façon à caractériser de manière optimisée le remplissage sédimentaire du casier de Donzère-Mondragon. Sur la base de la description lithologique et des mesures granulométriques réalisées sur chaque archive, nous pouvons mettre en regard ces résultats avec l'interprétation des radargrammes en termes de structures sédimentaires, et ainsi proposer une caractérisation de ces dernières, ainsi qu'une validation de nos interprétations.

La **figure 23** présente les descriptions des trois archives positionnées sur le radargramme L2 interprété (antenne de 200 MHz). La **figure 11** présentant déjà le positionnement des carottes sur les radargrammes, la **figure 23** représente les logs des descriptions en zoomant uniquement sur une longueur de 50 m, par souci de visibilité.

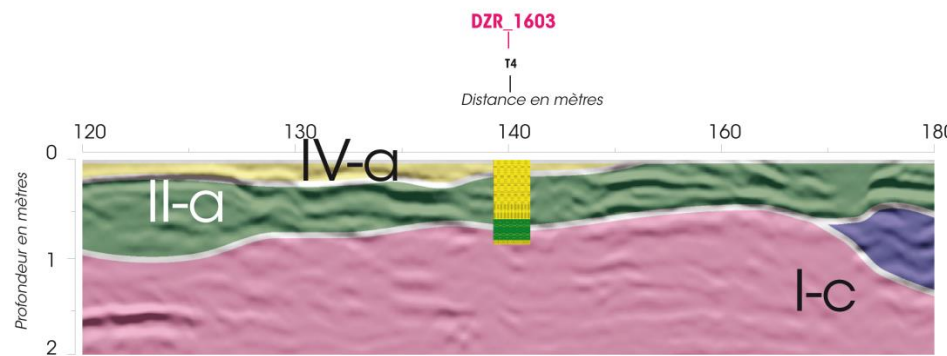
La **figure 24** représente l'investigation des structures réalisée à l'aide des carottages.



a) Localisation du log de la description de la carotte DZR_1601 sur le radargramme L2 traité et interprété, entre 20 et 60 m



b) Localisation du log de la description de la carotte DZR_1602 sur le radargramme L2 traité et interprété, entre 80 et 120 m



c) Localisation du log de la description de la carotte DZR_1603 sur le radargramme L2 traité et interprété, entre 120 et 180 m

Figure 23 : Localisation des logs des descriptions lithologiques des carottes DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 sur le radargramme L2 traité et interprété

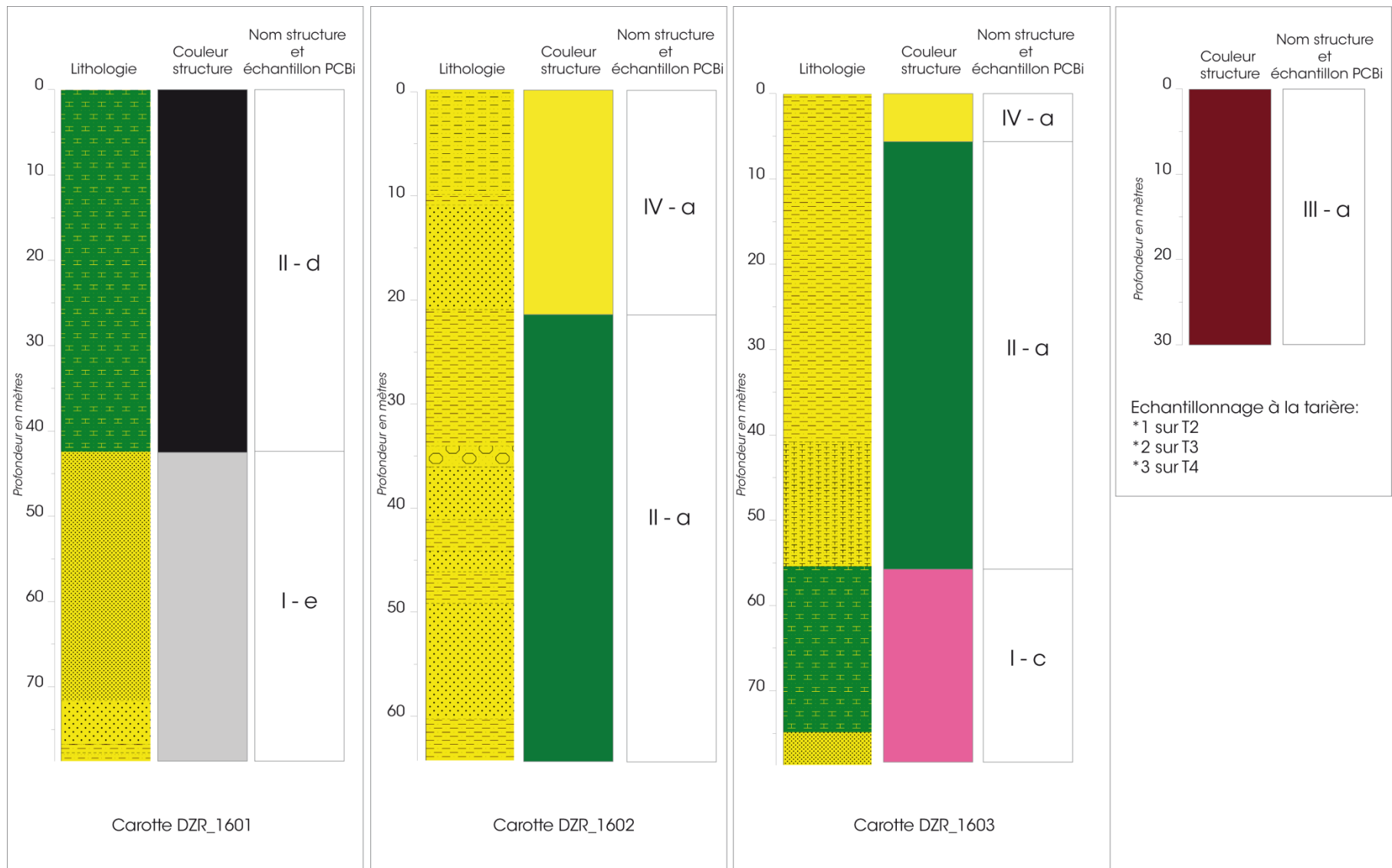


Figure 24 : Structures sédimentaires investiguées à l'aide des carottages (de gauche à droite : DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603) et des prélèvements à la tarière (*1, *2 et *3)

Les échantillons pour les mesures en PCB_i sélectionnés afin de caractériser de manière optimisée la masse de ces polluants comprise dans le casier se répartissent de la manière suivante :

- pour la structure I – c : 1 échantillon sur la carotte DZR_1603 ;
- pour la structure I – e : 1 échantillon sur la carotte DZR_16;
- pour la structure II – a : 2 échantillons (carotte DZR_1602 et DZR_1603);
- pour la structure II – d : 1 échantillon sur la carotte DZR_1601 ;
- pour la structure III – a : 3 échantillons prélevés à la tarière,
- pour la structure IV – a : 2 échantillons sur les carottes DZR_1602 et DZR_1603 ;

soit un total de 10 échantillons.

Les résultats de ces analyses en PCB_i seront présentés dans un livrable ultérieur (livrable de la phase 3), ainsi que l'estimation de la masse des polluants (PCB_i) comprise dans le casier.

À l'aide de l'interprétation des radargrammes, les structures sédimentaires à investiguer de manière prioritaire ont été identifiées, sur la base (i) des volumes estimés par l'analyse pseudo-3D les plus importants et (ii) de la temporalité des dépôts (analyse diachronique), soit des structures sédimentaires les plus susceptibles de contenir une masse importante de polluants (PCBi). Trois carottages et trois prélèvements à la tarière ont été réalisés.

Les carottages n'ont pas atteint une profondeur très importante, en raison du refus consécutif aux couches de sable, mais cette profondeur est suffisante pour investiguer les structures concernées.

Les archives sédimentaires ont fait l'objet d'une description lithologique, et des analyses granulométriques ont été menées avec un pas d'échantillonnage de 2 cm, soit un total de 112 analyses. La majorité des échantillons sont de nature sableuse / silteuse, avec des passées sableuses signant des augmentations de débit, et des passées présentant une granulométrie plus fine. Les processus hydrosédimentaires responsables de la nature des dépôts peuvent donc être identifiés.

Un total de 10 échantillons pour analyse PCBi a été sélectionné, permettant de caractériser les structures sédimentaires I -c, I -e, II - a, II - d, III - a, IV - a. les résultats de ces analyses seront présentés dans la partie C de la présente étude.

En remarque, nous précisons que le plan d'échantillonnage suivi ne correspond pas à celui des Recommandations relatives aux travaux et opérations impliquant des sédiments aquatiques potentiellement contaminés du Plan d'action du bassin Rhône-Méditerranée pour la pollution par les PCB (SDAGE Rhône-Méditerranée 2010-2015). En effet, le plan d'échantillonnage préconisé dans ces Recommandations suit une coupe perpendiculaire au cours d'eau, alors que celui suivi dans la présente étude est longitudinal au fleuve Rhône. Néanmoins, nous préconisons fortement que le plan d'échantillonnage soit cohérent avec la temporalité des dépôts (étude diachronique) et caractérise en priorité les structures sédimentaires les plus caractéristiques en volume de l'ensemble du remplissage, ainsi que celles déposées entre 1960 et 1990, le pic de pollution en PCBi se situant dans les années 1970 – 1975. Le plan d'échantillonnage devra donc être adapté à chaque remplissage sédimentaire, et les phases d'acquisition et d'interprétation des radargrammes acquis au GPR permettent de l'élaborer de manière optimisée.

PARTIE C

RÉSULTATS DES ANALYSES PCB_i ET ESTIMATION DE LA QUANTITÉ DE CES POLLUANTS COMPRISE DANS LA ZONE D'ÉTUDE

SOMMAIRE DE LA PARTIE C

I – Contexte scientifique et objectif de la phase C	101
II – Rappel de la stratégie d'échantillonnage	102
III – Matériel et méthode	104
IV – Résultats	105
IV – 1. Résultats pour les dix échantillons prélevés	105
IV – 2. Estimation de la quantité de PCBi comprise dans la zone d'étude	107
IV – 3. Comparaison succincte avec les casiers Girardon de l'île de la Platière et de Peyraud	112
V – Conclusion de la partie c et synthèse générale de l'étude	115
Liste des annexes	99
Liste des figures	99
Liste des tableaux	100

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 - Résultats en PCBi des 10 échantillons analysés

LISTE DES FIGURES

- Figure 1** : Emplacement des carottes DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 et des prélèvements à la tarière *1, *2 et *3 le long des radargrammes à l'antenne de 200 MHz traités et interprétés **102**
- Figure 2** : Structures sédimentaires investiguées à l'aide des carottages (de gauche à droite : DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603) et des prélèvements à la tarière (*1, *2 et *3) **103**
- Figure 3** : Proportion en pourcentages deux classes de concentration représentées dans la zone d'étude, soit [0 – 30] µg/kg MS et [30 – 200] µg/kg MS **111**

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Les quatre classes de concentration en PCB _i sur le casier Girardon de l'île de la Platière en fonction du recoupement des analyses PCB _i et de l'identification des structures sédimentaires réalisé lors de cette étude antérieure	105
Tableau 2 : Somme des PCB _i pour chaque échantillon du casier de Donzère-Mondragon	106
Tableau 3 : Période de dépôt de chacune des structures sédimentaires rencontrées sur l'ensemble des sept profils sur la zone étudiée de Donzère-Mondragon (cf. Partie A)	106
Tableau 4 : Masse de sédiments comprise dans chaque structure sédimentaire identifiée sur les radargrammes (antenne de 200 Mhz, cf. Partie A), rapportée dans sa fenêtre temporelle de dépôt	108
Tableau 5 : Classe de concentration en PCB _i déterminée sur la base des valeurs en PCB _i mesurées	109
Tableau 6 : Somme des volumes pour les structures se situant dans les classes [0 – 30] µg/kg MS et [30 – 200] µg/kg MS	110
Tableau 7 : Masses minimale et maximale de PCB _i comprises dans la zone étudiée	111

À la suite des phases (i) d'acquisition et d'interprétation des radargrammes, et (ii) de prélèvement et de caractérisation sédimentologique de trois archives sédimentaires selon un plan d'échantillonnage déterminé de manière optimale en fonction de la géométrie du remplissage, dix échantillons ont été analysés de façon à déterminer leur concentration en PCBi.

En recoupant les résultats de ces analyses avec le volume respectif de chaque structure sédimentaire caractéristique du remplissage (cf. Partie A), nous pouvons estimer la masse de ces polluants comprise dans la zone d'étude.

La partie C de compose donc des chapitres suivants :

- A la suite de la présente introduction, le chapitre II présente un rappel de la stratégie d'échantillonnage ;
- le chapitre Matériel et Méthode décrit la méthode d'analyse en PCBi ;
- le chapitre IV détaille les résultats suivants : (i) les résultats d'analyses pour chaque échantillon et sa correspondance dans les classes de concentration déterminées sur un casier Girardon de l'île de la Platière (seul site de référence actuellement connu sur le Rhône) et (ii) l'estimation de la quantité de PCBi présente dans la zone d'étude.
- le chapitre V présente la conclusion de la partie C ainsi que la conclusion générale de la présente étude.

II – RAPPEL DE LA STRATÉGIE D'ÉCHANTILLONNAGE

Les carottes ont été prélevées de manière à caractériser (i) les structures dont les volumes sont les plus représentatifs de l'ensemble du remplissage, soit les structures I - c, I - e, II - a et II - d (57 % du volume total), (ii) la structure présentant le plus fort risque de contamination, en raison de sa période de dépôt, soit la structures IV - a (dépôt entre 1972 et 1982).

Afin de compléter ce plan d'échantillonnage, trois prélèvements à la tarière (*1, *2 et *3) ont été réalisés le long de la structure III - a (dépôt entre 1972 et 1982).

La **figure 1** présente un récapitulatif de l'emplacement des carottages et des prélèvements à la tarière le long des radargrammes L2, T2, T3 et T4 à l'antenne de 200 MHz traités et interprétés.

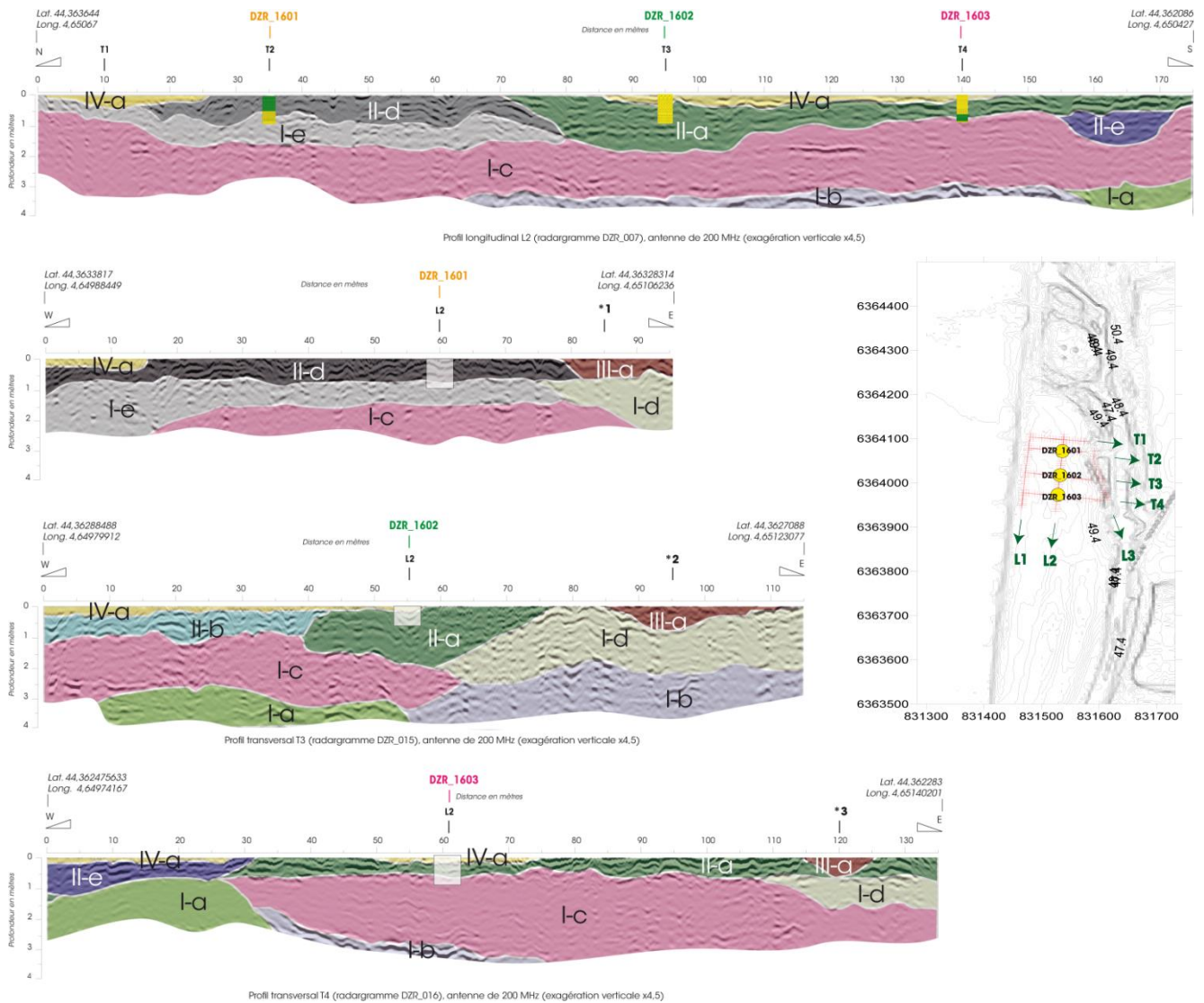


Figure 1 : Emplacement des carottes DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603 et des prélèvements à la tarière *1, *2 et *3 le long des radargrammes à l'antenne de 200 MHz traités et interprétés.

La **figure 2** présente les carottages ainsi que leur description et les différents échantillons recoupant les structures sédimentaires à caractériser de manière prioritaire.

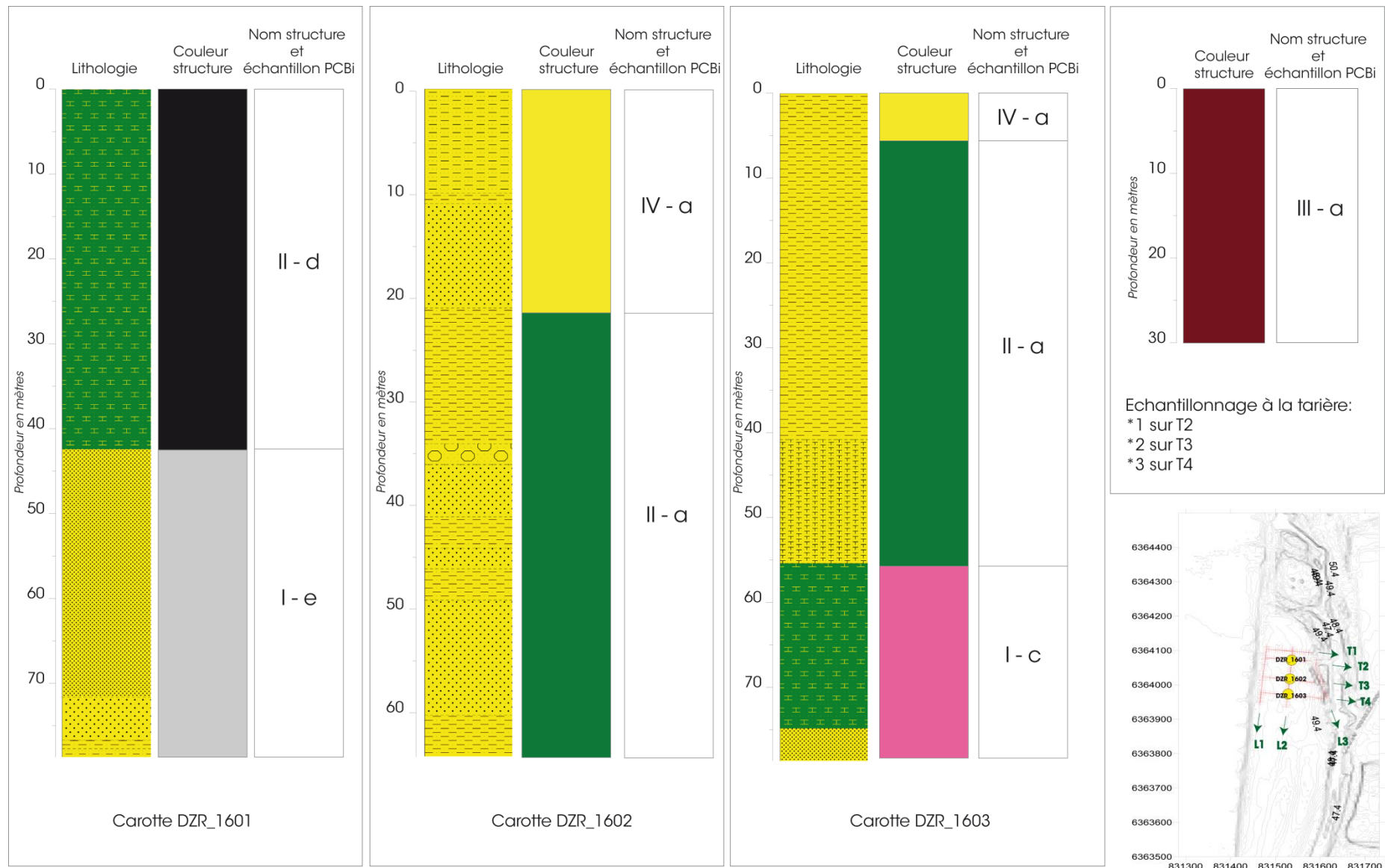


Figure 2 : Structures sédimentaires investiguées à l'aide des carottages (de gauche à droite : DZR_1601, DZR_1602 et DZR_1603) et des prélèvements à la tarière (*1, *2 et *3)

Les dix échantillons ont été analysés par le laboratoire LABERCA-ONIRIS, après un protocole d'extraction. Ces analyses répondent aux exigences de la réglementation en vigueur, et sont réalisées suivant la méthode LABERCA/DGA/PCBNDL-a1.1 accréditée COFRAC.

Parmi les nombreuses molécules de PCB, ont été mesurées les teneurs en 7 PCB_i, conformément aux « Recommandations relatives aux travaux et opérations impliquant des sédiments aquatiques potentiellement contaminés » du Plan d'action du bassin Rhône-Méditerranée pour la pollution par les PCB – SDAGE Rhône-Méditerranée 2010-2015. Les congénères mesurés sont donc les congénères #28, #52, #101, #138, #153, #180 pour les PCB de type non dioxine (PCB-NDL), et le #118 en PCB de type dioxine (PCB-DL).

Le détail pour chaque congénère et pour chaque échantillon est reporté en **Annexe 1**.

L'incertitude sur les mesures est l'incertitude systématique appliquée par le laboratoire d'analyse ; elle est de 22.69 %.





IV – 1. RÉSULTATS POUR LES DIX ÉCHANTILLONS PRÉLEVÉS

Afin de classer chaque échantillon, nous avons reporté en plus de la concentration mesurée en laboratoire la classe de PCB_i correspondante, sur la base des classes de pollution identifiées sur le seul site d'étude investigué sur le Rhône, soit un casier Girardon de l'île de la Platière. Ces classes ont été déterminées sur la base de 216 analyses PCB_i (étude coordonnée par le BRGM¹) lors d'une étude antérieure réalisée en partenariat scientifique par la Compagnie Nationale du Rhône et l'École Nationale des Travaux Publics de l'État².

Bien que ces résultats proviennent de données issues d'un Rhône-court-circuité différent de celui de Donzère-Mondragon, nous avons jugé pertinent de les conserver lors de la présentation de nos résultats. En effet, les structures, en raison du plan d'échantillonnage, ne sont souvent investiguées qu'une seule fois, et l'estimation de la quantité de PCB_i comprise dans la zone d'étude ne saurait être déterminée sur la base d'une seule analyse par structure. L'utilisation de ces « abaques » nous permet de proposer une marge d'erreur déterminée à partir d'un nombre important de mesures, et de respecter une certaine cohérence dans la présentation des résultats entre les différentes études réalisées sur le Rhône.

Pour rappel, ces classes ont été déterminées selon les valeurs suivantes (cf. **tab. 1**) :

Tableau 1 : Les quatre classes de concentration en PCB_i sur le casier Girardon de l'île de la Platière en fonction du recoupement des analyses PCB_i et de l'identification des structures sédimentaires réalisé lors de cette étude antérieure

Classe de PCB _i	Légende
< 30 µg/kg MS	
[30 - 200] µg/kg MS	
[200 - 400] µg/kg MS	
> 400 µg/kg MS	

Le **tableau 2** récapitule l'archive sédimentaire, la nomenclature de l'échantillon, la structure sédimentaire investiguée et la concentration en PCB_i ainsi que sa classe correspondante (en µg/kg MS) pour chacun des échantillons analysés.

¹ Rapport BRGM RC-60367-FR

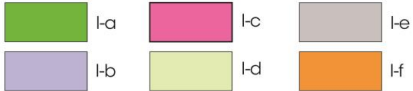

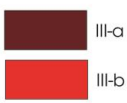

² « Caractérisation optimisée du remplissage sédimentaire des casiers Girardon », Convention de recherche DPFF-DDCP 13-0511 SR

Tableau 2 : Somme des PCB_i pour chaque échantillon du casier de Donzère-Mondragon

Carotte	Échantillon	Structure sédimentaire	Couleur associée dans la représentation 3D	Côte centimétrique	Concentration en PCB _i (en µg/kg/MS)	Classe de PCB _i correspondante (sur la base des classes établies sur le site de référence de l'île de la Platière)
DZR_1601	DZR_1601_01	II - d		0 - 42 cm	9,402 (+/- 2,39)	[0 - 30] µg/kg MS
	DZR_1601_02	I - e		42 - 77 cm	0,536 (+/- 0,14)	[0 - 30] µg/kg MS
DZR_1602	DZR_1602_03	IV - a		0 - 21 cm	11,324 (+/- 2,87)	[0 - 30] µg/kg MS
	DZR_1602_04	II - a		21 - 64 cm	4,346 (+/- 1,10)	[0 - 30] µg/kg MS
DZR_1603	DZR_1603_05	IV - a		0 - 6 cm	10,248 (+/- 2,60)	[0 - 30] µg/kg MS
	DZR_1603_06	II - a		6 - 58 cm	5,546 (+/- 1,41)	[0 - 30] µg/kg MS
	DZR_1603_07	I - c		58 - 81 cm	0,127 (+/- 0,03)	[0 - 30] µg/kg MS
Prélèvements à la tarière	*1	III - a		0 - 30 cm	7,438 (+/- 1,89)	[0 - 30] µg/kg MS
	*2	III - a		0 - 30 cm	46,692 (+/- 11,85)	[30 - 200] µg/kg MS
	*3	III - a		0 - 30 cm	18,572 (+/- 4,71)	[0 - 30] µg/kg MS

De manière conforme à nos prévisions à la suite de l'étude diachronique de la temporalité des dépôts de chacune des structures sédimentaires, les échantillons ne présentent pas de fortes concentrations en PCB_i. Pour mémoire, le tableau 3 rappelle les périodes de dépôt estimées pour chaque structure.

Tableau 3 : Période de dépôt de chacune des structures sédimentaires rencontrées sur l'ensemble des sept profils sur la zone étudiée de Donzère-Mondragon (cf. Partie A)

Fenêtre temporelle	Structure(s) déposée(s), dans l'ordre chronologique des dépôts
1901 (Branciard)	Mise en place du toit des graviers
De 1901 à 1947	
De 1947 à 1961	
De 1961 à 1972	
De 1972 à 1982	
De 1982 à 2009	Pas de dépôt de nouvelles structures Incision de la partie latérale Est

- les structures I - c (en rose) et I - e (en gris clair) ont été déposées entre 1901 et 1947, selon les résultats de notre analyse diachronique réalisée dans la partie A de la présente étude. Ces résultats sont très cohérents avec les résultats des analyses PCBi : ces deux structures présentent respectivement des concentrations de 0,13 (+/- 0,03) et 0,54 (+/- 0,14) µg/kg MS ;

- la structure II - a (en vert foncé) a été analysée deux fois, sur la carotte DZR_1602 et la carotte DZR_1603. Ces deux échantillons présentent quasiment la même valeur, soit 4,35 µg/kg MS (+/- 1,10) pour DZR_1602_04 et 5,55 µg/kg MS (+/- 1,4) pour DZR_1603_06. La structure II - a s'est déposée d'après notre analyse entre 1947 et 1961 (cf. Partie A), ce qui est très cohérent avec les résultats du laboratoire : cette structure a enregistré le début de l'introduction des PCB dans l'environnement ;

- la structure II - d (en noir) s'est déposée plus tardivement que la structure II - a, toujours entre 1947 et 1961 d'après notre analyse diachronique (cf. Partie A), et la concentration en PCBi est logiquement plus élevée : 9,40 µg/kg MS (+/- 2,4) ;

- la structure III - a (en bordeaux) est celle qui présentait le plus fort risque de contamination, car sa période de dépôt coïncide avec le pic de pollution en PCB dans l'atmosphère (cf. Partie A). C'est dans cette structure que l'on retrouve en effet la concentration la plus élevée de nos échantillons : 46,69 µg/kg MS (+/- 11,85) pour l'échantillon *2 prélevé à la tarière. Les deux autres échantillons présentent néanmoins des valeurs plus basses : 7,44 µg/kg MS (+/- 1,89) pour l'échantillon *1 et 18,57 µg/kg MS (+/- 4,71) pour l'échantillon *3. Avec une moyenne de 24,23 µg/kg MS, cette structure reste la plus polluée en PCBi, conformément à notre prédiction.

- la structure IV - a (en jaune) a été analysée elle aussi deux fois, dans deux archives sédimentaires différentes, la DZR_1602 et la DZR_1603. Les résultats en concentration sont de 11,32 µg/kg MS (+/- 2,87) pour l'échantillon DZR_1602_03 et de 10,25 µg/kg MS (+/- 2,6). Ces résultats très équivalents confirment notre interprétation d'une même structure déposée dans la même temporalité, entre 1972 et 1982. Cette structure, déposée en surface, doit être plus récente, et apparaître après les politiques d'interdiction de rejet en PCB dans l'atmosphère, en raison de leur faible teneur en PCBi.

IV - 2. ESTIMATION DE LA QUANTITÉ DE PCBi COMPRISE DANS LA ZONE D'ÉTUDE

Le volume de chaque structure sédimentaire ayant été calculé par le logiciel Rockwoks (cf. Partie A), la masse de PCBi comprise dans chaque des structures peut être extrapolée à partir des résultats d'analyse en laboratoire, et à partir de notre analyse diachronique des périodes de dépôt ; la teneur en PCBi des structures sédimentaires qui n'ont pas été investiguées à l'aide des carottages sera estimée égale à celle d'une autre structure analysée et déposée dans la même période temporelle.

La valeur de la masse volumique est celle utilisée lors de nos études précédentes sur des casiers Girardon et précédemment citées dans ce rapport, soit 1 250 kg.m³ (moyenne réalisée sur 24 analyses du casier Girardon de l'île de la Platière, cohérente avec nos analyses granulométriques présentées dans la Partie B d présent rapport).

La masse de sédiments dans chaque structure sédimentaire est calculée de la manière suivante :


















$$\text{Masse de sédiments (en kg)} = \text{masse volumique (kg.m}^3 \text{ * volume (en m}^3\text{)}$$

La masse de PCBi contenue dans chaque structure est alors calculée de la manière suivante :

$$\text{Masse PCBi (g)} = [\text{PCBi}] \text{ (en } \mu\text{g/kg MS} * \text{ masse de sédiments (en kg)} * 10^{-6}$$

Le **tableau 4** répertorie la masse de sédiments contenue dans chaque structure sédimentaire du remplissage de la zone d'étude, sur la base des volumes calculés dans la Partie A.


















Tableau 4 : Masse de sédiments comprise dans chaque structure sédimentaire identifiée sur les radargrammes (antenne de 200 Mhz, cf. Partie A), rapportée dans sa fenêtre temporelle de dépôt

Fenêtre temporelle	Structure(s) déposée(s), dans l'ordre chronologique	Volume en m3	Masse en kg
1901 (Branciard)	Mise en place du toit des graviers		
De 1901 à 1947	 I-a	4 702	5 877 500
	 I-b	3 884	4 855 000
	 I-c	28 500	35 625 000
	 I-d	4 990	6 237 500
	 I-e	4 676	5 845 000
	 I-f	3 959	4 948 750
De 1947 à 1961	 II-a	6 417	8 021 250
	 II-b	1 508	1 885 000
	 II-c	1 349	1 686 250
	 II-d	4 589	5 736 250
	 II-e	2 064	2 580 000
	 II-f	861	1 076 250
	 II-g	1 386	1 732 500
	 II-h	2 508	3 135 000
De 1961 à 1972	 III-a	2 341	2 926 250
	 III-b	400	500 000
De 1972 à 1982	 IV-a	2 449	3 061 250
De 1982 à 2009	Pas de dépôt de nouvelles structures Incision de la partie latérale Est		

Chaque échantillon analysé a permis de déterminer la classe de concentration en PCBi à laquelle il appartenait. Une extrapolation de ces classes a pu être réalisée sur les structures n'ayant pas été

investiguées : il nous paraît en effet cohérent que les structures déposées entre 1901 et 1947 soient regroupées dans la classe [0 – 30] µg/kg MS (de manière équivalente aux résultats obtenus sur les structures I – c et I – e investiguées sur cette même fenêtre temporelle). Le même raisonnement a été suivi pour l'ensemble des structures de chaque fenêtre temporelle, tel que synthétisé dans le **tableau 5**.

Tableau 5 : Classe de concentration en PCBi déterminée sur la base des valeurs en PCBi mesurées

Fenêtre temporelle	Structure(s) déposée(s), dans l'ordre chronologique	Classe «mesurée»	Classe «extrapolée»
1901 (Branciard)	Mise en place du toit des graviers		
De 1901 à 1947	 I-a		[0 - 30] µg/kg MS
	 I-b		[0 - 30] µg/kg MS
	 I-c	[0 - 30] µg/kg MS	
	 I-d		[0 - 30] µg/kg MS
	 I-e	[0 - 30] µg/kg MS	
	 I-f		[0 - 30] µg/kg MS
De 1947 à 1961	 II-a	[0 - 30] µg/kg MS	
	 II-b		[0 - 30] µg/kg MS
	 II-c		[0 - 30] µg/kg MS
	 II-d	[0 - 30] µg/kg MS	
	 II-e		[0 - 30] µg/kg MS
	 II-f		[0 - 30] µg/kg MS
	 II-g		[0 - 30] µg/kg MS
	 II-h		[0 - 30] µg/kg MS
De 1961 à 1972	 III-a	[30 - 200] µg/kg MS	
	 III-b		[30 - 200] µg/kg MS
De 1972 à 1982	 IV-a	[0 - 30] µg/kg MS	
De 1982 à 2009	Pas de dépôt de nouvelles structures Incision de la partie latérale Est		

Les bornes minimale et maximale de ces classes permettent de proposer des masses minimale et maximale de PCBi comprises dans l'ensemble de la zone d'étude. Le **tableau 6** regroupe la somme des volumes des structures ayant pour classe de concentrations [0 – 30] µg/kg MS et [30 – 200] µg/kg MS. Ces valeurs des masses correspondantes sont répertoriées dans le **tableau 7**, ainsi que la

masse moyenne sur la base des concentrations effectivement mesurées. Nous sommes cependant réservés sur cette dernière estimation en raison du faible nombre d'analyses, et lui préférons le calcul des minima et maxima.

Tableau 6 : Somme des volumes pour les structures se situant dans les classes [0 – 30] µg/kg MS et [30 – 200] µg/kg MS

Classe de concentration en PCB _i	Type de structure sédimentaire	Moyenne estimée des concentrations en PCB _i en µg/kg MS	Masse en kg par fenêtre temporelle	Masse en kg par classe de concentrations
[0 – 30] µg/kg MS	De 1901 à 1947: I – a I – b I – c I – d I – e I – f	0,332 Structures investiguées : I – c et I – e, soit 65 % du volume représenté par ces structures	63 388 750	92 302 500
	De 1947 à 1961: II – a II – b II – c II – d II – e II – f II – g II – h	6,432 Structures investiguées : II – a et II – d, soit 53 % du volume représenté par ces structures	25 852 500	
	De 1972 à 1982: IV – a	10,786 Structure investiguée : IV – a, soit 100 % du volume	3 061 250	
[30 – 200] µg/kg MS	De 1961 à 1972 : III – a III – b	24,234 Structure investiguée : III – a soit 85 % du volume représenté par ces structures	3 426 250	3 426 250

La **figure 3** représente la proportion en pourcentages de chacune de ces deux classes de concentration en PCB_i ; la très grande majorité du remplissage (96 %) est comprise dans la plus faible classe de concentration.

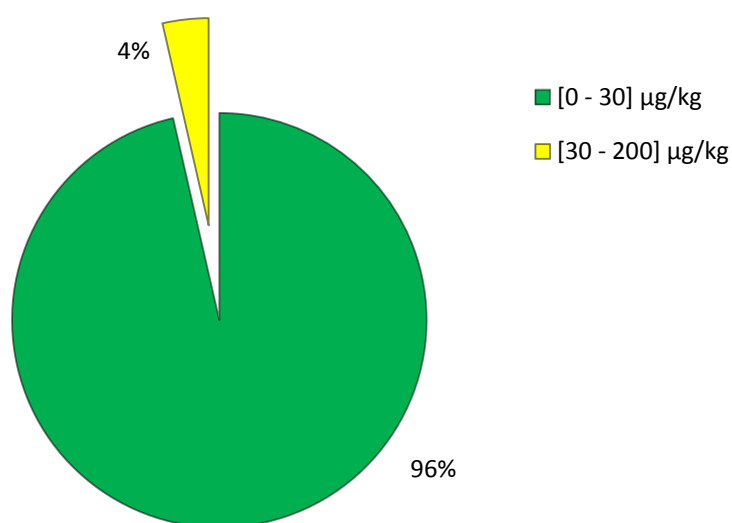


Figure 3 : Proportion en pourcentages de deux classes de concentration représentées dans la zone d'étude, soit [0 - 30] µg/kg MS et [30 - 200] µg/kg MS

Tableau 7 : Masses minimale et maximale de PCBi comprises dans la zone étudiée

Classe de concentration en PCBi	Masse minimale en PCBi en g	Masse maximale de PCBi en g	Nombre d'échantillons mesurés	Masse moyenne (mesures et extrapolations) de PCBi en g
[0 - 30] µg/kg MS	0	2 769	N = 9	220
[30 - 200] µg/kg MS	103	686	N = 1	83
Total sur l'ensemble de la zone étudiée	103	3 455	N = 10	303

Les masses totales de PCBi (moyenne, minimale et maximale) calculées pour chaque classe de concentration ont été obtenues en sommant les masses comprises dans les structures pour chaque fenêtre temporelle (cf. tab. 6). De la même façon, les masses totales en PCBi pour l'ensemble de la zone étudiée ont été obtenues en sommant les masses de chaque classe de concentration.

Nous notons que la moyenne obtenue avec les valeurs mesurées (sur la base de 10 échantillons), soit 303 µg/kg MS ne correspond pas à la moyenne des classes minimale et maximale, soit 1 779 µg/kg MS. Ceci s'explique par la très faible concentration en PCBi de la structure la plus importante en volume du remplissage. En effet, la structure I - c, qui représente 37 % du volume, ne présente qu'une concentration de 0,127 µg/kg MS, ce qui pouvait être anticipé par l'interprétation des radargrammes et l'étude diachronique présentées dans la Partie A, puisque cette structure s'est déposée avant l'introduction des PCB dans l'environnement. Néanmoins, il convient d'être très prudent avec cette valeur moyenne, et nous lui préférons l'analyse de la pollution comprise dans le casier par minima et maxima.

IV – 3. COMPARAISON SUCCINCTE AVEC LES CASIERS GIRARDON DE L'ÎLE DE LA PLATIÈRE ET DE PEYRAUD

La masse totale de PCB_i comprise dans la zone d'étude d'un casier de Donzère-Mondragon obtenue par le calcul des volumes en pseudo-3D à la suite de l'interprétation des radargrammes est comprise entre 103 et 3 455 g (avec une moyenne estimée à 303 g) pour un volume total de 76 583 m³, soit un rapport compris entre 1 mg/m³ et 45 mg/m³ (avec un rapport moyen estimé à 4 mg/kg).

En comparaison, la partie investiguée au radar géologique du casier Girardon de l'Île de la Platière au cours de notre étude précédente³ présentait une masse moyenne totale de PCB_i de 961 g pour un volume estimé à 9 300 m³ (et une moyenne sur l'ensemble du casier estimée à 1 922 g pour 18 600 m³) soit un rapport en moyenne de 103 mg/m³. La pollution est donc en moyenne 25 fois plus importante dans ce secteur du Rhône que sur Donzère-Mondragon.

Le casier de Peyraud, quant à lui, présente une pollution en PCB_i, d'après la même étude, comprise entre 382 et 3 077 g pour un volume de 24 200 m³ (avec une masse moyenne de 1 260 g) soit un rapport compris entre 15 et 127 mg/m³, et un rapport moyen de 52 mg/m³. La pollution sur le casier de Peyraud est estimée en moyenne à environ 10 fois plus importante que sur le casier étudié de Donzère-Mondragon.

Ces différences importantes de pollution s'expliquent par la temporalité de dépôt des structures sédimentaires constituant le remplissage : sur le casier étudié de Donzère-Mondragon, 66 % du volume sédimentaire s'est déposé entre 1901 et 1947, donc avant l'introduction des PCB dans l'environnement. Les structures sédimentaires les plus polluées représentent un pourcentage minime du remplissage : 4 % seulement, avec des taux de contamination eux aussi relativement faibles comparativement à la période de dépôt. En dépit d'un volume beaucoup plus important, le casier étudié de Donzère-Mondragon présente donc une pollution de 25 à 10 fois plus faible que sur le Rhône-court-circuité de Péage-de-Roussillon.

³ « Caractérisation optimisée du remplissage sédimentaire des casiers Girardon », Convention de recherche DPFF-DDCP 13-0511 SR

La présente étude avait pour but de réaliser une étude optimisée du remplissage sédimentaire du casier n° 15 de Donzère-Mondragon en couplant le radar géologique avec des carottages dont l'emplacement a été déterminé sur la base de l'interprétation des profils.

Sur ce site, chaque transect a été investigué avec une antenne de 100, 200 et 400 MHz. Sur ce type de remplissage, les deux types d'antennes utilisés préférentiellement sont celles de 100 MHz et 200 MHz.

Le remplissage du casier est délimité par la surface topographique (plane dans le cas du casier 15 de Donzère-Mondragon) et par le lit de l'ancien Rhône, appelé toit des graviers. De façon identique à nos précédentes études, la profondeur d'investigation du radar géologique avec les antennes de 100 et de 200 MHz permet d'identifier le réflecteur de ce toit des graviers et de le positionner dans l'espace. Bien que nous n'ayons pas en notre possession les résultats des sondages à la perche sur exactement le même site d'étude, la position estimée aux alentours de 3 mètres est cohérente avec les sondages effectués dans des sites proches de la zone d'étude.

Après acquisition et traitement des radargrammes, les réflecteurs des profils acquis à l'antenne de 200 MHz sont parfaitement visibles et la résolution verticale de l'ordre de 20 cm permet d'identifier les structures sédimentaires en place. Cette identification est cohérente avec l'étude diachronique (évolution du remplissage des casiers en fonction de différentes fenêtres temporelles) réalisée précédemment par la Compagnie Nationale du Rhône.

Le positionnement dans l'espace des sept différents profils avec les structures sédimentaires identifiées permet, par interpolation, de mesurer le volume de chacune de ces structures (logiciel Rockworks). Le modèle pseudo-3D qui découle de cette interpolation permet également de positionner les volumes dans l'espace, et de déterminer le positionnement des carottages à effectuer de manière à caractériser à la fois les structures représentant le plus grand volume du remplissage et celles le plus susceptibles d'être polluées en fonction de la temporalité de leur dépôt (nous centrons le pic de pollution en PCB dans aux environs de 1975).

Trois carottes ont été prélevées, situées de manière à investiguer 65 % du volume déposé entre 1901 et 1947, 53 % du volume déposé entre 1947 et 1961, et enfin 100 % du volume déposé entre 1972 et 1982. La structure III – a, qui représente 85 % du volume déposé entre 1961 et 1972 a été investigué à l'aide de trois prélèvements à la tarière. Ces archives sédimentaires ont été décrites, analysées avec un pas d'échantillonnage de 2 cm (analyses granulométriques), et échantillonnées de manière à réduire le nombre d'analyses en PCBi nécessaires pour estimer la masse totale de PCBi comprise dans la zone d'étude. Ce nombre d'échantillon est de 10 pour l'ensemble du casier.

Chaque échantillon analysé (i) nous permet de valider nos hypothèses consécutives à notre étude diachronique et (ii) peut ensuite être intégré dans une classe de concentration. En effet, en nous basant sur notre étude précédente réalisée sur le casier Girardon de l'île de la Platière⁴, nous avons repris des classes de concentration déterminées à partir de 216 analyses en PCBi. Nous sommes conscients qu'il s'agit de données issues d'un Rhône-court-circuité différent, mais elles permettent cependant de déterminer des minima et des maxima, à partir du seul site de référence sur des casiers Girardon porté à notre connaissance sur le fleuve Rhône. Le minimum en quantité de PCBi dans le casier de Donzère-Mondragon est de 103 g pour un volume total de sédiment de 76 583 m³, et le maximum pour le même volume est de 3 455 g, soit un rapport compris entre 1 mg/m³ et 45 mg/m³. La valeur moyenne sur la base des analyses réalisées est de 303 g, soit un rapport de 4 mg/m³ ; cette valeur est cependant à considérer avec beaucoup de précaution, car le nombre d'analyses est réduit, et toutes les structures sédimentaires n'ont pas été investiguées, nécessitant ainsi des

⁴ « Caractérisation optimisée du remplissage sédimentaire des casiers Girardon », Convention de recherche DPF-DDCP 13-0511 SR

hypothèses. Nous avons en effet supposé que toutes les structures déposées dans la même fenêtre temporelle présentent la même teneur en PCB_i, et les avons donc classées dans les mêmes classes de pollution que celles déterminées par les analyses en laboratoire.

En rapportant la masse de PCB_i calculée au volume considéré, nous pouvons estimer que le casier de Donzère-Mondragon est 25 à 10 fois moins pollué en PCB_i que respectivement le casier étudié de l'île de la Platière et de Peyraud, tous deux situés sur le Rhône-court-circuité de Péage-de-Roussillon. Cette différence s'explique par la temporalité des dépôts : le remplissage sédimentaire de Donzère-Mondragon s'est effectué dans sa majorité avant l'introduction des PCB dans l'environnement.

ANNEXES
DE LA
PARTIE A

ANNEXE 1 - RAPPELS D'ELECTROMAGNETIQUE

La propagation des ondes électromagnétiques sont régies par les équations de Maxwell :

$\overrightarrow{\text{div}} \vec{B} = 0$	Équation du flux magnétique (1)
$\overrightarrow{\text{div}} \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon}$	Équation de Maxwell-Gauss (2)
$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{B} = \mu \cdot (\vec{J} + \epsilon \frac{\partial \vec{E}}{\partial t})$	Équation de Maxwell-Ampère (3)
$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$	Équation de Maxwell-Faraday (4)

Où \vec{B} le champ magnétique
 \vec{E} le champ électrique
 ρ la densité de charge électrique
 \vec{J} le vecteur densité de courant
 ϵ la permittivité diélectrique du milieu traversé
 μ la perméabilité magnétique du milieu traversé

La permittivité et la perméabilité du milieu peuvent respectivement se décomposer par $\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$ et $\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$. Les grandeurs ϵ_0 et μ_0 sont respectivement la permittivité diélectrique du vide ($8,85 \cdot 10^{-12} \text{ A}^2 \cdot \text{s}^4 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-3}$) et la perméabilité magnétique du vide ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H} \cdot \text{m}^{-1}$). Les grandeurs ϵ_r et μ_r sont respectivement la permittivité relative du milieu et la perméabilité relative du milieu.

Or, dans un matériau conducteur, la densité de courant de conduction (prépondérante) est égale à :

$$\vec{j} = \sigma \cdot \vec{E} \quad (5)$$

L'équation de Maxwell-Ampère devient alors :

$$\overrightarrow{\text{rot}} \vec{B} = \mu \cdot (\sigma \cdot \vec{E} + \epsilon \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}) \quad (6)$$

En prenant le rotationnel de l'équation de Maxwell-Faraday, il est alors possible d'obtenir les équations de propagation des ondes électromagnétiques dans un milieu conducteur :

$$\Delta \vec{E} + \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \sigma \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \vec{0} \quad (7)$$

$$\Delta \vec{B} + \mu \epsilon \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2} + \mu \sigma \cdot \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \vec{0} \quad (8)$$

La composante qui nous intéresse est la composante verticale. Les solutions de ces équations vectorielles suivant l'axe Oz sont :

$$E(z, t) = E_0 \cdot e^{-\alpha z} e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (9)$$

$$B(z, t) = B_0 \cdot e^{-\alpha z} e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (10)$$

Où ω la pulsation de l'onde (avec $\omega = 2\pi f$ où f est la fréquence de l'onde)
 c la célérité de l'onde dans le vide

$$\alpha = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon\mu c^2}{2} \left(-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon\omega}\right)^2}\right)} \quad (11)$$

$$\beta = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon\mu c^2}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\epsilon\omega}\right)^2}\right)} \quad (12)$$

Il est possible de simplifier ces deux coefficients et notamment le coefficient d'atténuation α . En effet, dans le cas de la prospection radar, nous voulons favoriser le phénomène de propagation des ondes dans le milieu pour obtenir une profondeur de pénétration des ondes dans le milieu et non le phénomène de conduction qui sera faible dans les milieux diélectriques (sédiments). Pour maximiser la propagation, des fréquences élevées sont utilisées ($\omega \gg \sigma/\epsilon$). On obtient alors le coefficient d'atténuation α simplifié :

$$\alpha \approx \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon\mu c^2}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\sigma}{\epsilon\omega}\right)^2} \quad (13)$$

Comme la perméabilité relative des sédiments est proche de 1 et que la résistivité électrique $\rho = 1/\sigma$ et que $c^2\mu_0\epsilon_0 = 1$, nous obtenons alors :

$$\alpha \approx \frac{\sigma}{2c\epsilon_0\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{2c\epsilon_0\rho\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{60\pi}{\rho\sqrt{\epsilon_r}} \quad (14)$$

Nous pouvons alors définir la profondeur de pénétration L_c de l'onde électromagnétique dans un milieu diélectrique $L_c = 1/\alpha$.

$$L_c = \frac{\rho\sqrt{\epsilon_r}}{60\pi} \quad (15)$$

ANNEXE 2 – RADARGRAMMES TRAITÉS, ANTENNE DE 100 MHz

Cette annexe présente l'ensemble des profils acquis sur le casier de Donzère-Mondragon pour l'antenne de 100 MHz. Ces profils sont tous présentés :

- pour les profils longitudinaux L1, L2 et L3 : du nord vers le sud,
- pour les profils transversaux T1, T2, T3, T4 : de l'Ouest (Rhône) vers l'Est (berge et bras du Rhône). En raison de la végétation, les profils T5 et T6 n'ont pas pu être acquis.

Afin d'en faciliter la lecture et l'interprétation, la figure suivante rappelle leur localisation sur la zone d'étude.

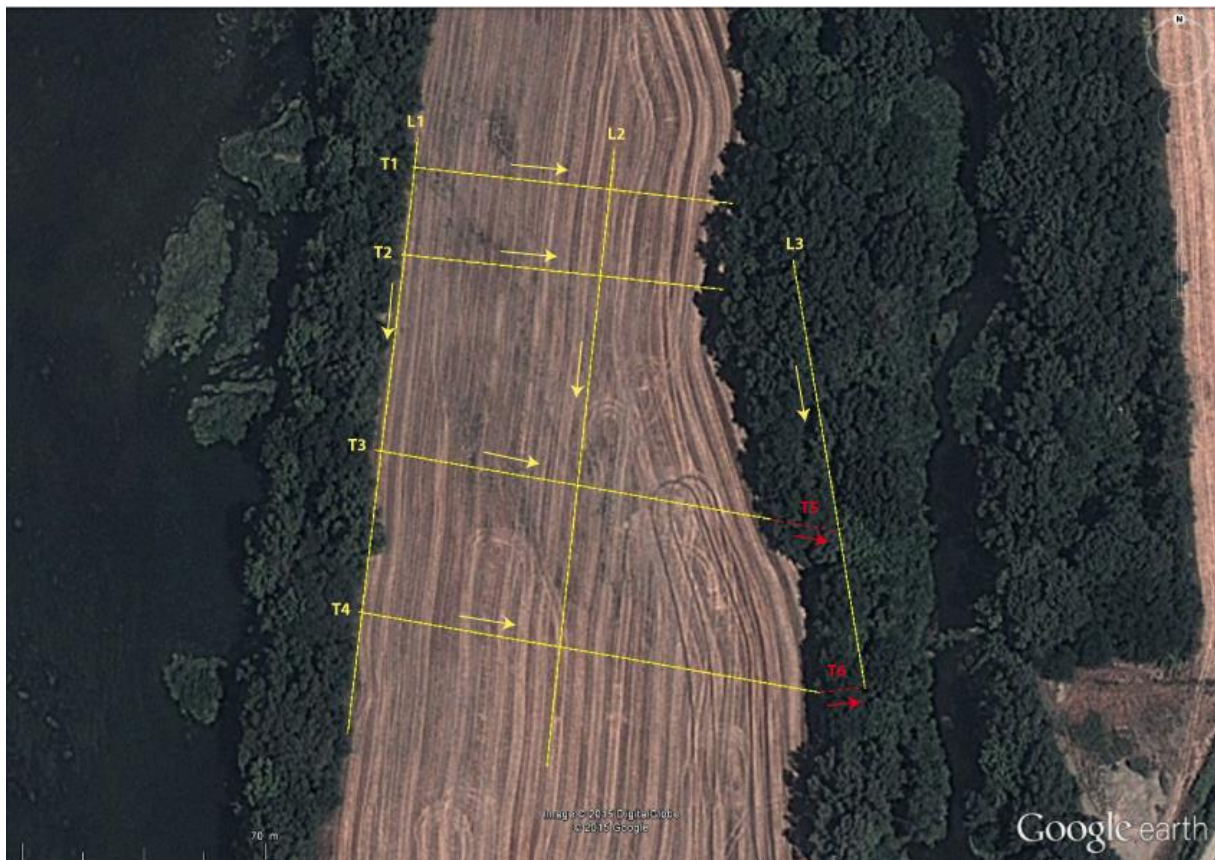
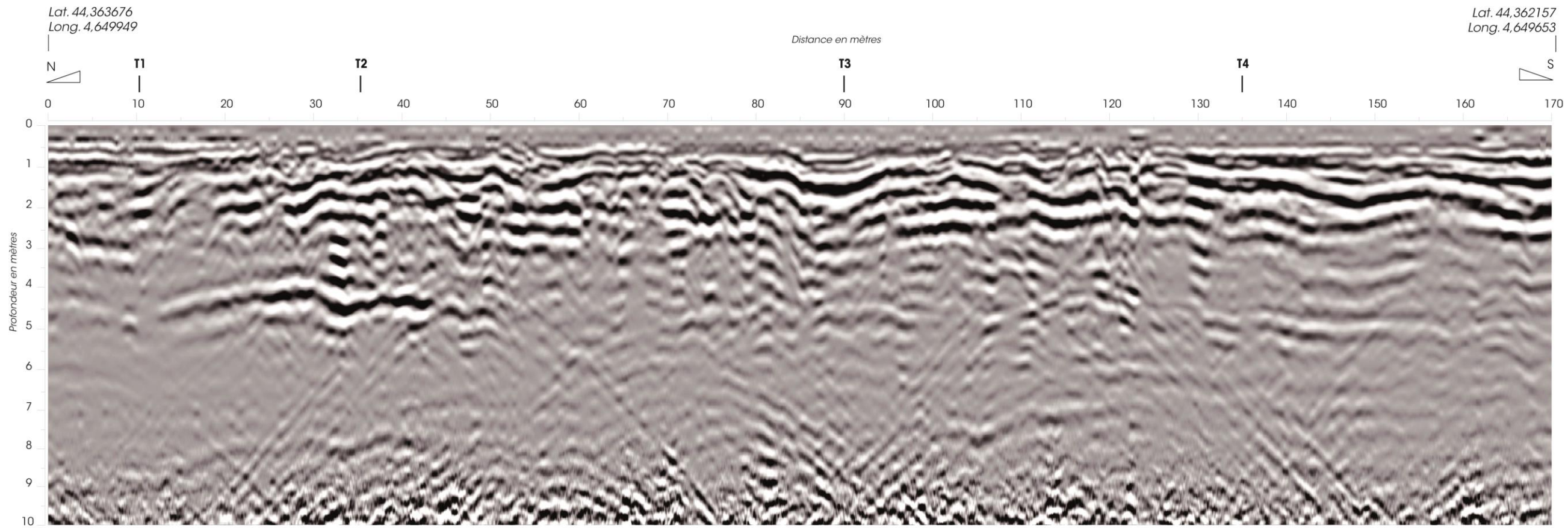
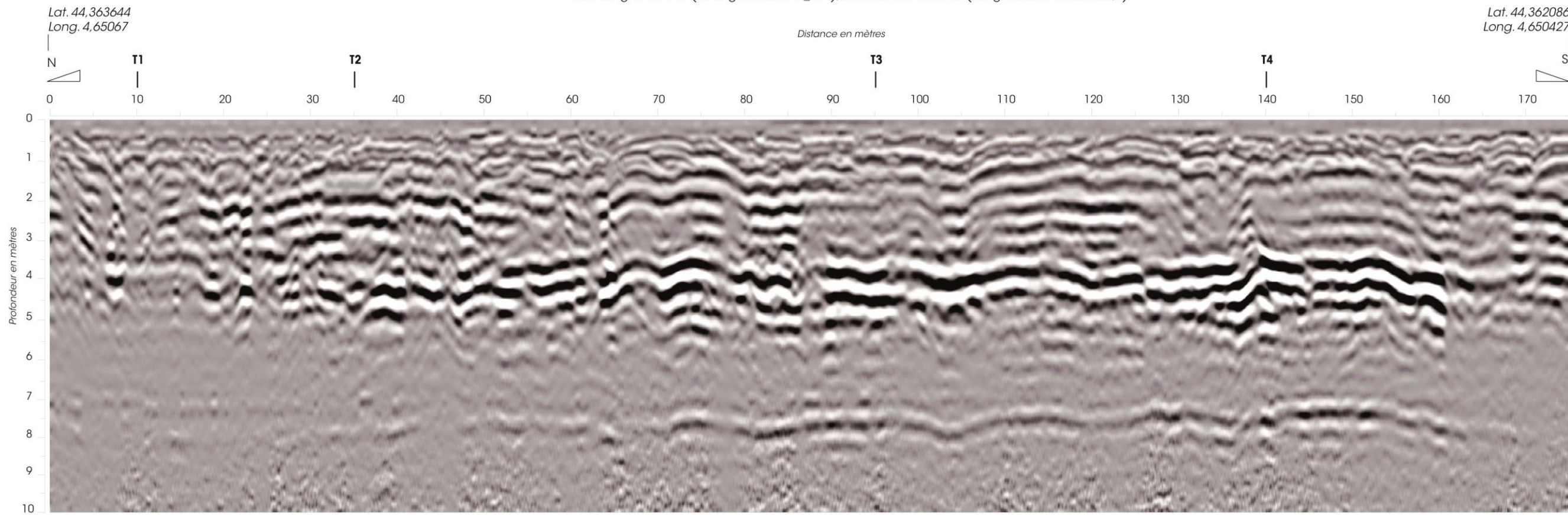


Figure : Localisation des transects réalisés au radar géologique le casier Girardon 15 de Donzère-Mondragon



Profil longitudinal L1 (radargramme DZR_019), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)

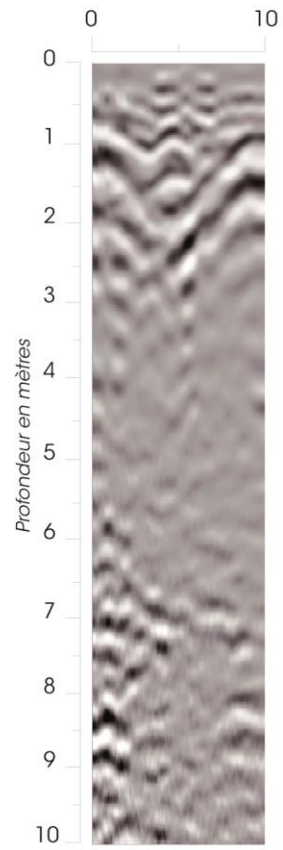


Profil longitudinal L2 (radargramme DZR_022), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)

Lat. 44,363359
Long. 4,651311

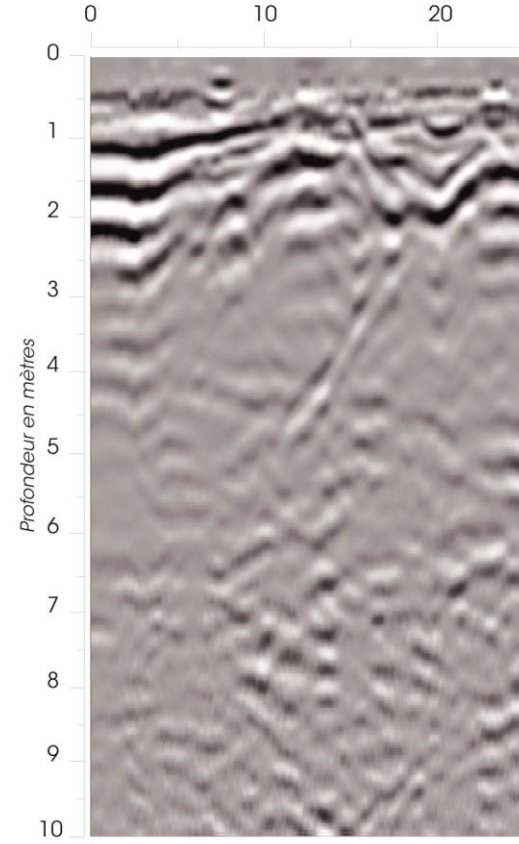


Distance en mètres



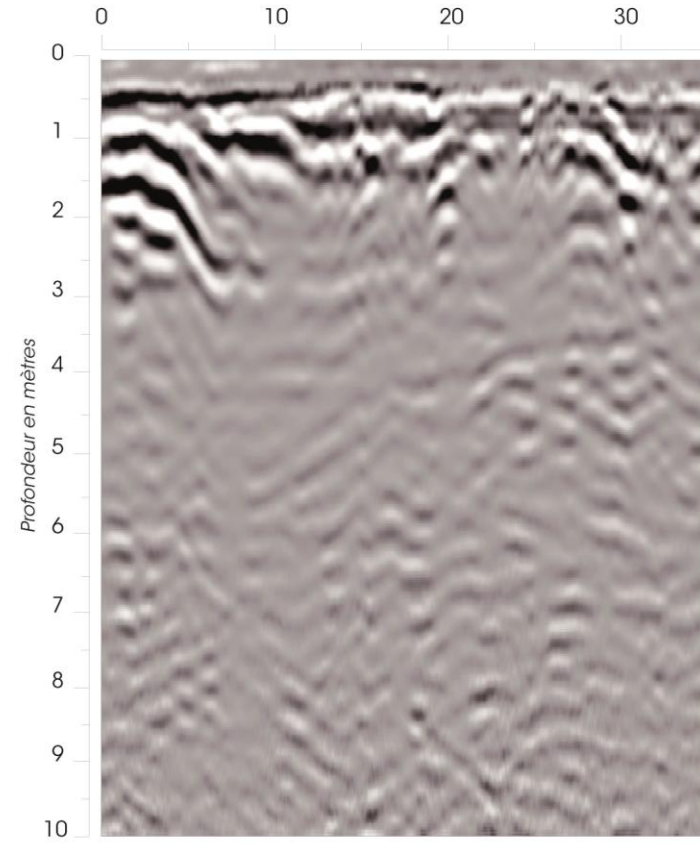
Radargramme DZR_028

Distance en mètres



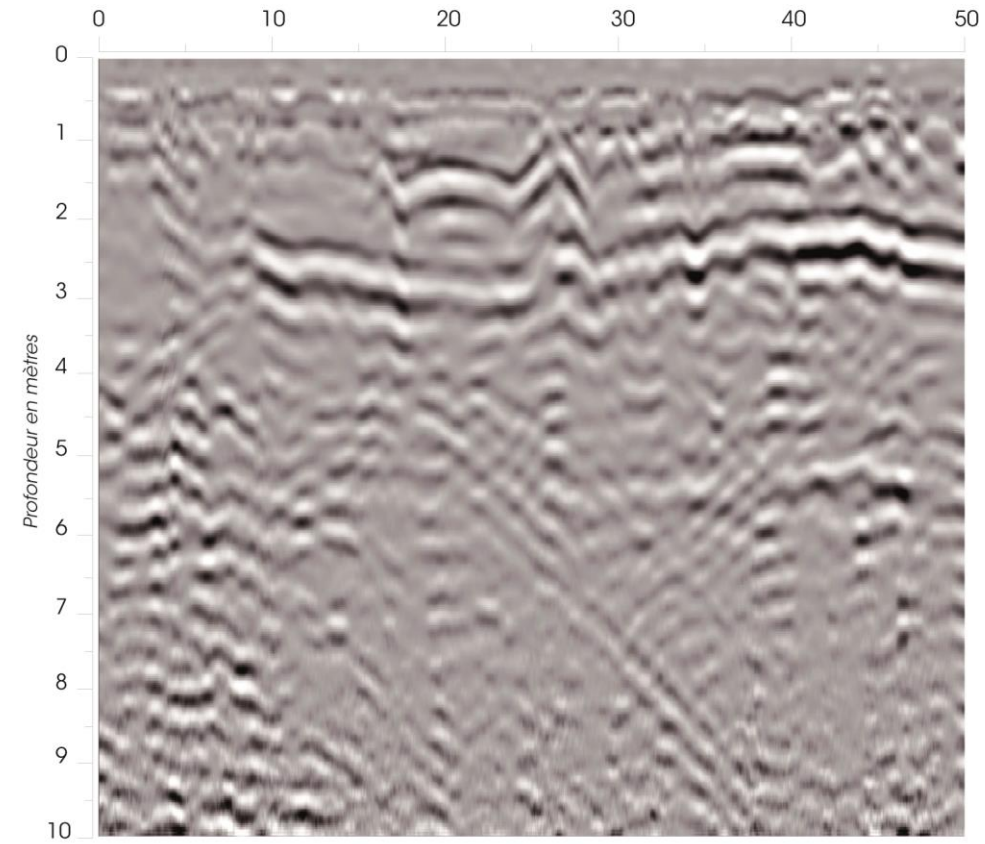
Radargramme DZR_027

Distance en mètres



Radargramme DZR_026

Distance en mètres

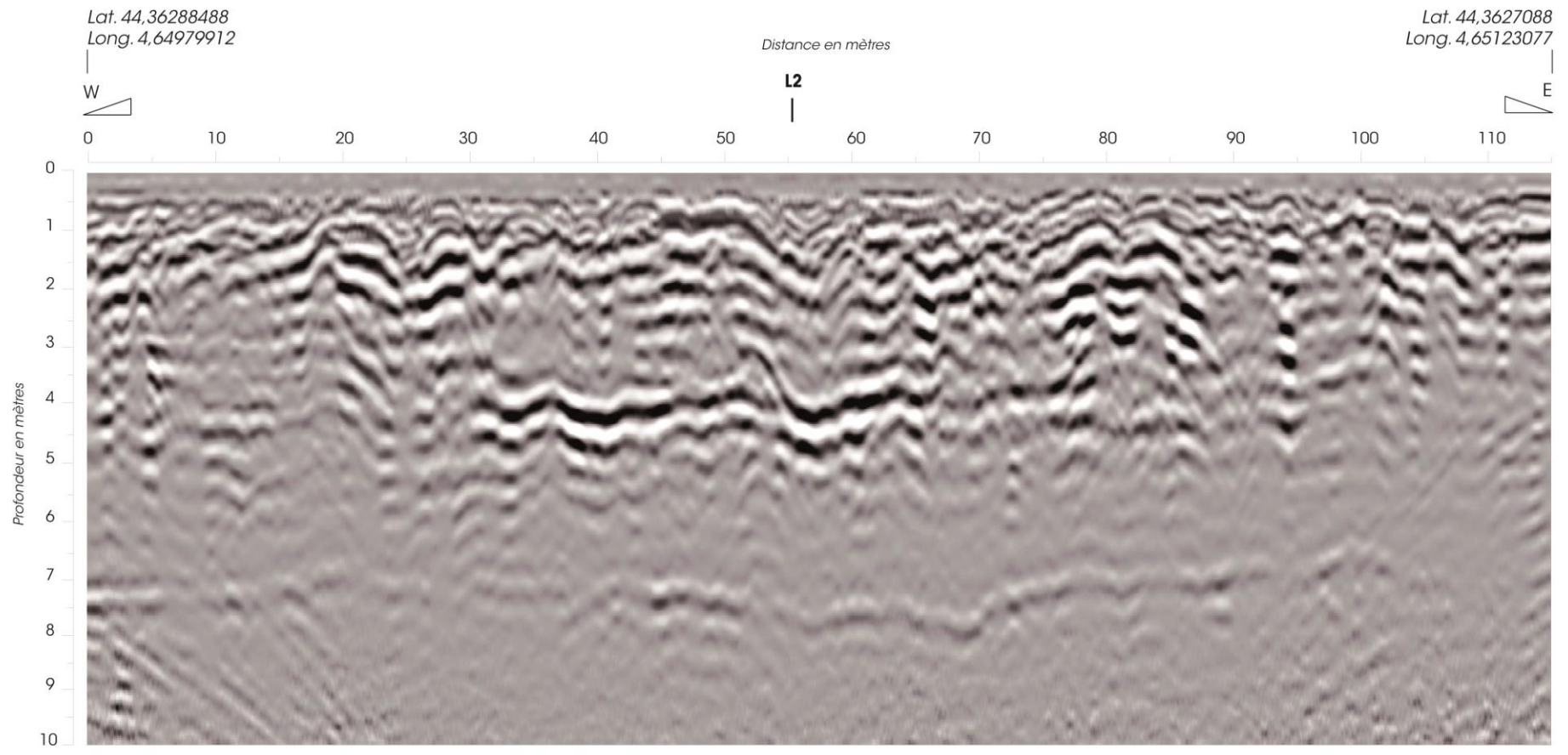


Radargramme DZR_024

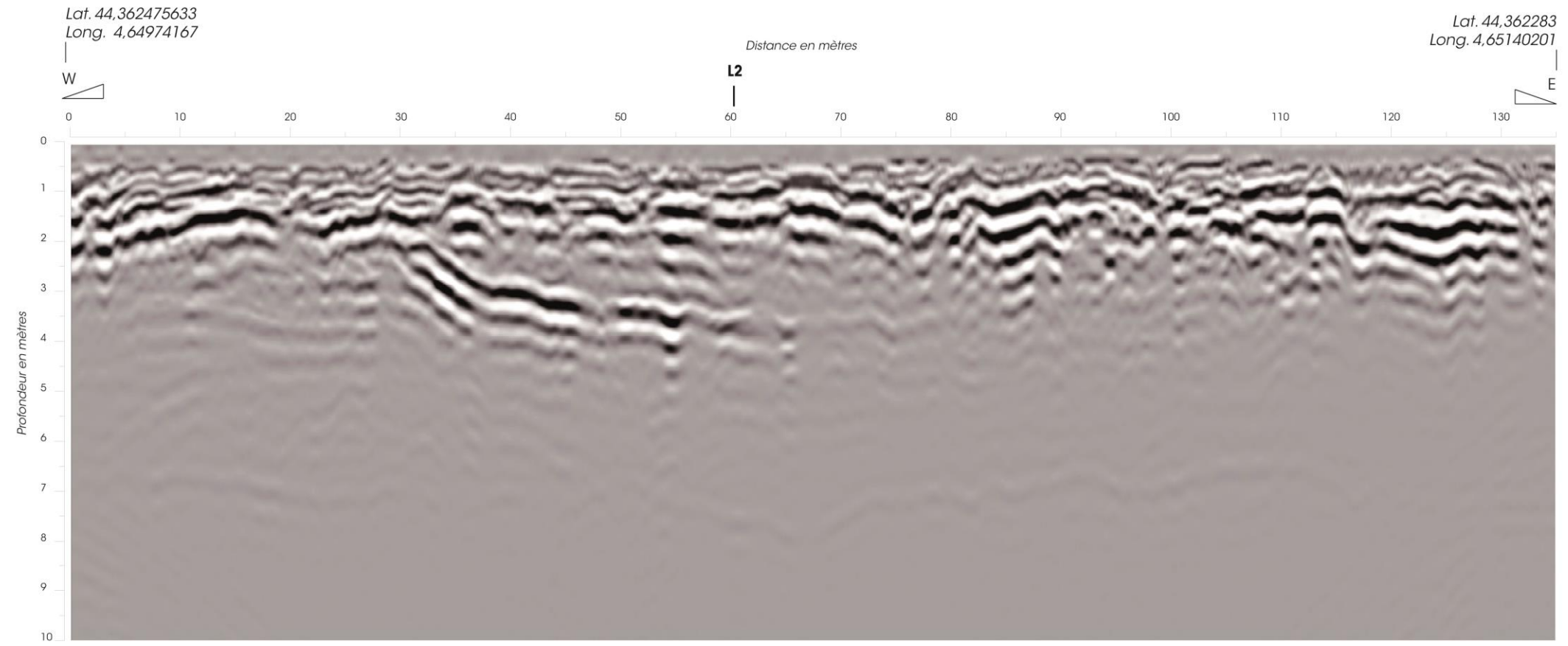
Lat. 44,362294
Long. 4,65156201



Profil longitudinal L3 antenne de 100 MHz, longueur totale de 120 m (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T3 (radargramme DZR_023), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T4 (radargramme DZR_018), antenne de 100 MHz (exagération verticale x4,5)

ANNEXE 3 – RADARGRAMMES TRAITÉS, ANTENNE DE 200 MHz

Cette annexe présente l'ensemble des profils acquis sur le casier de Donzère-Mondragon pour l'antenne de 100 MHz. Ces profils sont tous présentés :

- pour les profils longitudinaux L1, L2 et L3 : du nord vers le sud,
- pour les profils transversaux T1, T2, T3, T4 et T6 : de l'Ouest (Rhône) vers l'Est (berge et bras du Rhône). En raison de la végétation, le profil T5 n'at pas pu être acquis.

Afin d'en faciliter la lecture et l'interprétation, la figure suivante rappelle leur localisation sur la zone d'étude.

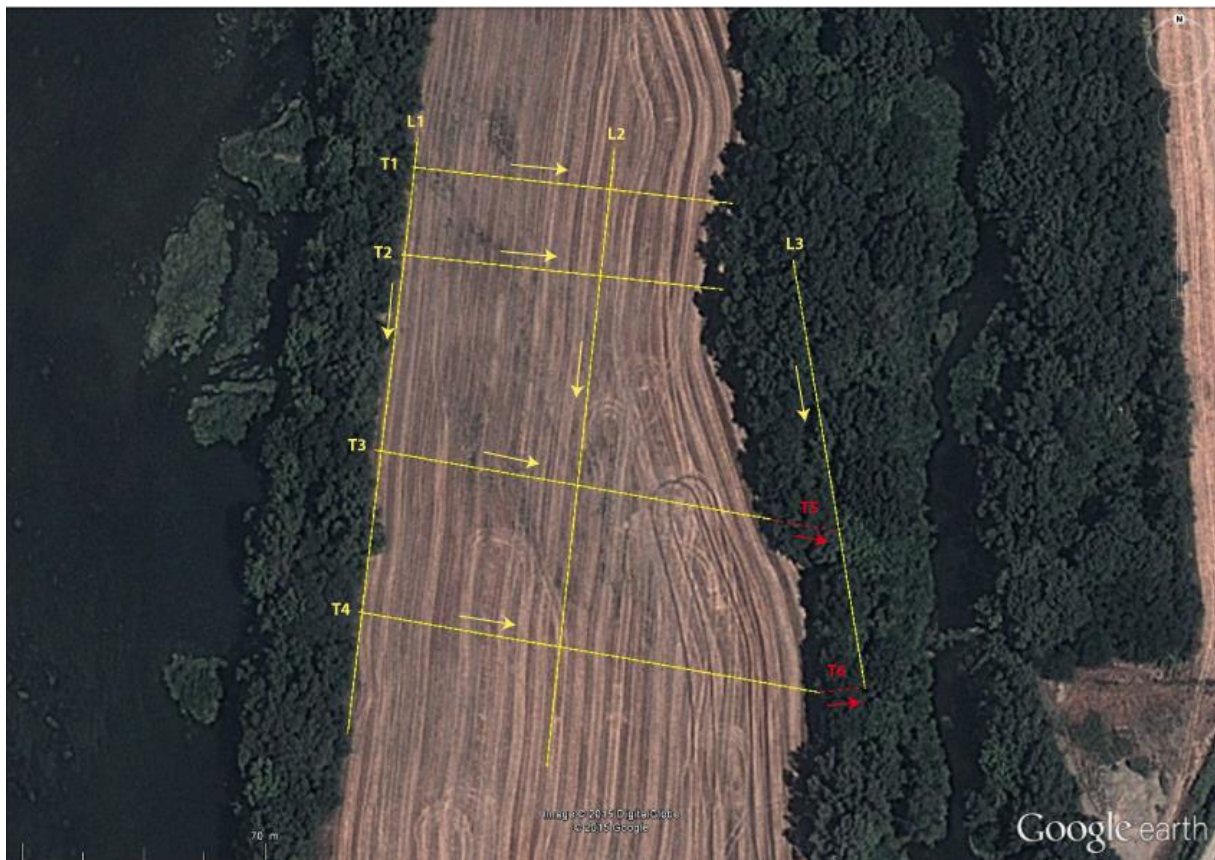
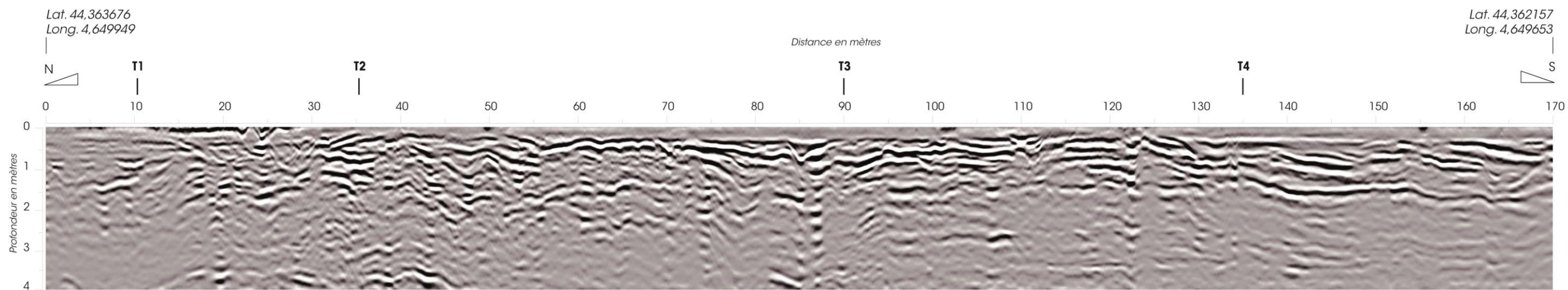
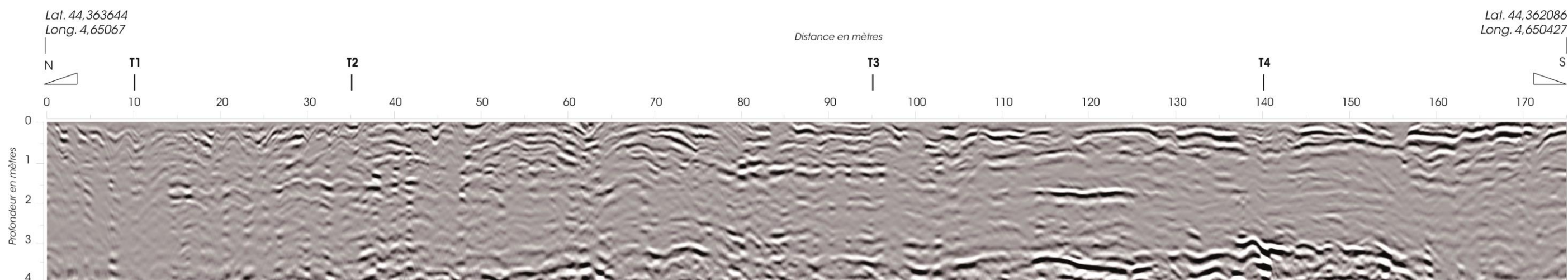


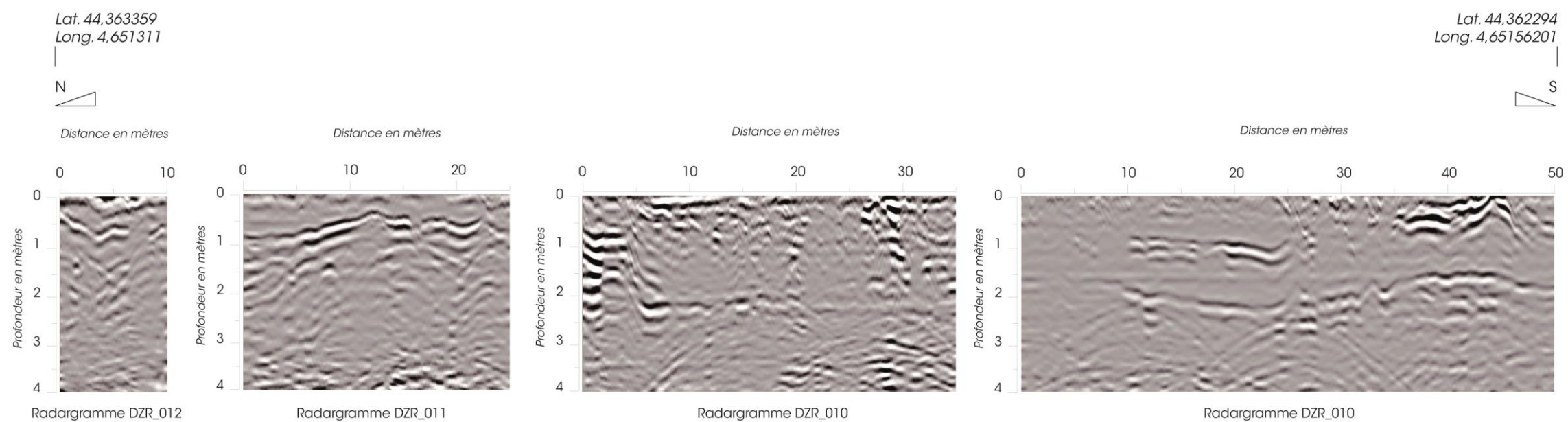
Figure : Localisation des transects réalisés au radar géologique le casier Girardon 15 de Donzère-Mondragon



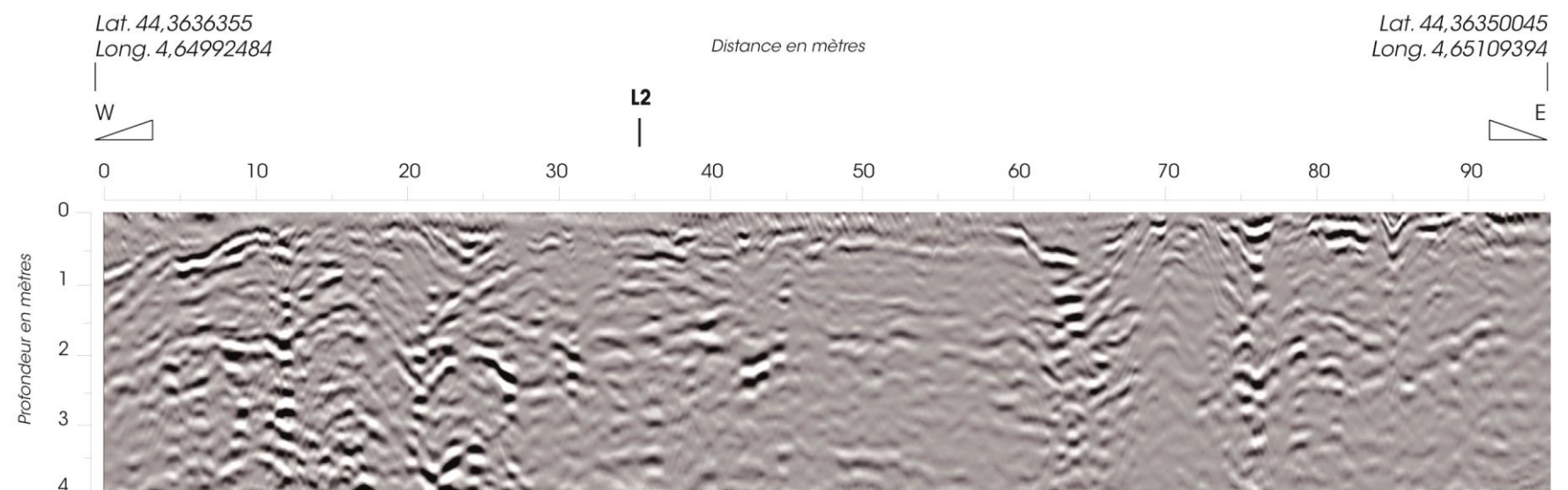
Profil longitudinal L1 (radargramme DZR_006), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



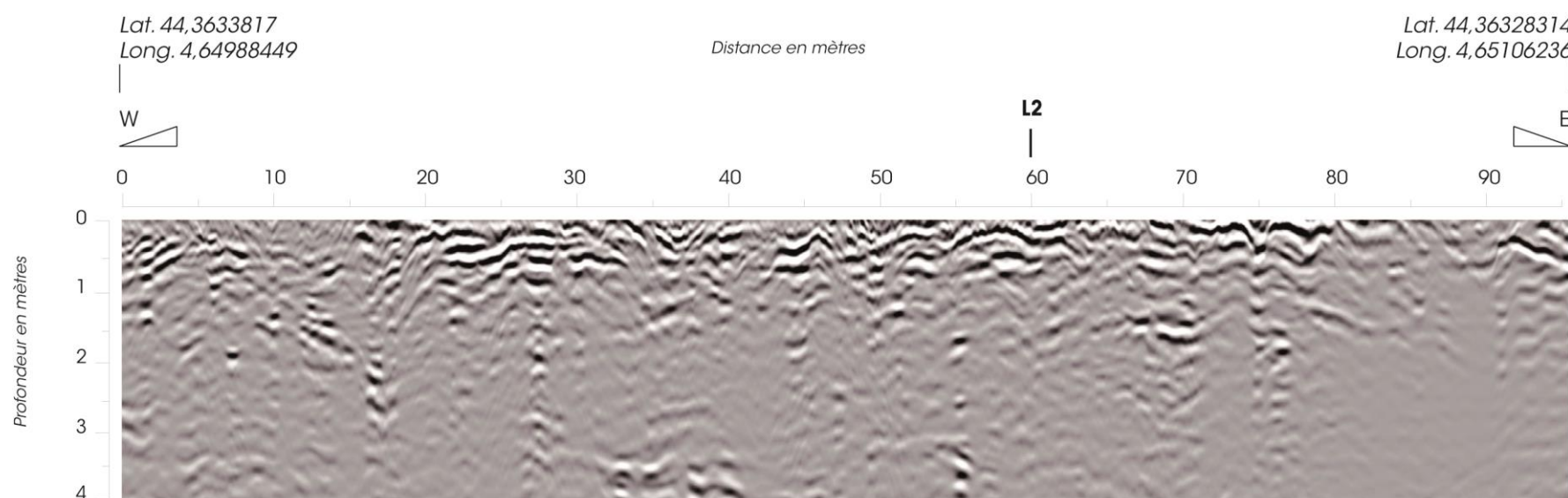
Profil longitudinal L2 (radargramme DZR_007), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



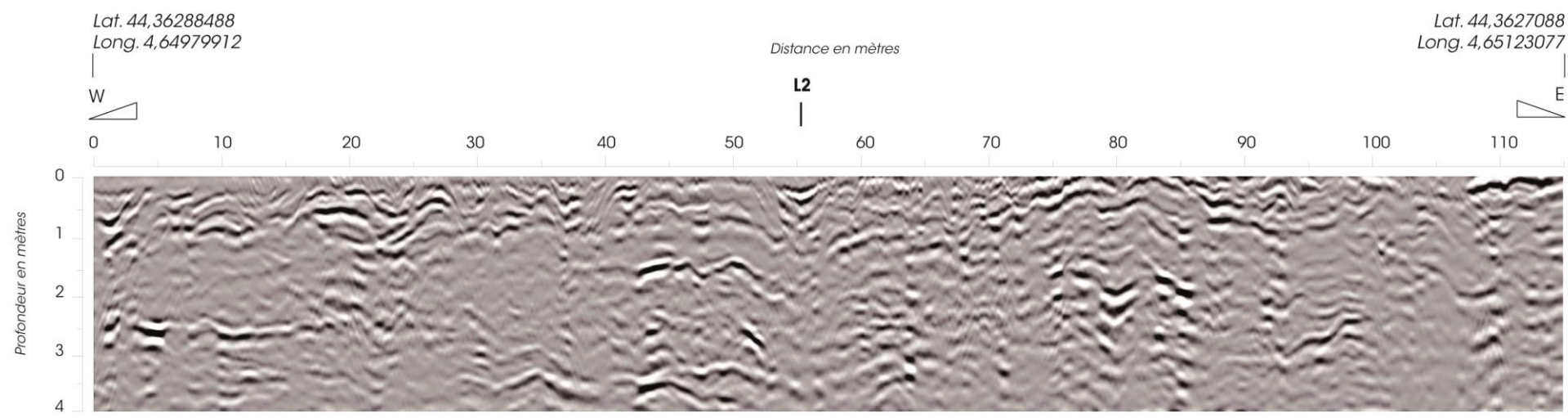
Profil longitudinal L3 antenne de 200 MHz, longueur totale de 120 m (exagération verticale x4,5)



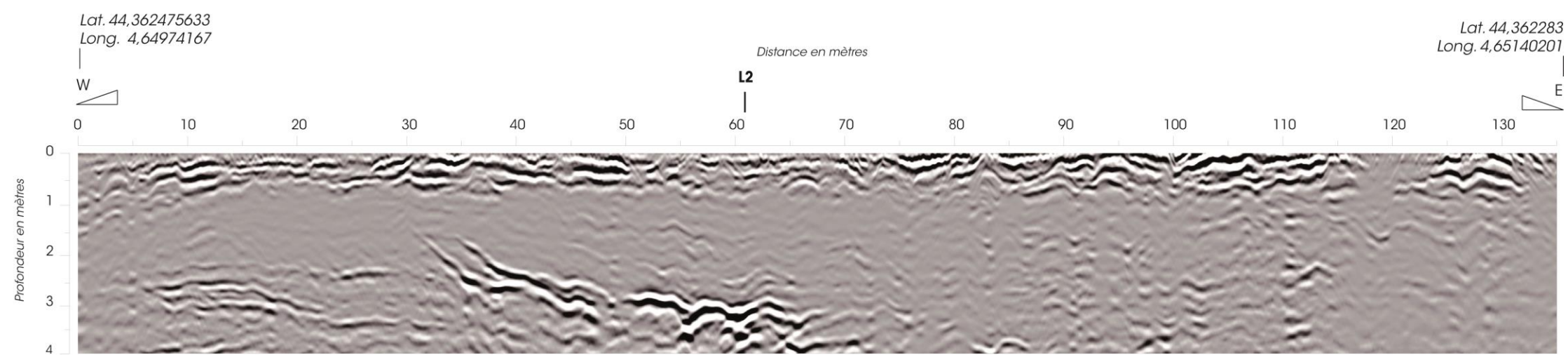
Profil transversal T1 (radargramme DZR_013), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



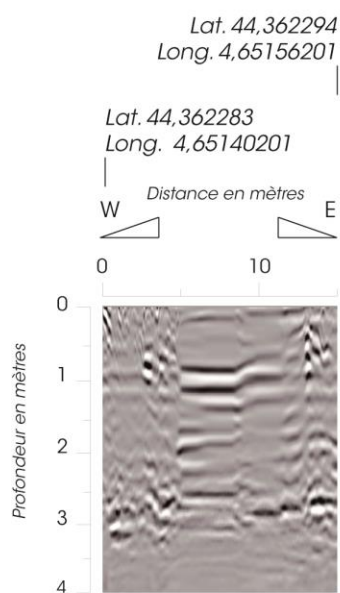
Profil transversal T2 (radargramme DZR_014), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T3 (radargramme DZR_015), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T4 (radargramme DZR_016), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T6 (radargramme DZR_017), antenne de 200 MHz (exagération verticale x4,5)

ANNEXE 4 – RADARGRAMMES TRAITÉS, ANTENNE DE 400 MHz

Cette annexe présente l'ensemble des profils acquis sur le casier de Donzère-Mondragon pour l'antenne de 100 MHz. Ces profils sont tous présentés :

- pour les profils longitudinaux L1, L2 et L3 : du nord vers le sud,
- pour les profils transversaux T1, T2, T3, T4 T5 et T6 : de l'Ouest (Rhône) vers l'Est (berge et bras du Rhône). À l'inverse des antennes de 100 et 200 MHz, les profils courts de 15 mètres T5 et T6 ont pu être intégralement acquis afin de renseigner la géométrie du bourrelet (sableux ?) qui sépare la zone d'exploitation agricole de la zone du bras du Rhône.

Afin d'en faciliter la lecture et l'interprétation, la figure suivante rappelle leur localisation sur la zone d'étude.

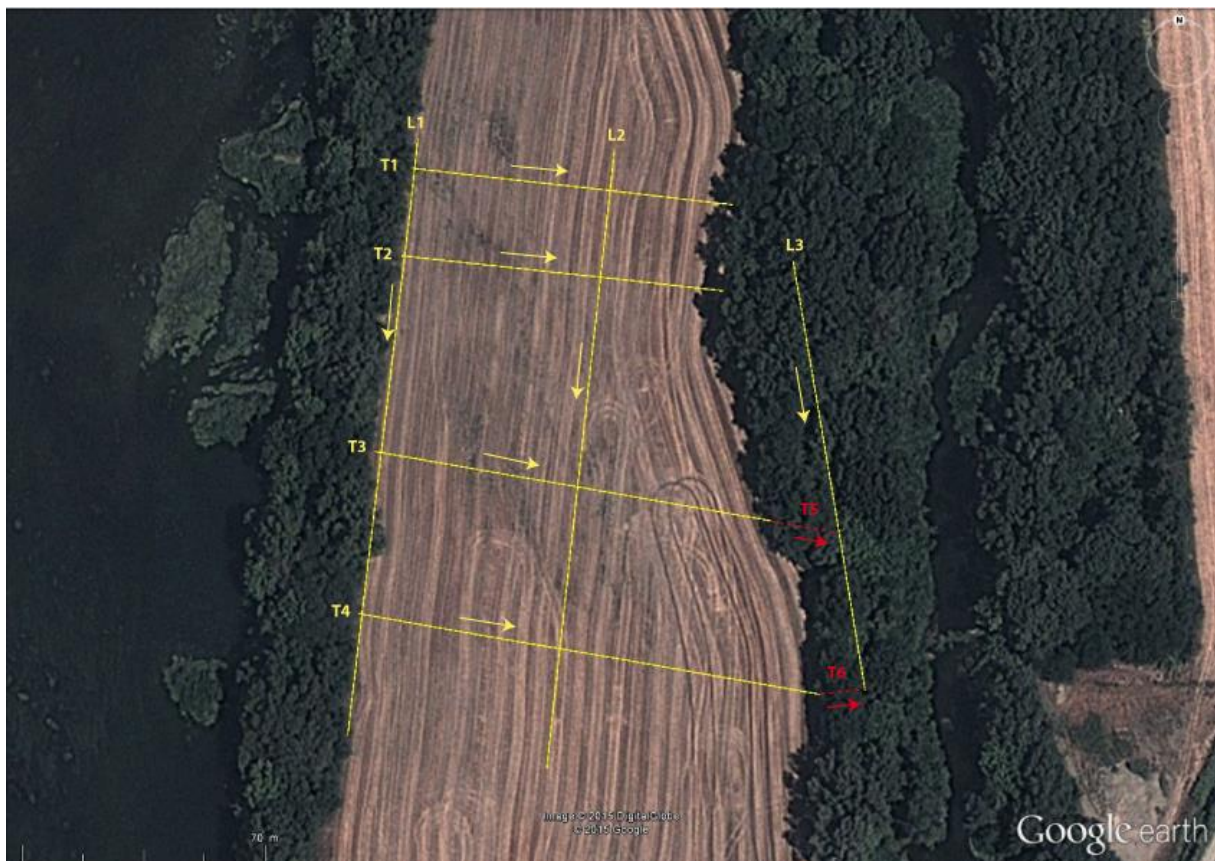
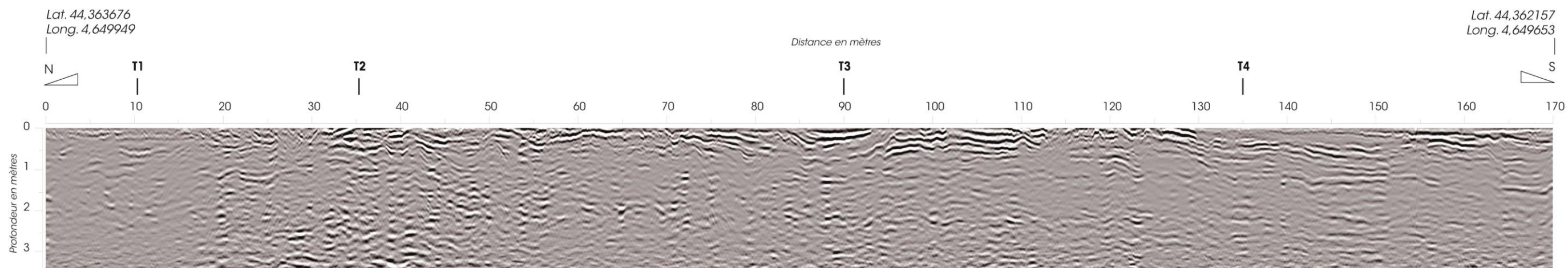
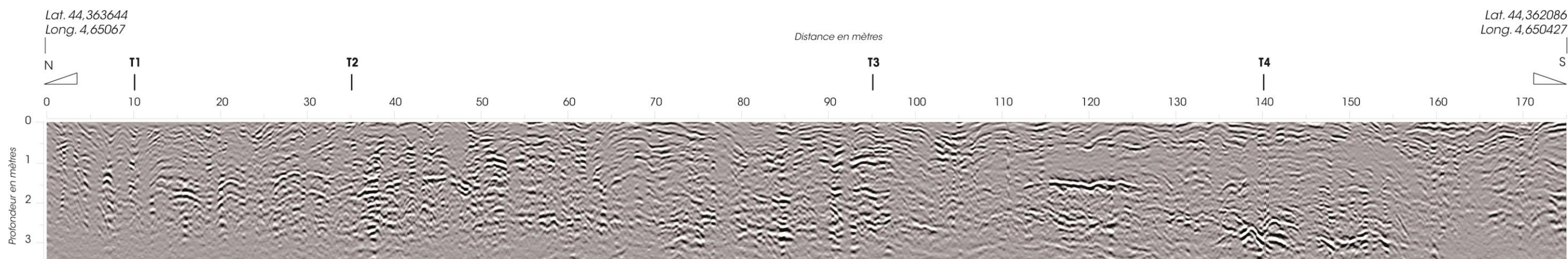


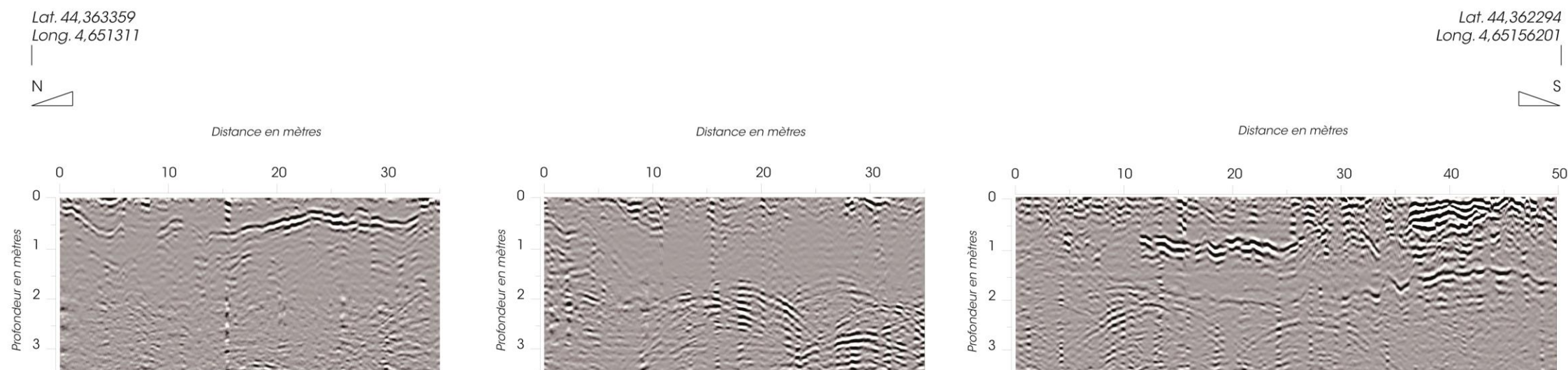
Figure : Localisation des transects réalisés au radar géologique le casier Girardon 15 de Donzère-Mondragon



Profil longitudinal L1 (radargramme DZR_003), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil longitudinal L2 (radargramme DZR_002), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)

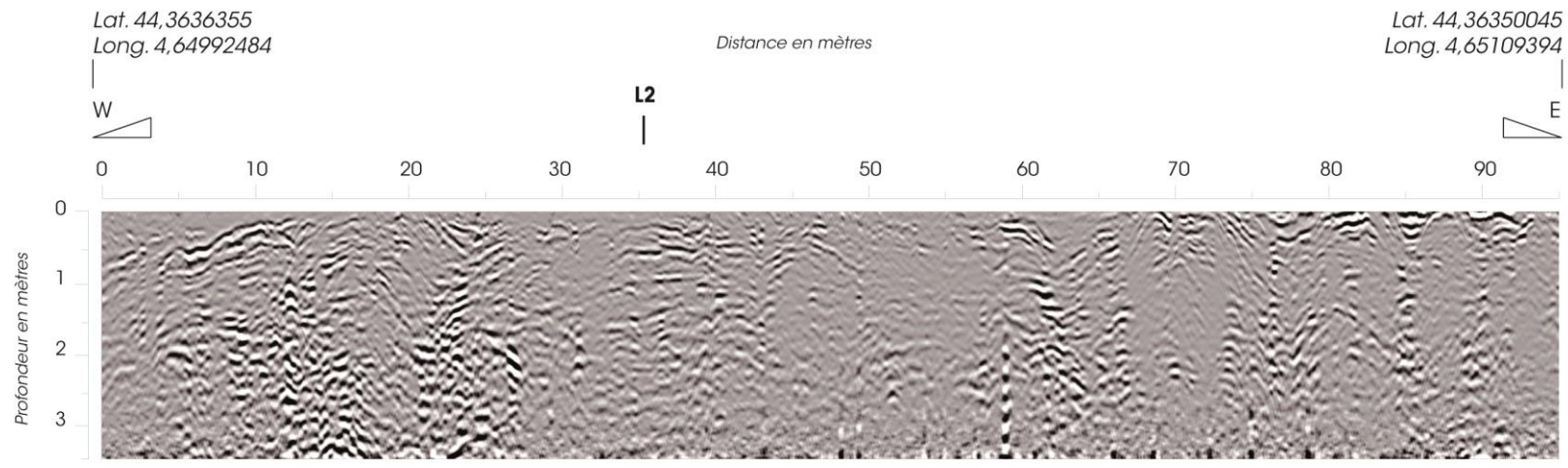


Radargramme DZR_004

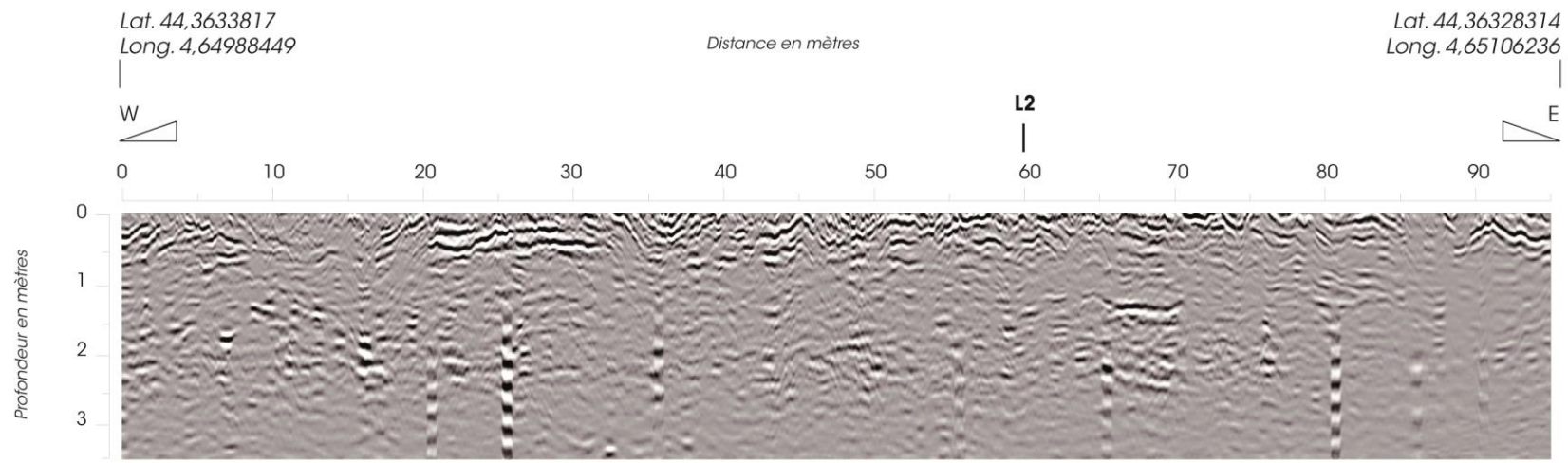
Radargramme DZR_005

Radargramme DZR_007

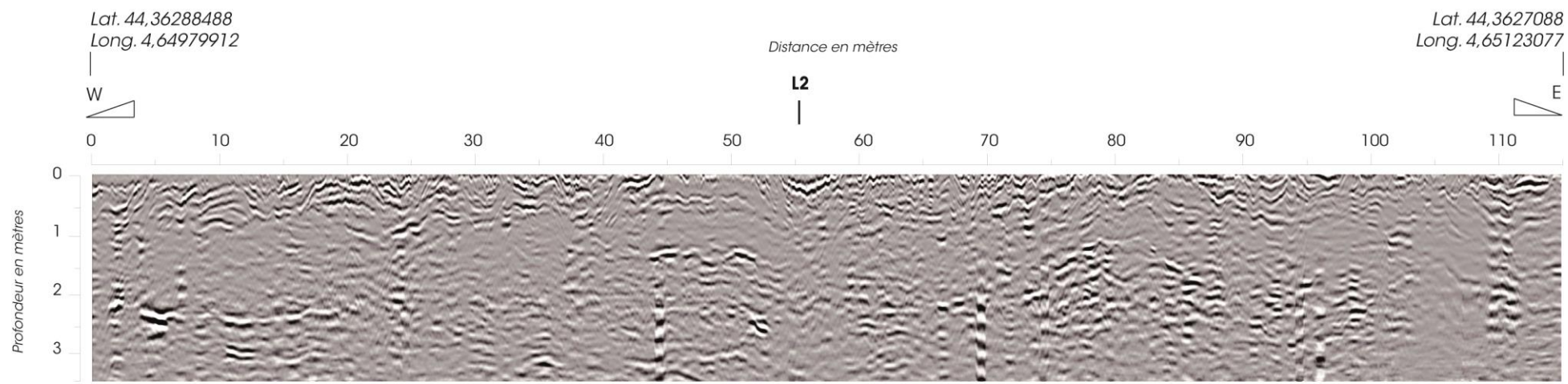
Profil longitudinal L3 antenne de 400 MHz, longueur totale de 120 m (exagération verticale x4,5)



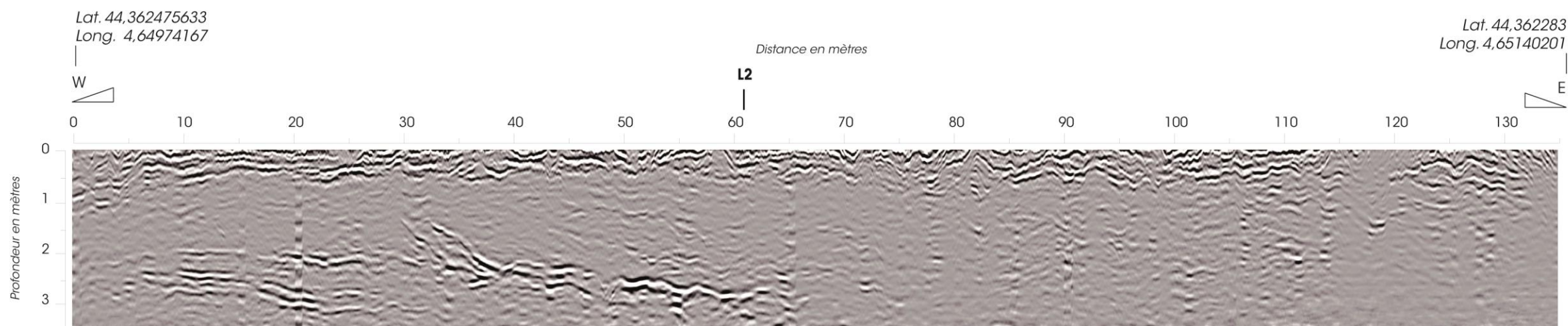
Profil transversal T1 (radargramme DZR_008), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)



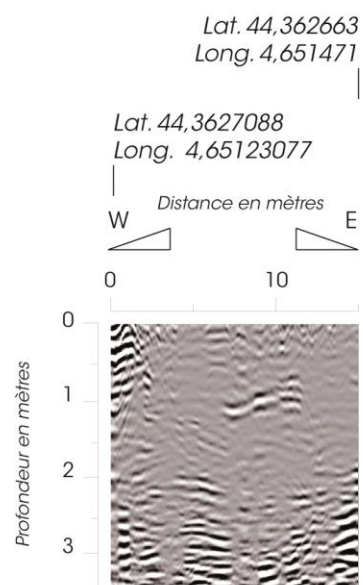
Profil transversal T2 (radargramme DZR_001), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)



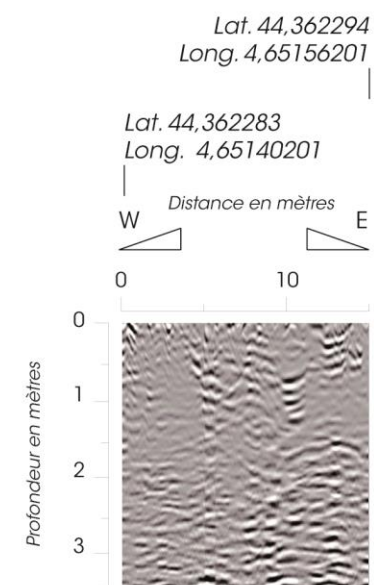
Profil transversal T3 (radargramme DZR_002), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T4 (radargramme DZR_003), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T5 (radargramme DZR_005), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)



Profil transversal T6 (radargramme DZR_004), antenne de 400 MHz (exagération verticale x4,5)

ANNEXES
DE LA
PARTIE B

Annexe 1

Les analyses et les résultats de la caractérisation sédimentologique du casier Girardon présentés dans cette étude utilisent de nombreux termes et paramètres propres à cette discipline. Dans le souci de faciliter la lecture, la compréhension et l'interprétation des résultats présentés, cette annexe présente les **définitions des termes les plus communément employés ainsi qu'une explication succincte des outils d'analyse sédimentologique.**

Classiquement, les sédiments sont définis comme un dépôt de matériel meuble de nature variée d'origine minéralogique ou biogénique (Ramade, 2002). Les particules clastiques (ou minéralogiques) proviennent de roches émergées qui sont érodées par des processus d'altération physique, chimique et/ou biologique (Chamley, 2000). Les débris organiques (ou biogéniques) constituent un composant ubiquiste des sédiments qui peut conduire à une coloration noire ou gris foncée des dépôts (Chamley, 2000).

Le Rhône se trouve dans ce cadre classique. Ces sédiments sont donc constitués de matériaux minéraux allochtones (provenant de son bassin-versant) et de particules organiques allochtones ou autochtones (i.e. produites dans le fleuve).

Généralement, l'analyse texturale des sédiments est menée via une **analyse granulométrique**, qui apporte les premières informations sur leur milieu de sédimentation. Les principaux paramètres utilisés sont les suivants :

- **La médiane**, obtenue à partir de la courbe cumulative (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), correspond à la taille des particules pour une masse cumulée de 50% des sédiments,
- **Le mode principal** définit la classe granulométrique la plus représentée. Il est déterminé sur la courbe de fréquence (figure 1),
- **Le grain moyen** est la moyenne de la taille des grains. Il renseigne sur l'éloignement entre la source et le site de dépôt du sédiment, qui se traduit par une diminution du grain moyen avec la distance. De manière générale, le grain moyen exprime la force du courant à l'origine du transport des particules. Il est calculé grâce à la formule suivante :

$$\text{grainmoyen} = (Q_{10} + Q_{30} + Q_{50} + Q_{70} + Q_{90}) / 5.$$

- **Le classement** (figure 1) indique la dispersion des tailles de l'échantillon par rapport à la moyenne, définissant ainsi le tri des sédiments lors de son transport ou de son dépôt. Il se calcule de la façon suivante :

$$\text{Classement} = \left(\frac{Q_{75}}{Q_{25}} \right)^{0,5}.$$

- **L'asymétrie** (figure 1) renseigne sur la prépondérance, ou non, de particules fines ou grossières par rapport au grain moyen de l'échantillon. Il contribue à la caractérisation du milieu de dépôt. Elle est donnée par la formule suivante :

$$\text{Asymétrie} = \frac{Q_{25} * Q_{75}}{Q_{50}^2}.$$

Il existe plusieurs méthodes de calcul du grain moyen, du classement et de l'asymétrie. Il a été choisi d'appliquer la méthode géométrique de Folk et Ward, qui apparaît comme étant la plus robuste pour comparer des sédiments variés (Blott et Pye, 2001).

Classement	
Très bien classé	< 1,27
Bien classé	1,27 à 1,41
Assez bien classé	1,41 à 1,62
Moyennement classé	1,62 à 2
Mal classé	2 à 4
Très mal classé	4 à 16
Extrêmement mal classé	> 16

Asymétrie	
Forte asymétrie vers les petites particules	-1 à -0,3
Asymétrie vers les petites particules	-0,3 à -0,1
Symétrie de l'échantillon	-0,1 à 0,1
Asymétrie vers les grosses particules	0,1 à 0,3
Forte asymétrie vers les grosses particules	0,3 à 1

Tableau 1 : Valeur des paramètres de classement et d'asymétrie par la méthode géométrique de Folk et Ward (Blott et Pye, 2001)

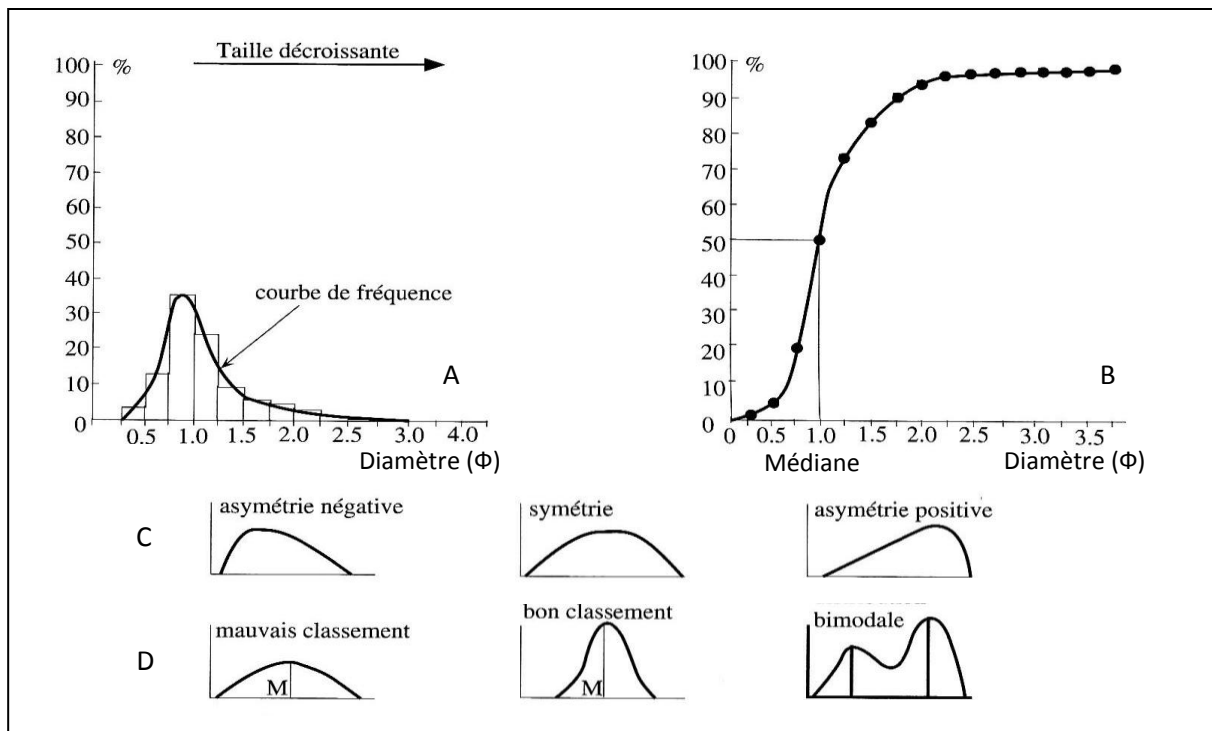


Figure 1 : Exemples de graphiques et de paramètres granulométriques (A : Histogramme et courbe de fréquence, B : Courbe cumulative et médiane, C : Asymétrie, D : Classement) (Chamley, 2000)

TECHNICAL COMMUNICATION

GRADISTAT: A GRAIN SIZE DISTRIBUTION AND STATISTICS PACKAGE FOR THE ANALYSIS OF UNCONSOLIDATED SEDIMENTS

SIMON J. BLOTT AND KENNETH PYE

Surface Processes and Modern Environments Research Group, Department of Geology, Royal Holloway University of London, Egham, Surrey, TW20 0EX, UK

Received 26 January 2001; Revised 2 May 2001; Accepted 21 June 2001

ABSTRACT

Grain size analysis is an essential tool for classifying sedimentary environments. The calculation of statistics for many samples can, however, be a laborious process. A computer program called GRADISTAT has been written for the rapid analysis of grain size statistics from any of the standard measuring techniques, such as sieving and laser granulometry. Mean, mode, sorting, skewness and other statistics are calculated arithmetically and geometrically (in metric units) and logarithmically (in phi units) using moment and Folk and Ward graphical methods. Method comparison has allowed Folk and Ward descriptive terms to be assigned to moments statistics. Results indicate that Folk and Ward measures, expressed in metric units, appear to provide the most robust basis for routine comparisons of compositionally variable sediments. The program runs within the Microsoft Excel spreadsheet package and is extremely versatile, accepting standard and non-standard size data, and producing a range of graphical outputs including frequency and ternary plots. Copyright © 2001 John Wiley & Sons, Ltd.

KEY WORDS: grain size statistics; moments method; sediments

INTRODUCTION

Grain size is the most fundamental property of sediment particles, affecting their entrainment, transport and deposition. Grain size analysis therefore provides important clues to the sediment provenance, transport history and depositional conditions (e.g. Folk and Ward, 1957; Friedman, 1979; Bui *et al.*, 1990). The various techniques employed in grain size determination include direct measurement, dry and wet sieving, sedimentation, and measurement by laser granulometer, X-ray sedigraph and Coulter counter. These methods describe widely different aspects of 'size', including *maximum calliper diameter*, *sieve diameter* and *equivalent spherical diameter*, and are to a greater or lesser extent influenced by variations in grain shape, density and optical properties. For this reason, the results obtained using different methods may not be directly comparable, and it can be difficult to assimilate size data obtained using more than one method (Pye, 1994). All techniques involve the division of the sediment sample into a number of size fractions, enabling a grain size distribution to be constructed from the weight or volume percentage of sediment in each size fraction.

FUNDAMENTALS OF GRAIN SIZE ANALYSIS

In order to compare different sediments, grain size distributions have most frequently been described by their deviation from a prescribed ideal distribution. Computations performed assuming a normal, or Gaussian,

*Correspondence to: S. Blott, Department of Geology, Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey, TW20 0EX, UK. E-mail: s.blott@gl.rhul.ac.uk.

Contract/grant sponsor: NERC; Contract/grant number: (Studentship GT04/97/250/MS).

Contract/grant sponsor: Environment Agency.

distribution, with an arithmetic grain size scale, are seldom used in sedimentology, since too much emphasis is placed on coarse sediment and too little on fine particles (McManus, 1988). Consequently, geometric scaling is usually employed to place equal emphasis on small differences in fine particles and larger differences in coarse particles (Figure 1). Most sedimentologists have adopted the logarithmic Udden–Wentworth grade scale (Udden, 1914; Wentworth, 1922), where the boundaries between successive size classes differ by a factor of two. In order to facilitate graphical presentation and statistical manipulation of grain size frequency data, Krumbein (1934) further proposed that grade scale boundaries should be logarithmically transformed into phi (ϕ) values, using the expression $\phi = -\log_2 d$, where d is the grain diameter in millimetres (Table I). Distributions using these scales are termed ‘log-normal’, and are conventionally used by sedimentologists (e.g. Visser, 1969; Middleton, 1976).

Some workers have advocated comparisons with alternative distributions. For example, it has been claimed that additional information can be gained if both the grain size and frequency scales are logarithmically transformed (e.g. Bagnold and Barndorff-Nielsen, 1980; Hartmann and Christiansen, 1992). However, the majority of sedimentologists have yet to be convinced that such ‘log-hyperbolic’ distributions provide any significantly greater insight into the processes involved (e.g. Wyrwoll and Smith, 1985, 1988), and most still use the log-normal distribution.

The parameters used to describe a grain size distribution fall into four principal groups: those measuring (a) the average size, (b) the spread (sorting) of the sizes around the average, (c) the symmetry or preferential

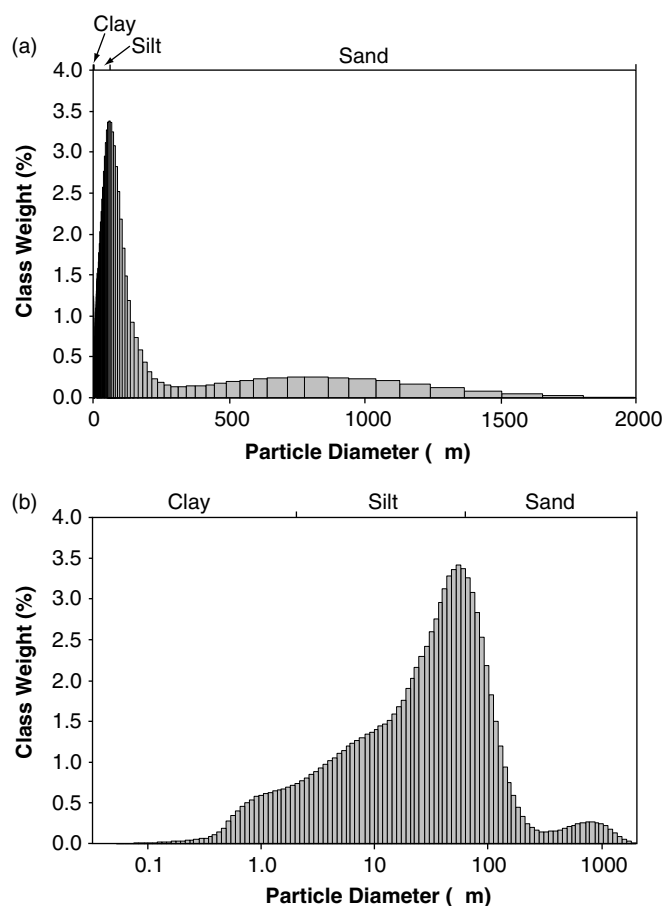


Figure 1. Grain size frequency histograms for a poorly sorted glacial till (Lowestoft, UK), analysed by laser granulometer and plotted with (a) arithmetic size scale and (b) geometric size scale

Table I. Size scale adopted in the GRADISTAT program, compared with those previously used by Udden (1914), Wentworth (1922) and Friedman and Sanders (1978)

Grain size		Descriptive terminology		
phi	mm/ m	Udden (1914) and Wentworth (1922)	Friedman and Sanders (1978)	GRADISTAT program
			Very large boulders	
-11	2048 mm		Large boulders	Very large
-10	1024	Cobbles	Medium boulders	Large
-9	512		Small boulders	Medium
-8	256		Large cobbles	Small
-7	128		Small cobbles	Very small
-6	64			
-5	32		Very coarse pebbles	Very coarse
-4	16	Pebbles	Coarse pebbles	Coarse
-3	8		Medium pebbles	Medium
-2	4		Fine pebbles	Fine
-1	2	Granules	Very fine pebbles	Very fine
0	1	Very coarse sand	Very coarse sand	Very coarse
1	500 m	Coarse sand	Coarse sand	Coarse
2	250	Medium sand	Medium sand	Medium
3	125	Fine sand	Fine sand	Fine
4	63	Very fine sand	Very fine sand	Very fine
5	31		Very coarse silt	Very coarse
6	16	Silt	Coarse silt	Coarse
7	8		Medium silt	Medium
8	4		Fine silt	Fine
9	2	Clay	Very fine silt	Very fine
			Clay	Clay

spread (skewness) to one side of the average, and (d) the degree of concentration of the grains relative to the average (kurtosis). These parameters can be easily obtained by mathematical or graphical methods. The mathematical 'method of moments' (Krumbein and Pettijohn, 1938; Friedman and Johnson, 1982) is the most accurate since it employs the entire sample population. However, as a consequence, the statistics are greatly affected by outliers in the tails of the distribution, and this form of analysis should not be used unless the size distribution is fully known (McManus, 1988).

Prior to the availability of modern computers, the calculation of grain size parameters by the method of moments was a laborious process. Approximations of the parameters can, however, be obtained by plotting frequency data as a cumulative frequency curve, extracting prescribed values from the curve and entering these into established formulae. Many formulae have been proposed (e.g. Trask, 1932; Krumbein, 1938; Otto, 1939; Inman, 1952; McCammon, 1962) although the most widely used are those proposed by Folk and Ward (1957). Such techniques are most appropriate for the analysis of open-ended distributions, since the tails of the distribution, which may include extreme outliers, are ignored. With the development of computerized data analysis, however, calculation of both method of moments and graphical parameters can be automated, and some of the original advantages of graphical techniques no longer apply.

THE GRADISTAT PROGRAM

It is with the wide-ranging needs of researchers in geomorphology and sedimentology in mind that the GRADISTAT program has been written. It provides rapid (approximately 50 samples per hour) calculation of grain size statistics by both Folk and Ward (1957) and moments methods. While programs capable of analysing grain size data have been published in the past (e.g. Isphording, 1970; Slatt and Press, 1976; McLane, cited in Pye, 1989; Utke, 1997), these are often cumbersome to use or allow little modification for individual requirements.

The program, written in Microsoft Visual Basic, is integrated into a Microsoft Excel spreadsheet, allowing both tabular and graphical output. The user is required to input the percentage of sediment present in a number of size fractions. This can be the weight retained on a series of sieves, or the percentage of sediment detected in size classes derived from a laser granulometer, X-ray sedigraph or Coulter counter. The following sample statistics are then calculated: mean, mode(s), sorting (standard deviation), skewness, kurtosis, and a range of

Table II. Statistical formulae used in the calculation of grain size parameters and suggested descriptive terminology, modified from Krumbein and Pettijohn (1938) and Folk and Ward (1957) (*f* is the frequency in per cent; *m* is the mid-point of each class interval in metric (*m_m*) or phi (*m_φ*) units; *P_x* and *φ_x* are grain diameters, in metric or phi units respectively, at the cumulative percentile value of *x*)

(a) Arithmetic method of moments

Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis
$\bar{x}_a = \frac{\sum f m_m}{100}$	$\sigma_a = \sqrt{\frac{\sum f (m_m - \bar{x}_a)^2}{100}}$	$Sk_a = \frac{\sum f (m_m - \bar{x}_a)^3}{100\sigma_a^3}$	$K_a = \frac{\sum f (m_m - \bar{x}_a)^4}{100\sigma_a^4}$

(b) Geometric method of moments

Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis		
$\bar{x}_g = \exp \frac{\sum f \ln m_m}{100}$	$\sigma_g = \exp \sqrt{\frac{\sum f (\ln m_m - \ln \bar{x}_g)^2}{100}}$	$Sk_g = \frac{\sum f (\ln m_m - \ln \bar{x}_g)^3}{100 \ln \sigma_g^3}$	$K_g = \frac{\sum f (\ln m_m - \ln \bar{x}_g)^4}{100 \ln \sigma_g^4}$		
Sorting (<i>σ_g</i>)	Skewness (<i>Sk_g</i>)	Kurtosis (<i>K_g</i>)			
Very well sorted	<1.27	Very fine skewed	<-1.30	Very platykurtic	<1.70
Well sorted	1.27-1.41	Fine skewed	-1.30 to -0.43	Platykurtic	1.70-2.55
Moderately well sorted	1.41-1.62	Symmetrical	-0.43 to +0.43	Mesokurtic	2.55-3.70
Moderately sorted	1.62-2.00	Coarse skewed	+0.43 to +1.30	Leptokurtic	3.70-7.40
Poorly sorted	2.00-4.00	Very coarse skewed	>+1.30	Very leptokurtic	>7.40
Very poorly sorted	4.00-16.00				
Extremely poorly sorted	>16.00				

(c) Logarithmic method of moments

Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis		
$\bar{x}_\phi = \frac{\sum f m_\phi}{100}$	$\sigma_\phi = \sqrt{\frac{\sum f (m_\phi - \bar{x}_\phi)^2}{100}}$	$Sk_\phi = \frac{\sum f (m_\phi - \bar{x}_\phi)^3}{100\sigma_\phi^3}$	$K_\phi = \frac{\sum f (m_\phi - \bar{x}_\phi)^4}{100\sigma_\phi^4}$		
Sorting (σ_ϕ)	Skewness (Sk_ϕ)		Kurtosis (K_ϕ)		
Very well sorted	<0.35	Very fine skewed	>+1.30	Very platykurtic	<1.70
Well sorted	0.35–0.50	Fine skewed	+0.43 to +1.30	Platykurtic	1.70–2.55
Moderately well sorted	0.50–0.70	Symmetrical	-0.43 to +0.43	Mesokurtic	2.55–3.70
Moderately sorted	0.70–1.00	Coarse skewed	-0.43 to -1.30	Leptokurtic	3.70–7.40
Poorly sorted	1.00–2.00	Very coarse skewed	<-1.30	Very leptokurtic	>7.40
Very poorly sorted	2.00–4.00				
Extremely poorly sorted	>4.00				

(d) Logarithmic (original) Folk and Ward (1957) graphical measures

Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis		
$M_Z = \frac{\phi_{16} + \phi_{50} + \phi_{84}}{3}$	$\sigma_I = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$	$Sk_I = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_5 + \phi_{95} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{95} - \phi_5)}$	$K_G = \frac{\phi_{95} - \phi_5}{2.44(\phi_{75} - \phi_{25})}$		
Sorting (σ_I)	Skewness (Sk_I)		Kurtosis (K_G)		
Very well sorted	<0.35	Very fine skewed	+0.3 to +1.0	Very platykurtic	<0.67
Well sorted	0.35–0.50	Fine skewed	+0.1 to +0.3	Platykurtic	0.67–0.90
Moderately well sorted	0.50–0.70	Symmetrical	+0.1 to -0.1	Mesokurtic	0.90–1.11
Moderately sorted	0.70–1.00	Coarse skewed	-0.1 to -0.3	Leptokurtic	1.11–1.50
Poorly sorted	1.00–2.00	Very coarse skewed	-0.3 to -1.0	Very leptokurtic	1.50–3.00
Very poorly sorted	2.00–4.00			Extremely leptokurtic	>3.00
Extremely poorly sorted	>4.00				

(e) Geometric (modified) Folk and Ward (1957) graphical measures

Mean	Standard deviation	Skewness	Kurtosis		
$M_G = \exp \frac{\ln P_{16} + \ln P_{50} + \ln P_{84}}{3}$	$\sigma_G = \exp \left(\frac{\ln P_{16} - \ln P_{84}}{4} + \frac{\ln P_5 - \ln P_{95}}{6.6} \right)$	$Sk_G = \frac{\ln P_{16} + \ln P_{84} - 2(\ln P_{50})}{2(\ln P_{84} - \ln P_{16})} + \frac{\ln P_5 + \ln P_{95} - 2(\ln P_{50})}{2(\ln P_{25} - \ln P_5)}$	$K_G = \frac{\ln P_5 - \ln P_{95}}{2.44(\ln P_{25} - \ln P_{75})}$		
Sorting (σ_G)	Skewness (Sk_G)		Kurtosis (K_G)		
Very well sorted	<1.27	Very fine skewed	-0.3 to -1.0	Very platykurtic	<0.67
Well sorted	1.27–1.41	Fine skewed	-0.1 to -0.3	Platykurtic	0.67–0.90
Moderately well sorted	1.41–1.62	Symmetrical	-0.1 to +0.1	Mesokurtic	0.90–1.11
Moderately sorted	1.62–2.00	Coarse skewed	+0.1 to +0.3	Leptokurtic	1.11–1.50
Poorly sorted	2.00–4.00	Very coarse skewed	+0.3 to +1.0	Very leptokurtic	1.50–3.00
Very poorly sorted	4.00–16.00			Extremely leptokurtic	>3.00
Extremely poorly sorted	>16.00				

cumulative percentile values (the grain size at which a specified percentage of the grains are coarser), namely D_{10} , D_{50} , D_{90} , D_{90}/D_{10} , $D_{90}-D_{10}$, D_{75}/D_{25} and $D_{75}-D_{25}$.

In the program, the method of moments is used to calculate statistics *arithmetically* (based on a normal distribution with metric size values, seldom used in sedimentology but available with some Coulter sizing instruments), *geometrically* (based on a log-normal distribution with metric size values) and *logarithmically* (based on a log-normal distribution with phi size values), following the terminology and formulae suggested by Krumbein and Pettijohn (1938). Specified values are then extracted from the cumulative percentage curve using a linear interpolation between adjacent known points on the curve. These are used to calculate Folk and Ward parameters *logarithmically* (as originally suggested in Folk and Ward (1957), based on a log-normal distribution with phi size values) and *geometrically* (based on a log-normal distribution with metric size values). Formulae used in these calculations are presented in Table II.

The statistical parameters are also related to descriptive terms. The mean grain size is described using a modified Udden–Wentworth grade scale (Table I). For terminology to be consistent with the silt and sand fractions, gravel is redefined here as a fraction containing five subclasses ranging from very fine (2 mm) to very coarse (64 mm). Clasts larger than 64 mm are described as boulders. The terms granule, pebble and cobble have been removed, and it is recommended that their use be reserved for the description of rounded or subrounded clasts. ‘Shingle’ may also be defined simply as rounded gravel. Sorting, skewness and kurtosis are described here using the scheme proposed by Folk and Ward (1957). However, to avoid confusion as to whether skewness terms relate to metric or phi scales, positive skewness is renamed ‘fine skewed’ (indicating an excess of fines), and negative skewness is renamed ‘coarse skewed’ (indicating a tail of coarser particles).

The program provides a physical description of the textural class (such as ‘muddy sandy gravel’) after Folk (1954). Also included is a table giving the percentage of grains falling into each size fraction. For sieving results, the program warns the user if a significant amount (>2 per cent) of sediment has been lost during analysis. In terms of graphical output, the program provides graphs of the grain size distribution and cumulative distribution of the data in both micrometre and phi units, and displays the sample grain size on gravel–sand–mud and sand–silt–clay triangular diagrams. Samples can be analysed individually, or up to 250 samples may be analysed together with all statistics being tabulated. An example printout from the program is shown in Figure 2.

TECHNICAL POINTS

To calculate reliably the grain size statistics of a sample, the entire size distribution must be defined. At the coarse end, there is a requirement to enter at least one size class larger than the largest particles in the sample. At the fine end there is a complication with sediment remaining in the pan after sieving analysis. The larger the quantity of sediment remaining in the pan, the less accurate the calculation of grain size statistics, with statistics calculated by the method of moments being most susceptible. Errors in Folk and Ward parameters become significant only when the size distribution of more than 5 per cent of the sample is undetermined. If a sample contains up to 1 per cent of sediment in the pan the user can either calculate the statistics ignoring the pan fraction, or specify a size which is considered to be representative of the finest particles in the pan, such as 1 m (10 ϕ). For samples containing between 1 and 5 per cent of sediment in the pan, it is recommended that the pan fraction be ignored and size statistics reported for the sand and gravel fractions only. Samples containing more than 5 per cent of sediment in the pan should ideally be further analysed using a different technique, such as sedimentation or laser granulometry, although as noted previously, there are difficulties in merging data obtained by different methods.

METHOD COMPARISON

Previous studies have compared the statistics derived by moments and graphical methods (e.g. Folk, 1966; Koldijk, 1968; Davis and Ehrlich, 1970; Jaquet and Vernet, 1976; Swan *et al.*, 1978). The ability of GRADISTAT to analyse rapidly large numbers of samples has allowed the direct comparison of grain size statistics for over 800 samples, comprising marine gravels, sands and muds, desert and coastal dune sands, soils and

SAMPLE STATISTICS						
SAMPLE IDENTITY: Mablethorpe L2D1			ANALYST & DATE: S. Blott, 19/10/2000			
SAMPLE TYPE: Unimodal, Well Sorted			TEXTURAL GROUP: Sand			
SEDIMENT NAME: Well Sorted Fine Sand						
	m	ϕ	GRAIN SIZE DISTRIBUTION			
MODE 1:	185.5	2.432	GRAVEL: 0.0%		COARSE SAND: 0.0%	
MODE 2:			SAND: 98.4%		MEDIUM SAND: 11.0%	
MODE 3:			MUD: 1.6%		FINE SAND: 79.7%	
D ₁₀ :	126.8	1.984	V COARSE GRAVEL: 0.0%		V FINE SAND: 7.7%	
MEDIAN or D ₅₀ :	184.1	2.441	COARSE GRAVEL: 0.0%		V COARSE SILT: 0.5%	
D ₉₀ :	252.9	2.979	MEDIUM GRAVEL: 0.0%		COARSE SILT: 0.2%	
(D ₉₀ / D ₁₀):	1.994	1.502	FINE GRAVEL: 0.0%		MEDIUM SILT: 0.1%	
(D ₉₀ - D ₁₀):	126.1	0.996	V FINE GRAVEL: 0.0%		FINE SILT: 0.2%	
(D ₇₅ / D ₂₅):	1.437	1.239	V COARSE SAND: 0.0%		V FINE SILT: 0.3%	
(D ₇₅ - D ₂₅):	66.79	0.523			CLAY: 0.2%	
	METHOD OF MOMENTS			FOLK & WARD METHOD		
	Arithmetic m	Geometric m	Logarithmic ϕ	Geometric m	Logarithmic ϕ	Description
MEAN (\bar{x}):	186.2	174.8	2.518	182.5	2.455	Fine Sand
SORTING (σ):	51.64	1.591	0.670	1.311	0.390	Well Sorted
SKEWNESS (Sk):	-0.179	-5.522	5.522	-0.091	0.090	Symmetrical
KURTOSIS (K):	3.852	48.69	48.69	1.025	1.024	Mesokurtic

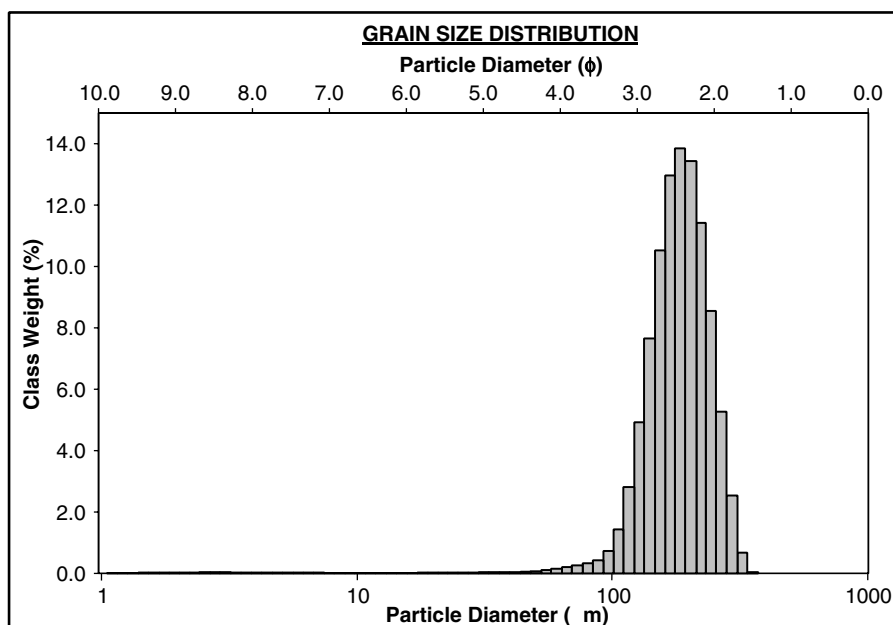


Figure 2. Example GRADISTAT printout, with logarithmic frequency plot, for a coastal dune sand (Lincolnshire, UK)

glacial tills. The relationships between graphical and moment parameters are illustrated in Figures 3 and 4 for geometric and logarithmic statistics. While arithmetic statistics have been included in the GRADISTAT program for reasons of completeness, it is recommended that the more representative geometric or logarithmic statistics be used to characterize sediments as general practice.

It is clear that relationships between the methods are similar for geometric and logarithmic statistics. Geometric mean and sorting values for either method are related to their logarithmic counterparts by simple logarithmic relationships. Geometric and logarithmic skewness parameters are inversely related since metric and phi scales operate in opposite directions, while geometric and logarithmic kurtosis values are identical.

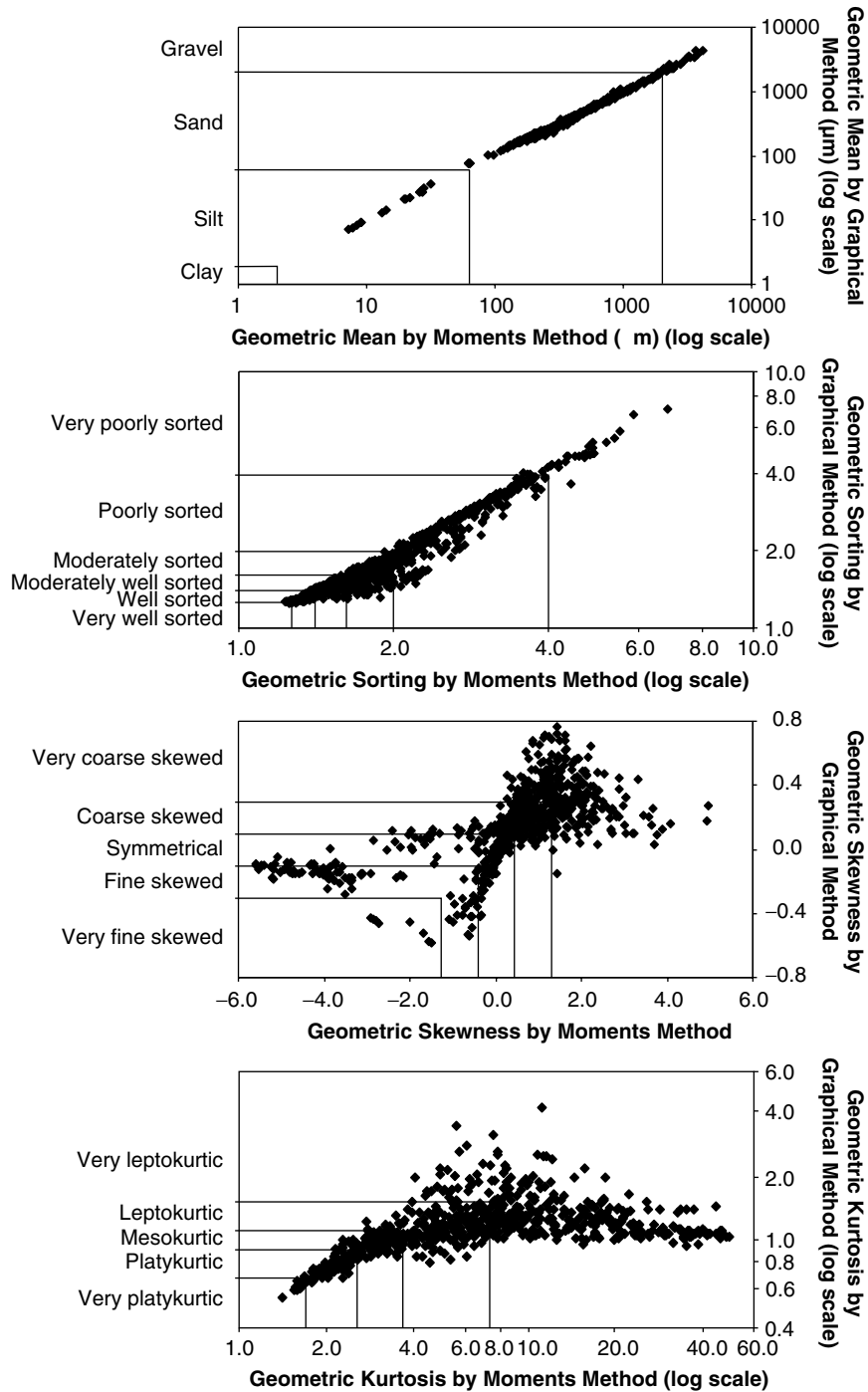


Figure 3. Comparison of statistical parameters calculated using the geometric method of moments and Folk and Ward (1957) graphical method. Analysed samples are marine gravels, sands and muds, desert and coastal dune sands, soils and glacial tills

The relationships between graphical and moment parameters can be explained by differences in the emphasis each method places on different parts of the grain size distribution. The graphical method places more weight on the central portion of the grain size curve and less on the tails. The upper and lower limits of calculations

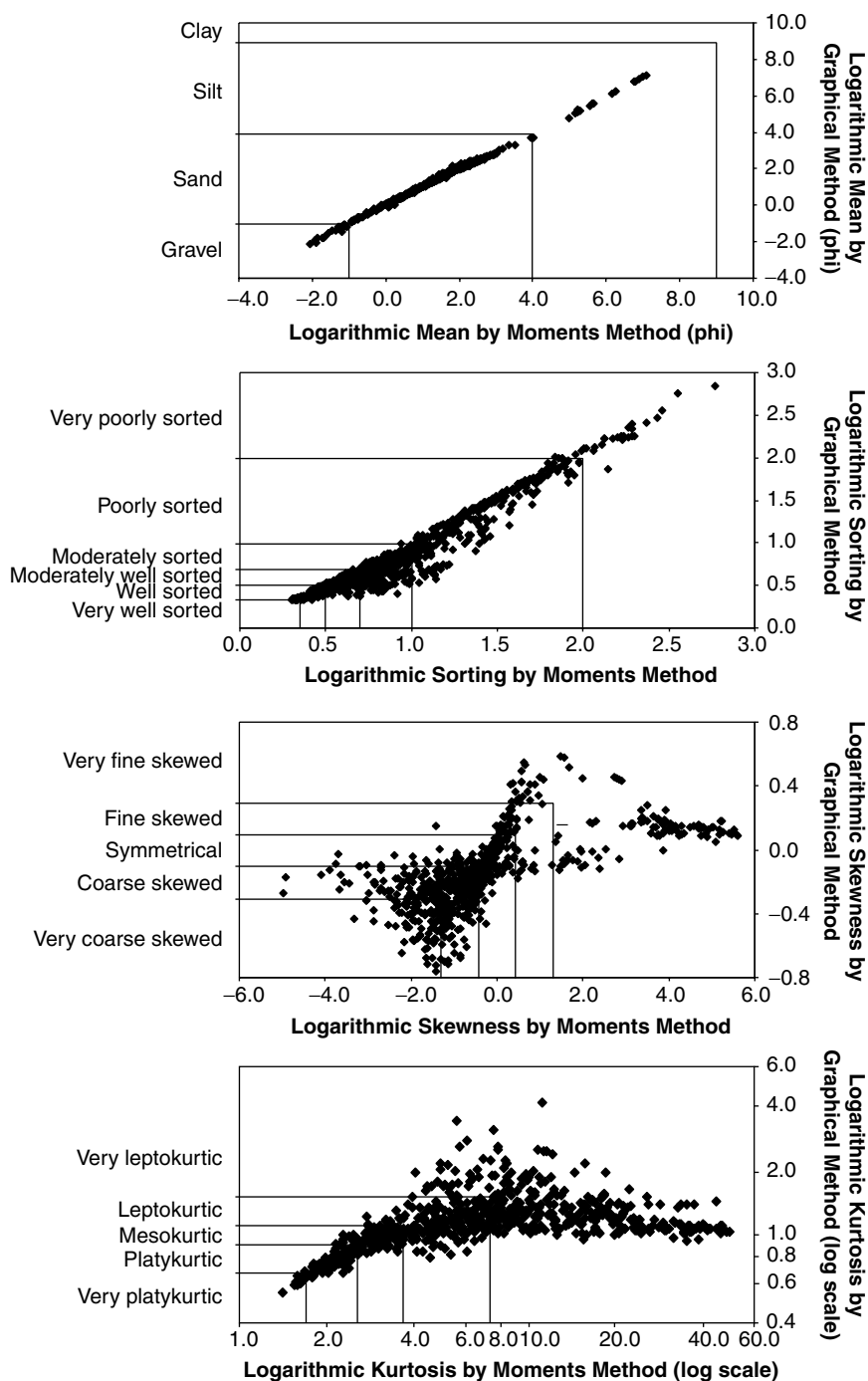


Figure 4. Comparison of statistical parameters calculated using the logarithmic method of moments and Folk and Ward (1957) graphical method. Analysed samples are marine gravels, sands and muds, desert and coastal dune sands, soils and glacial tills

are at 95 and 5 per cent of the distribution respectively, and sediment outside these limits is ignored. The first order moment measure (mean) also places more emphasis on the central portion of the curve, and consequently the graphical mean closely approximates the moment mean (Figures 3 and 4).

With higher order moments, however, parameters become more sensitive to the tails of the distribution. While there is clearly a linear relationship between graphical and moment sorting, there is better agreement for well sorted sediments (low sorting values), since grains are concentrated in the central portion of the grain size distribution. For less well sorted sediments, the graphical method generally produces better sorting values since sediment in the tails of the distribution is ignored. The difference is greatest for samples that are well sorted except for a fine or coarse tail representing less than 5 per cent of the sample weight (such as the dune sand shown in Figure 2). Alternatively, graphical sorting can exceed moment sorting if the central portion of the distribution is the least sorted, such as for multimodal sediments (Swan *et al.*, 1978).

With the highest order moments of skewness and kurtosis, the differences between the methods become much greater. While skewness values are comparable for log-normally distributed sediments (skewness value of zero), kurtosis parameters are inherently different, since a log-normal distribution takes a value of 1.0 for the graphical method and 3.0 for the method of moments. The convention used by some authors (e.g. Krumbein and Pettijohn, 1938) to subtract 3.0 from the moments value to standardize the measure around zero is not followed here. Values higher than 1.0 (or 3.0) indicate a leptokurtic (strongly peaked) distribution, smaller values a platykurtic (relatively flat) distribution. For sediments that are far from log-normal, the higher order moments of sorting, skewness and kurtosis interact in complicated ways (Swan *et al.*, 1978). The result is that as skewness and kurtosis increase, the percentage of sediment in the tails of the distribution increases, and the relationships between the graphical and moment parameters break down.

One of the advantages of the Folk and Ward method is the opportunity to convert parameter values to descriptive terms for the sediment. The relationships illustrated in Figures 3 and 4, although unclear in some instances, have been used to assign corresponding descriptive terms to geometric and logarithmic moment values, presented in Table II. These terms are intended as a guide only, since it is clear from the previous discussion that higher order parameters can be difficult to interpret. Sorting in particular is known to be a sinusoidal function of mean grain size, with medium and fine sands generally exhibiting better sorting than clays, silts and gravels (Inman, 1949; Folk and Ward, 1957).

OTHER DESCRIPTORS

A variety of alternative parameters can be used to differentiate between different sediments. Engineers commonly quote the median, or D_{50} size value, together with a measure of dispersion, such as D_{90}/D_{10} , $D_{90}-D_{10}$ or $D_{75}-D_{25}$ (the interquartile range). For soils work, where the materials in question are commonly multimodal, it may be most appropriate simply to cite the values for the primary, secondary and tertiary modes, the median, and a measure of distribution spread, such as $D_{90}-D_{10}$. These descriptors are provided by the GRADISTAT software and frequently prove to be more reliable than the standard size statistics, especially when sediments are clearly multimodal.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Although the GRADISTAT program is extremely flexible in terms of input and output, it remains the responsibility of the user to interpret the results in a manner appropriate to the questions being addressed. Care should be taken when interpreting open-ended distributions, or where the sediment is not unimodal. It should also be noted that all methods of particle size analysis are influenced by factors such as grain shape, density, and sometimes optical properties. While some methods specify grain size frequency per unit weight, others specify grain size per unit volume. It is therefore not appropriate to compare directly results obtained using different methods. In some instances, however, it may be possible to apply calibration factors.

Comparison of the Folk and Ward graphical method and the method of moments has indicated that both methods have drawbacks. The graphical method is relatively insensitive to sediments containing a large particle size range in the tails of the distribution. This can be either an advantage or a disadvantage depending on the particular problem under study. The moment method can equally overemphasize the importance of long tails with low frequencies, and in these circumstances the Folk and Ward method is likely to describe more accurately the general characteristics of the bulk of the sample. Previous workers have been divided

about the relative merits of graphical and moment statistics. If only the mean grain size and sorting values are required, the graphical and moments methods produce similar results. If, however, the skewness or kurtosis are to be determined, in our experience the Folk and Ward measures provide the most robust basis for routine comparisons of compositionally variable sediments. Although most sedimentologists have traditionally worked with phi units, in our opinion statistics expressed geometrically (in metric units) are to be preferred to logarithmic statistics (in phi units), since the phi scale is seldom used amongst biologists, archaeologists, soil scientists or engineers, and results are easier to visualize. Any study incorporating grain size analysis must include a clear statement of the measurement technique and the method used in the calculation of any statistics. In many circumstances it will be appropriate to employ more than one method, since comparison of results obtained in different ways may provide additional insight into the processes involved.

ACCESSING THE SOFTWARE

The universal availability of Microsoft Excel should enable use of the GRADISTAT program by many workers, and allow efficient transfer of data and statistics between other applications. The file GRADISTAT.xls is compatible with Microsoft Excel 97 or 2000 (versions 8.0 and 9.0), and can be downloaded from the *Earth Surface Processes and Landforms* software web site (URL: <http://www.interscience.wiley.com/jpages/0197-9337/sites.html>).

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was undertaken while S. J. Blott was in receipt of NERC Studentship GT04/97/250/MS. Additional funding was provided by a CASE Award with the Environment Agency. The authors would like to thank J. Jack and D. Thornley at the Postgraduate Research Institute for Sedimentology at the University of Reading, UK, for their encouragement in the creation of the program, and J. Richards and S. Saye who assisted in testing the program.

REFERENCES

- Bagnold RA, Barndorff-Nielsen OE. 1980. The pattern of natural grain size distributions. *Sedimentology* **27**: 199–207.
- Bui EN, Mazullo J, Wilding LP. 1990. Using quartz grain size and shape analysis to distinguish between aeolian and fluvial deposits in the Dallol Bosso of Niger (West Africa). *Earth Surface Processes and Landforms* **14**: 157–166.
- Davis MW, Ehrlich R. 1970. Relationships between measures of sediment-size-frequency distributions and the nature of sediments. *Geological Society of America Bulletin* **81**: 3537–3548.
- Folk RL. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature. *Journal of Geology* **62**: 344–359.
- Folk RL. 1966. A review of grain-size parameters. *Sedimentology* **6**: 73–93.
- Folk RL, Ward WC. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology* **27**: 3–26.
- Friedman GM. 1979. Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology* **26**: 3–32.
- Friedman GM, Johnson KG. 1982. *Exercises in Sedimentology*. Wiley: New York.
- Friedman GM, Sanders JE. 1978. *Principles of Sedimentology*. Wiley: New York.
- Hartmann D, Christiansen C. 1992. The hyperbolic shape triangle as a tool for discriminating populations of sediment samples of closely connected origin. *Sedimentology* **39**: 697–708.
- Inman DL. 1949. Sorting of sediments in the light of fluid mechanics. *Journal of Sedimentary Petrology* **19**: 51–70.
- Inman DL. 1952. Measures for describing the size distribution of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* **22**: 125–145.
- Isphording WC. 1970. FORTRAN IV program for calculation of measures of central tendency and dispersion on IBM 360 computer. *Journal of Geology* **78**: 626–628.
- Jaquet JM, Vernet JP. 1976. Moment and graphic size parameters in sediments of Lake Geneva (Switzerland). *Journal of Sedimentary Petrology* **46**: 305–312.
- Koldijk WS. 1968. On environment-sensitive grain-size parameters. *Sedimentology* **10**: 57–69.
- Krumbein WC. 1934. Size frequency distributions of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* **4**: 65–77.
- Krumbein WC. 1938. Size frequency distribution of sediments and the normal phi curve. *Journal of Sedimentary Petrology* **8**: 84–90.
- Krumbein WC, Pettijohn FJ. 1938. *Manual of Sedimentary Petrography*. Appleton-Century-Crofts: New York.
- McCammon RB. 1962. Efficiencies of percentile measures for describing the mean size and sorting of sedimentary particles. *Journal of Geology* **70**: 453–465.
- McManus J. 1988. Grain size determination and interpretation. In *Techniques in Sedimentology*, Tucker M (ed.). Blackwell: Oxford; 63–85.

- Middleton GV. 1976. Hydraulic interpretation of sand size distributions. *Journal of Geology* **84**: 405–426.
- Otto GH. 1939. A modified logarithmic probability graph for the interpretation of mechanical analyses of sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* **9**: 62–75.
- Pye K. 1989. GRANNY: a package for processing grain size and shape data. *Terra Nova* **1**: 588–590.
- Pye K. 1994. Properties of sediment particles. In *Sediment Transport and Depositional Processes*, Pye K (ed.). Blackwell: Oxford; 1–24.
- Slatt RM, Press DE. 1976. Computer program for presentation of grain-size data by the graphic method. *Sedimentology* **23**: 121–131.
- Swan D, Clague JJ, Luternauer JL. 1978. Grain size statistics I: evaluation of the Folk and Ward graphic measures. *Journal of Sedimentary Petrology* **48**: 863–878.
- Trask PD. 1932. *Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum*. Gulf Publishing Company: Houston.
- Udden JA. 1914. Mechanical composition of clastic sediments. *Bulletin of the Geological Society of America* **25**: 655–744.
- Utke A. 1997. *SediVision 2.0*. Springer-Verlag: Heidelberg.
- Visher GS. 1969. Grain size distributions and depositional processes. *Journal of Sedimentary Petrology* **39**: 1074–1106.
- Wentworth CK. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* **30**: 377–392.
- Wyrwoll KH, Smith GK. 1985. On using the log-hyperbolic distribution to describe the textural characteristics of eolian sediments. *Journal of Sedimentary Petrology* **55**: 471–478.
- Wyrwoll KH, Smith GK. 1988. On using the log-hyperbolic distribution to describe the textural characteristics of eolian sediments: reply. *Journal of Sedimentary Petrology* **58**: 161–162.

ANNEXE 2 – DESCRIPTION DES CAROTTES DZR_1601, DZR_1602 ET DZR_1603

Sont regroupées dans cette annexe les descriptions sédimentologiques des prélèvements par carottage court, présentées d'amont en aval, suivant la même logique que dans le présent rapport.

Pour mémoire, la figure suivante rappelle leur emplacement respectif.

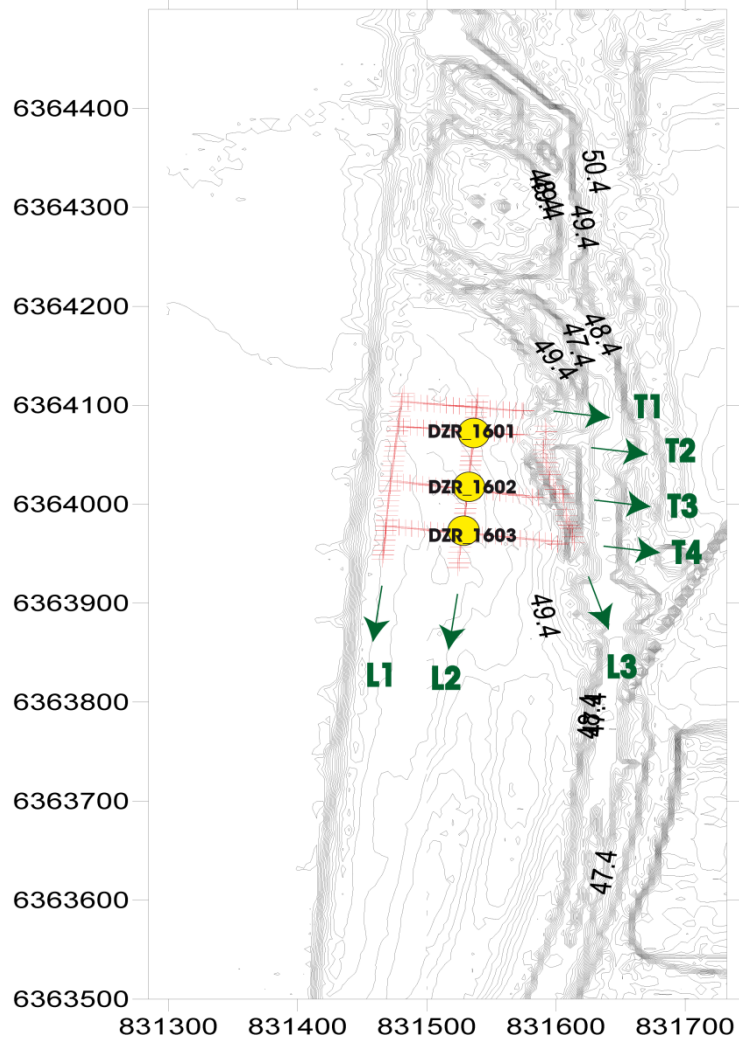
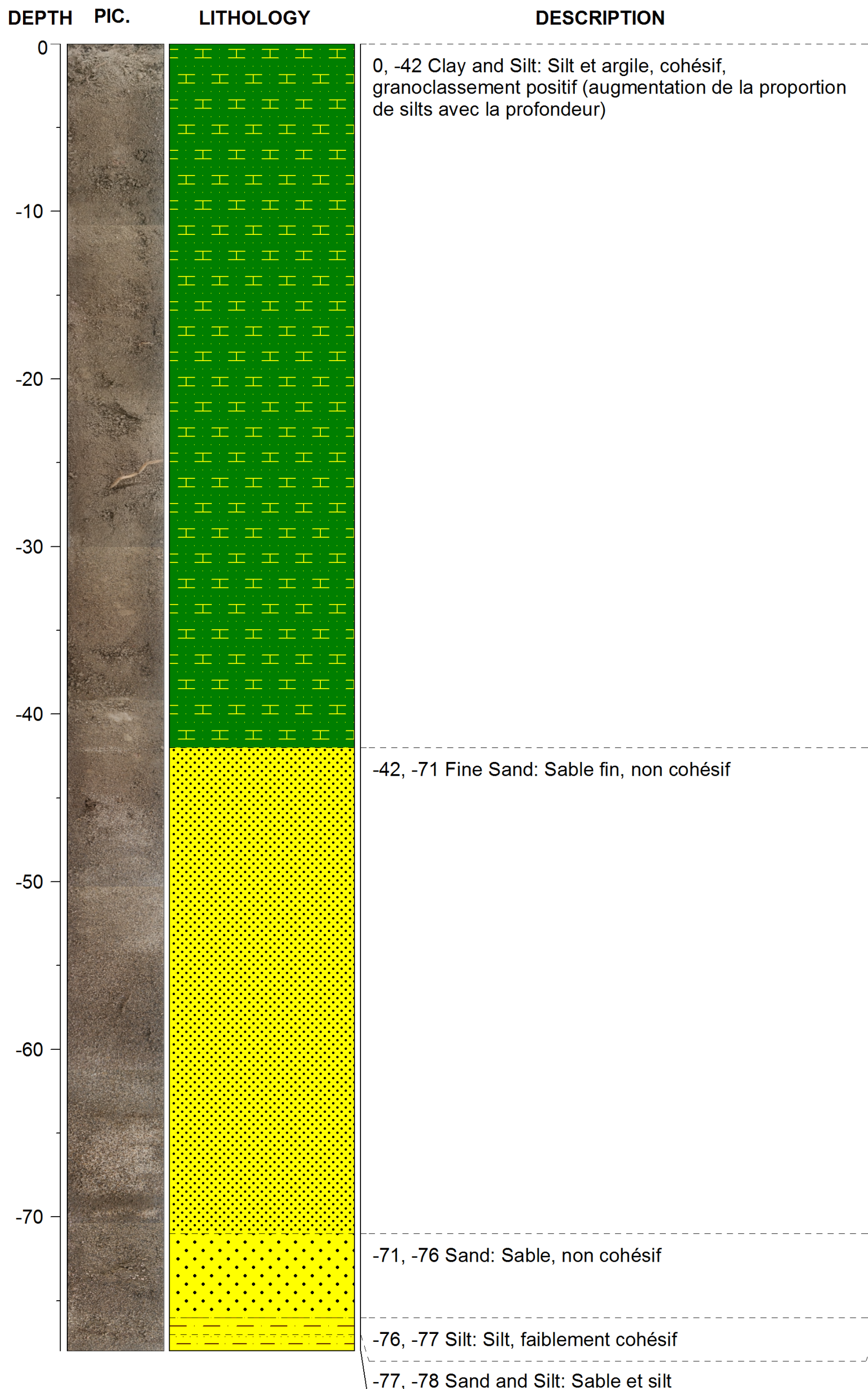
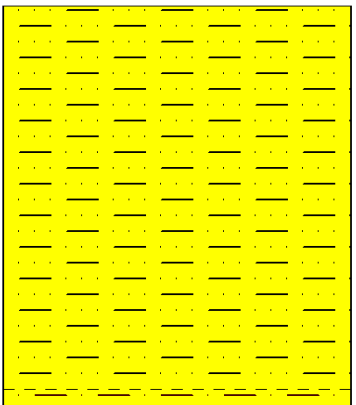
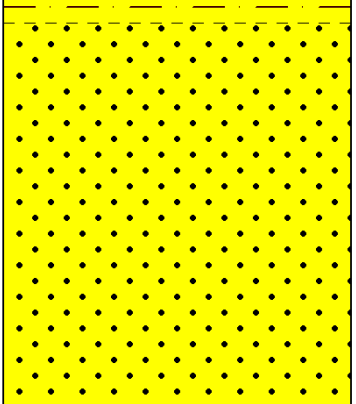
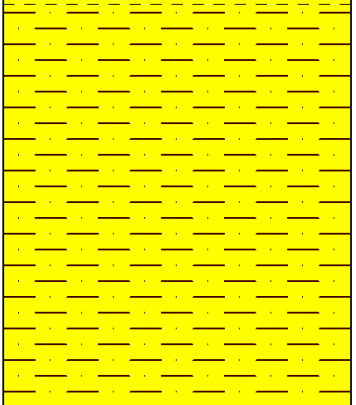
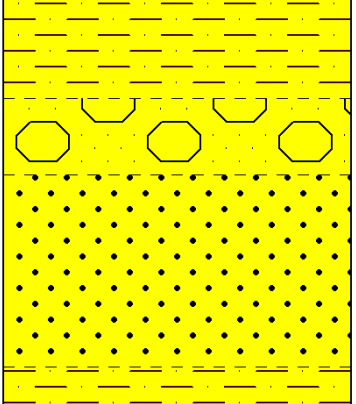
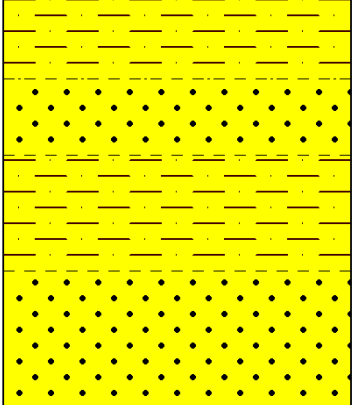
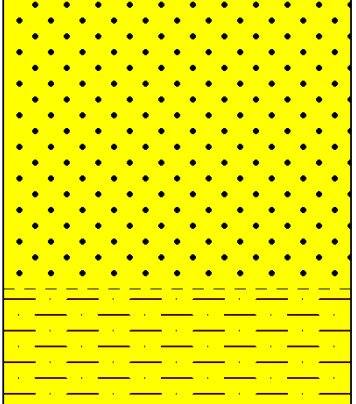





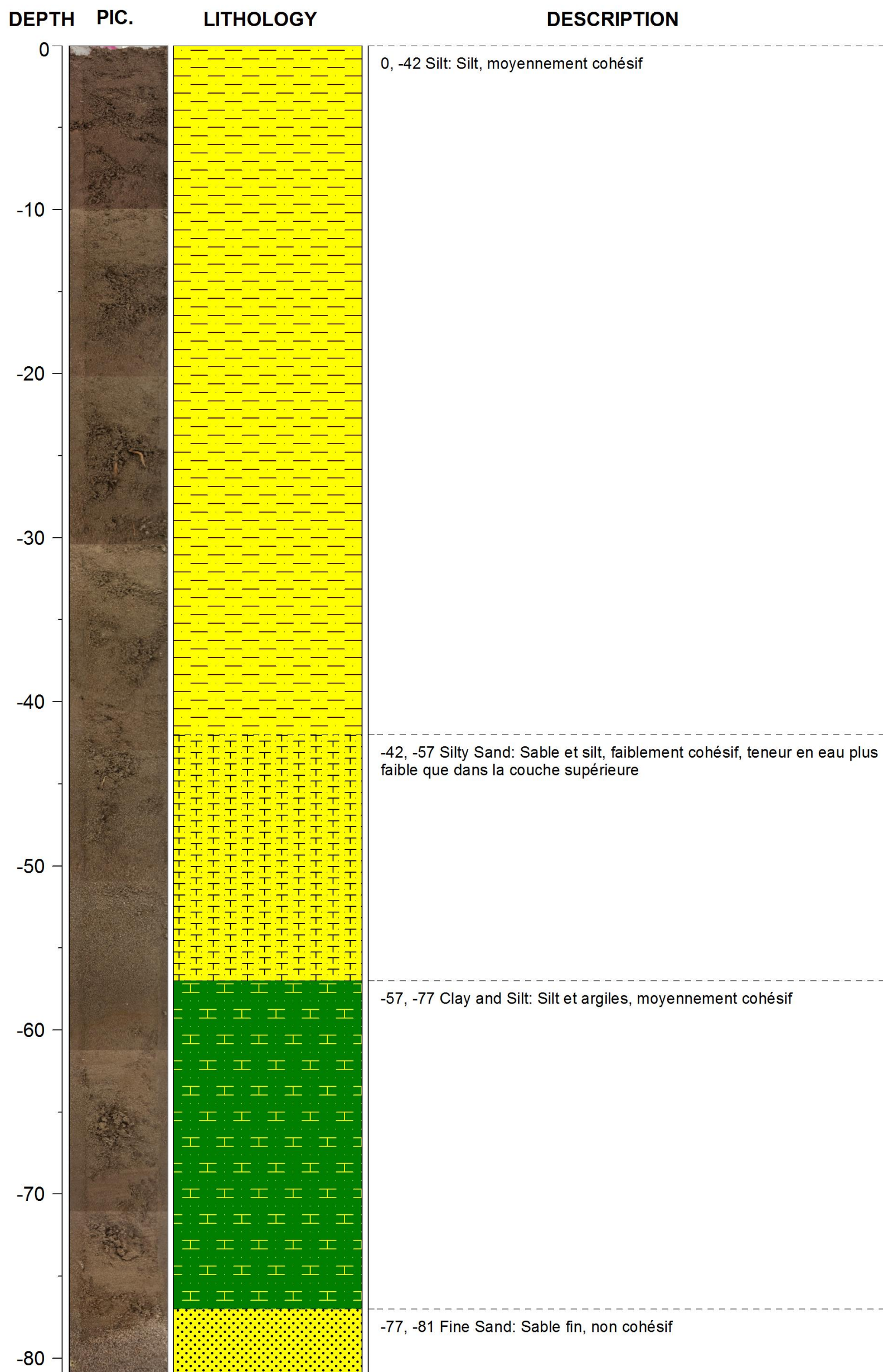


Figure : Localisation et nomenclature des carottages



DEPTH	PIC.	LITHOLOGY	DESCRIPTION
0			0, -10 Sandy Silt: Silts sableux / sables fins, non cohésif
-10			-10, -11 Silt: Silts, cohésif
-11			-11, -21 Sand: Sable moyen, non cohésif, granoclassement positif
-20			-21, -34 Silt: Silts, moyennement cohésif
-30			-34, -36 Sand Pebbles: Poches de sable dans une matrice silteuse
-34			-36, -41 Sand: Sable, non cohésif
-40			-41, -44 Silt: Silts, moyennement cohésif
-44			-44, -46 Sand: Sable, non cohésif
-46			-46, -49 Silt: Silts, moyennement cohésif
-49			-49, -60 Sand: Sable moyen, non cohésif, granoclassement négatif
-60			-60, -64 Silt: Silts, moyennement cohésif



ANNEXE 3 – MESURES GRANULOMÉTRIQUES RÉALISÉES SUR LES CAROTTES DZR_1601, DZR_1602 ET DZR_1603

Sont regroupées dans cette annexe les 112 mesures granulométriques réalisées au total sur les trois archives sédimentaires, avec un pas d'échantillonnage de 2 cm.

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1601_0_1	DZR_1601_2	DZR_1601_4	DZR_1601_6	DZR_1601_8	DZR_1601_10	DZR_1601_12
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Fine Gravelly Very Coarse Silty	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	162.6	179.4	169.3	175.7	181.6	178.9	145.6
SORTING (σ_x):	139.6	142.7	143.9	146.1	157.2	179.6	131.1
SKEWNESS (Sk_x):	1.194	0.861	0.921	1.052	1.102	2.682	1.258
KURTOSIS (K_x):	4.407	3.251	3.301	3.893	4.141	17.61	4.631
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}_g):	91.80	104.3	91.33	100.4	96.88	92.25	77.78
SORTING (σ_x):	3.849	3.811	4.129	3.835	4.213	4.259	4.073
SKEWNESS (Sk_x):	-1.244	-1.368	-1.188	-1.302	-1.209	-1.135	-1.110
KURTOSIS (K_x):	4.287	4.612	3.930	4.470	3.968	3.879	3.788
METHOD OF MOMENTS							
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}_l):	3.445	3.262	3.453	3.316	3.368	3.438	3.684
SORTING (σ_x):	1.945	1.930	2.046	1.939	2.075	2.091	2.026
SKEWNESS (Sk_x):	1.244	1.368	1.188	1.302	1.209	1.135	1.110
KURTOSIS (K_x):	4.287	4.612	3.930	4.470	3.968	3.879	3.788
FOLK AND WARD METHOD							
(μ)							
MEAN (M_w):	99.21	114.7	98.59	109.4	103.7	97.90	82.52
SORTING (σ_x):	3.635	3.524	3.939	3.579	4.010	4.054	3.936
SKEWNESS (Sk_x):	-0.392	-0.429	-0.434	-0.410	-0.449	-0.426	-0.406
KURTOSIS (K_x):	1.222	1.241	1.111	1.212	1.151	1.172	1.109
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_w):	3.333	3.125	3.342	3.192	3.269	3.353	3.599
SORTING (σ_x):	1.862	1.817	1.978	1.840	2.003	2.020	1.977
SKEWNESS (Sk_x):	0.392	0.429	0.434	0.410	0.449	0.426	0.406
KURTOSIS (K_x):	1.222	1.241	1.111	1.212	1.151	1.172	1.109
FOLK AND WARD METHOD							
(Description)							
MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic
MODE 1 (μ):	195.5	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4	170.2
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2.359	2.159	2.159	2.159	2.159	2.159	2.558
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	12.21	14.07	10.58	13.78	10.59	9.915	9.357
D ₅₀ (μ):	130.2	152.3	138.7	144.7	149.1	138.4	114.5
D ₉₀ (μ):	356.6	384.0	377.4	381.5	399.8	389.3	327.4
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	29.21	27.28	35.66	27.69	37.76	39.26	34.99
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	344.4	369.9	366.9	367.7	389.2	379.3	318.0
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	4.460	4.277	5.500	4.460	5.329	5.282	5.461
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	182.3	202.9	209.2	199.2	218.2	205.5	173.5
D ₁₀ (ϕ):	1.488	1.381	1.406	1.390	1.323	1.361	1.611
D ₅₀ (ϕ):	2.941	2.715	2.850	2.789	2.746	2.853	3.126
D ₉₀ (ϕ):	6.356	6.151	6.562	6.182	6.562	6.656	6.740
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	4.273	4.454	4.668	4.446	4.961	4.890	4.184
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	4.868	4.770	5.156	4.791	5.239	5.295	5.129
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2.033	2.094	2.250	2.100	2.273	2.213	2.096
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	2.157	2.097	2.459	2.157	2.414	2.401	2.449
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	71.8%	74.8%	70.2%	73.6%	71.8%	70.9%	67.1%
% MUD:	28.2%	25.2%	29.8%	26.4%	28.2%	29.1%	32.9%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%
% COARSE SAND:	3.0%	3.2%	3.1%	3.6%	4.6%	4.2%	2.1%
% MEDIUM SAND:	19.5%	24.5%	22.5%	22.5%	23.6%	20.9%	16.6%
% FINE SAND:	29.1%	29.7%	27.5%	29.3%	27.9%	28.0%	28.0%
% V FINE SAND:	20.2%	17.4%	16.8%	18.1%	15.8%	17.3%	20.3%
% V COARSE SILT:	10.0%	8.9%	9.9%	9.4%	8.9%	9.3%	10.8%
% COARSE SILT:	6.3%	5.6%	6.8%	6.1%	6.4%	6.4%	7.7%
% MEDIUM SILT:	4.7%	4.2%	5.0%	4.3%	4.9%	5.0%	5.8%
% FINE SILT:	3.3%	2.9%	3.6%	3.0%	3.6%	3.7%	3.9%
% V FINE SILT:	2.1%	1.9%	2.3%	1.9%	2.4%	2.5%	2.5%
% CLAY:	1.8%	1.7%	2.1%	1.7%	2.1%	2.2%	2.3%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1601_14	DZR_1601_16	DZR_1601_18	DZR_1601_20	DZR_1601_22	DZR_1601_24	DZR_1601_26
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	159.0	157.7	152.8	147.4	157.0	176.8	173.7
SORTING (σ_x):	136.2	133.1	144.4	134.9	148.5	147.1	145.6
SKEWNESS (Sk_x):	1,156	1,180	1,234	1,142	1,265	1,041	1,077
KURTOSIS (K_x):	4,257	4,466	4,374	3,903	4,589	3,841	4,000
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}):	89.21	90.82	74.21	76.45	76.44	100.7	98.59
SORTING (σ_x):	3,888	3,753	4,581	4,189	4,575	3,856	3,861
SKEWNESS (Sk_x):	-1,234	-1,266	-1,011	-1,052	-1,022	-1,298	-1,280
KURTOSIS (K_x):	4,217	4,400	3,366	3,637	3,406	4,445	4,385
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}):	3,487	3,461	3,752	3,709	3,710	3,312	3,342
SORTING (σ_x):	1,959	1,908	2,196	2,067	2,194	1,947	1,949
SKEWNESS (Sk_x):	1,234	1,266	1,011	1,052	1,022	1,298	1,280
KURTOSIS (K_x):	4,217	4,400	3,366	3,637	3,406	4,445	4,385
FOLK AND WARD METHOD							
(μ)							
MEAN (M_w):	95.99	98.06	78.20	82.12	80.63	109.4	106.9
SORTING (σ_x):	3,685	3,522	4,515	4,065	4,496	3,605	3,614
SKEWNESS (Sk_x):	-0.404	-0.401	-0.421	-0.379	-0.422	-0.413	-0.414
KURTOSIS (K_x):	1,199	1,203	1,029	1,055	1,037	1,207	1,191
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_w):	3,381	3,350	3,677	3,606	3,633	3,192	3,225
SORTING (σ_x):	1,881	1,816	2,175	2,023	2,169	1,850	1,853
SKEWNESS (Sk_x):	0.404	0.401	0.421	0.379	0.422	0.413	0.414
KURTOSIS (K_x):	1,199	1,203	1,029	1,055	1,037	1,207	1,191
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (μ):	195.5	195.5	195.5	195.5	224.4	224.4	224.4
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2,359	2,359	2,359	2,359	2,159	2,159	2,159
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	11.68	13.00	7,119	9,048	7,369	13.66	13.35
D ₅₀ (μ):	128.4	129.1	115.6	111.1	119.0	145.7	143.1
D ₉₀ (μ):	349.5	341.5	356.2	343.3	364.1	384.7	377.3
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	29.94	26.27	50.04	37.94	49.41	28.17	28.26
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	337.9	328.5	349.1	334.2	356.8	371.1	364.0
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	4,614	4,390	7,162	6,144	7,035	4,499	4,592
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	180.7	175.7	196.9	185.0	201.8	201.1	198.5
D ₁₀ (ϕ):	1,517	1,550	1,489	1,543	1,458	1,378	1,406
D ₅₀ (ϕ):	2,961	2,953	3,113	3,170	3,071	2,779	2,805
D ₉₀ (ϕ):	6,420	6,265	7,134	6,788	7,084	6,194	6,227
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	4,234	4,042	4,791	4,401	4,861	4,495	4,428
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	4,904	4,715	5,645	5,246	5,627	4,816	4,821
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2,042	1,999	2,335	2,202	2,348	2,112	2,111
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	2,206	2,134	2,840	2,619	2,815	2,169	2,199
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	71.1%	71.6%	65.1%	65.2%	65.6%	73.6%	72.9%
% MUD:	28.9%	28.4%	34.9%	34.8%	34.4%	26.4%	27.1%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	2.6%	2.4%	3.1%	2.2%	3.4%	3.8%	3.5%
% MEDIUM SAND:	19.1%	18.6%	18.6%	18.2%	19.3%	22.7%	22.1%
% FINE SAND:	29.4%	30.3%	25.8%	25.8%	25.7%	29.3%	29.4%
% V FINE SAND:	20.0%	20.3%	17.6%	19.0%	17.2%	17.8%	17.9%
% V COARSE SILT:	10.0%	10.2%	10.2%	11.8%	10.2%	9.3%	9.6%
% COARSE SILT:	6.6%	6.7%	7.7%	8.2%	7.5%	6.2%	6.4%
% MEDIUM SILT:	4.9%	4.7%	6.3%	5.9%	6.2%	4.4%	4.5%
% FINE SILT:	3.3%	3.1%	4.6%	4.0%	4.5%	3.0%	3.0%
% V FINE SILT:	2.1%	1.9%	3.2%	2.6%	3.1%	1.9%	1.9%
% CLAY:	1.9%	1.8%	2.9%	2.4%	2.8%	1.7%	1.8%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1601_28	DZR_1601_30	DZR_1601_32	DZR_1601_34	DZR_1601_36	DZR_1601_38	DZR_1601_40
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	167.8	170.1	165.2	162.8	177.4	179.5	173.5
SORTING (σ_x):	136.9	141.6	154.1	157.3	157.6	153.7	158.3
SKEWNESS (Sk_x):	0.910	1.075	1.102	0.951	1.019	0.947	0.988
KURTOSIS (K_x):	3.366	4.018	3.825	3.475	3.632	3.455	3.481
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}_g):	96.26	97.53	79.63	96.15	91.08	95.96	82.75
SORTING (σ_x):	3.815	3.812	4.650	4.277	4.343	4.161	4.777
SKEWNESS (Sk_x):	-1.283	-1.297	-1.016	-1.173	-1.105	-1.166	-1.032
KURTOSIS (K_x):	4.370	4.464	3.371	3.858	3.686	3.877	3.327
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}_l):	3.377	3.358	3.651	3.379	3.457	3.381	3.595
SORTING (σ_x):	1.932	1.931	2.217	2.096	2.119	2.057	2.256
SKEWNESS (Sk_x):	1.283	1.297	1.016	1.173	1.105	1.166	1.032
KURTOSIS (K_x):	4.370	4.464	3.371	3.858	3.686	3.877	3.327
FOLK AND WARD METHOD							
(μ)							
MEAN (M_w):	104.6	106.0	84.65	103.5	98.29	103.4	88.26
SORTING (σ_x):	3.575	3.560	4.553	4.070	4.159	3.958	4.662
SKEWNESS (Sk_x):	-0.420	-0.411	-0.426	-0.455	-0.436	-0.444	-0.465
KURTOSIS (K_x):	1.159	1.203	1.068	1.068	1.031	1.063	0.986
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_w):	3.257	3.238	3.562	3.273	3.347	3.274	3.502
SORTING (σ_x):	1.838	1.832	2.187	2.025	2.056	1.985	2.221
SKEWNESS (Sk_x):	0.420	0.411	0.426	0.455	0.436	0.444	0.465
KURTOSIS (K_x):	1.159	1.203	1.068	1.068	1.031	1.063	0.986
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic
MODE 1 (μ):	224.4	195.5	257.7	257.7	257.7	257.7	257.7
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2.159	2.359	1.960	1.960	1.960	1.960	1.960
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	13.35	13.61	7.601	10.66	10.07	11.34	7.426
D ₅₀ (μ):	140.5	140.6	125.5	151.4	142.3	148.3	138.2
D ₉₀ (μ):	362.7	367.2	386.4	405.7	401.5	398.2	400.1
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	27.17	26.99	50.83	38.04	39.88	35.13	53.88
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	349.3	353.6	378.8	395.1	391.4	386.9	392.7
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	4.670	4.461	7.528	6.028	6.547	5.873	8.015
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	195.7	192.4	219.8	230.6	228.5	225.1	235.2
D ₁₀ (ϕ):	1.463	1.445	1.372	1.301	1.317	1.328	1.321
D ₅₀ (ϕ):	2.831	2.830	2.984	2.723	2.813	2.753	2.856
D ₉₀ (ϕ):	6.227	6.200	7.040	6.551	6.634	6.463	7.073
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	4.256	4.289	5.131	5.034	5.039	4.865	5.352
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	4.764	4.754	5.668	5.250	5.318	5.135	5.752
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2.109	2.073	2.470	2.397	2.434	2.357	2.584
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	2.224	2.157	2.912	2.592	2.711	2.554	3.003
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	72.3%	73.0%	65.7%	70.4%	68.6%	70.4%	66.4%
% MUD:	27.7%	27.0%	34.3%	29.6%	31.4%	29.6%	33.6%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	2.4%	3.1%	4.0%	4.6%	4.5%	4.2%	4.4%
% MEDIUM SAND:	22.4%	21.5%	21.6%	24.9%	23.7%	24.5%	23.7%
% FINE SAND:	29.4%	29.8%	24.6%	26.5%	25.6%	26.7%	24.6%
% V FINE SAND:	18.0%	18.5%	15.6%	14.5%	14.7%	15.0%	13.7%
% V COARSE SILT:	9.9%	9.7%	10.3%	9.4%	10.2%	9.8%	9.5%
% COARSE SILT:	6.6%	6.3%	7.7%	7.1%	7.6%	7.2%	7.6%
% MEDIUM SILT:	4.6%	4.4%	6.2%	5.2%	5.5%	5.2%	6.1%
% FINE SILT:	3.0%	2.9%	4.4%	3.5%	3.6%	3.4%	4.4%
% V FINE SILT:	1.9%	1.9%	3.0%	2.3%	2.3%	2.1%	3.1%
% CLAY:	1.7%	1.8%	2.8%	2.1%	2.2%	2.0%	2.9%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1601_42	DZR_1601_44	DZR_1601_46	DZR_1601_48	DZR_1601_50	DZR_1601_52	DZR_1601_54
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Sand	Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Poorly Sorted Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand
METHOD OF MOMENTS	MEAN (\bar{x}_n):	162.4	222.6	236.7	212.6	191.2	215.5
Arithmetic (μ)	SORTING (σ_x):	147.5	161.0	141.8	136.3	117.6	122.4
	SKEWNESS (Sk_n):	0.947	0.946	0.738	0.905	0.858	0.758
	KURTOSIS (K_n):	3.245	3.720	3.509	3.837	3.753	3.582
	MEAN (\bar{x}_n):	78.76	148.9	178.6	157.5	145.3	169.5
METHOD OF MOMENTS	SORTING (σ_x):	4.650	3.093	2.587	2.616	2.501	2.373
Geometric (μ)	SKEWNESS (Sk_n):	-1.027	-1.675	-2.190	-1.987	-2.063	-2.334
	KURTOSIS (K_n):	3.351	6.587	9.797	8.983	9.589	11.40
	MEAN (\bar{x}_n):	3.666	2.747	2.485	2.667	2.783	2.561
METHOD OF MOMENTS	SORTING (σ_x):	2.217	1.629	1.371	1.387	1.323	1.247
Logarithmic (ϕ)	SKEWNESS (Sk_n):	1.027	1.675	2.190	1.987	2.063	2.334
	KURTOSIS (K_n):	3.351	6.587	9.797	8.983	9.589	11.40
	MEAN (M_n):	83.77	167.0	201.9	175.1	161.3	188.3
FOLK AND WARD METHOD	SORTING (σ_x):	4.554	2.715	2.160	2.231	2.130	1.993
(μ)	SKEWNESS (Sk_n):	-0.439	-0.334	-0.289	-0.268	-0.253	-0.234
	KURTOSIS (K_n):	0.992	1.323	1.431	1.299	1.307	1.344
	MEAN (M_n):	3.577	2.582	2.309	2.514	2.633	2.409
FOLK AND WARD METHOD	SORTING (σ_x):	2.187	1.441	1.111	1.158	1.091	0.995
(ϕ)	SKEWNESS (Sk_n):	0.439	0.334	0.289	0.268	0.253	0.234
	KURTOSIS (K_n):	0.992	1.323	1.431	1.299	1.307	1.344
FOLK AND WARD METHOD (Description)	MEAN:	Very Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand
	SORTING:	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Moderately Sorted
	SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed
	KURTOSIS:	Mesokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic
	MODE 1 (μ):	257.7	257.7	257.7	224.4	195.5	224.4
	MODE 2 (μ):						
	MODE 3 (μ):						
	MODE 1 (ϕ):	1.960	1.960	1.960	2.159	2.359	2.159
	MODE 2 (ϕ):						
	MODE 3 (ϕ):						
	D ₁₀ (μ):	7.425	35.38	65.16	54.54	54.80	75.33
	D ₅₀ (μ):	126.0	192.0	216.3	189.1	171.7	196.5
	D ₉₀ (μ):	378.3	448.5	430.2	399.7	352.2	383.4
	(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	50.95	12.68	6.603	7.328	6.427	5.090
	(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	370.9	413.1	365.1	345.1	297.4	308.1
	(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	7.672	3.090	2.314	2.529	2.397	2.202
	(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	220.3	210.8	179.9	173.8	149.4	155.2
	D ₁₀ (ϕ):	1.402	1.157	1.217	1.323	1.505	1.383
	D ₅₀ (ϕ):	2.988	2.381	2.209	2.403	2.542	2.347
	D ₉₀ (ϕ):	7.073	4.821	3.940	4.197	4.190	3.731
	(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	5.044	4.167	3.238	3.172	2.783	2.697
	(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	5.671	3.664	2.723	2.873	2.684	2.348
	(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2.484	1.968	1.730	1.744	1.642	1.627
	(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	2.940	1.628	1.210	1.339	1.261	1.128
	% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% SAND:	65.6%	84.3%	90.3%	88.5%	88.4%	91.9%
	% MUD:	34.4%	15.7%	9.7%	11.5%	11.6%	8.1%
	% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	% COARSE SAND:	3.1%	6.8%	5.3%	4.0%	1.8%	2.8%
	% MEDIUM SAND:	22.4%	29.5%	35.0%	29.1%	24.6%	30.2%
	% FINE SAND:	24.7%	32.1%	37.9%	38.3%	41.6%	43.7%
	% V FINE SAND:	15.4%	15.9%	12.1%	17.2%	20.4%	15.4%
	% V COARSE SILT:	10.1%	6.6%	4.0%	5.4%	5.6%	3.2%
	% COARSE SILT:	7.7%	3.7%	2.4%	2.7%	2.7%	2.1%
	% MEDIUM SILT:	6.2%	2.3%	1.3%	1.4%	1.3%	1.1%
	% FINE SILT:	4.5%	1.4%	0.9%	0.8%	0.8%	0.8%
	% V FINE SILT:	3.0%	0.9%	0.5%	0.6%	0.5%	0.5%
	% CLAY:	2.8%	0.9%	0.6%	0.6%	0.6%	0.5%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1601_56	DZR_1601_58	DZR_1601_60	DZR_1601_62	DZR_1601_64	DZR_1601_66	DZR_1601_68
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted Sand	Unimodal, Poorly Sorted Sand	Unimodal, Moderately Sorted Sand	Unimodal, Moderately Sorted Sand	Unimodal, Moderately Well Sorted Sand	Unimodal, Poorly Sorted Sand	Unimodal, Moderately Sorted Sand
TEXTURAL GROUP:							
SEDIMENT NAME:	Poorly Sorted Fine Sand	Poorly Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Medium Sand	Moderately Well Sorted Medium Sand	Poorly Sorted Medium Sand	Moderately Sorted Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	203.8	206.2	202.9	300.1	361.4	292.1	237.9
SORTING (σ_x):	118.2	119.9	108.9	153.2	160.9	171.3	137.9
SKEWNESS (Sk_x):	0.849	0.895	0.581	0.805	0.704	0.616	0.995
KURTOSIS (K_x):	3.839	4.051	3.147	3.639	3.325	3.209	4.231
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}_g):	159.8	161.8	162.3	255.3	322.6	220.1	190.1
SORTING (σ_x):	2,373	2,372	2,316	1,906	1,663	2,632	2,257
SKEWNESS (Sk_x):	-2.267	-2.283	-2.485	-1.760	-1.135	-2.290	-2.283
KURTOSIS (K_x):	11.05	11.19	12.29	9.435	6.372	10.26	12.11
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}_l):	2.645	2.628	2.623	1.970	1.632	2.184	2.395
SORTING (σ_x):	1.246	1.246	1.212	0.930	0.733	1.396	1.174
SKEWNESS (Sk_x):	2.267	2.283	2.485	1.760	1.135	2.290	2.283
KURTOSIS (K_x):	11.05	11.19	12.29	9.435	6.372	10.26	12.11
FOLK AND WARD METHOD							
(μ)							
MEAN (M_w):	176.9	179.1	180.4	268.9	331.7	250.4	206.6
SORTING (σ_x):	2,005	2,001	1,933	1,711	1,581	2,160	1,893
SKEWNESS (Sk_x):	-0.226	-0.223	-0.241	-0.094	-0.049	-0.310	-0.145
KURTOSIS (K_x):	1.349	1.356	1.342	1.043	0.979	1.439	1.187
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_w):	2.499	2.481	2.471	1.895	1.592	1.998	2.275
SORTING (σ_x):	1.003	1.001	0.951	0.775	0.661	1.111	0.920
SKEWNESS (Sk_x):	0.226	0.223	0.241	0.094	0.049	0.310	0.145
KURTOSIS (K_x):	1.349	1.356	1.342	1.043	0.979	1.439	1.187
FOLK AND WARD METHOD							
(Description)							
MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Medium Sand	Medium Sand	Medium Sand	Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Moderately Sorted	Moderately Sorted	Moderately Well Sorted	Poorly Sorted	Moderately Sorted
SKEWNESS:	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Symmetrical	Symmetrical	Very Fine Skewed	Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (μ):	195.5	195.5	195.5	295.8	339.7	295.8	224.4
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2.359	2.359	2.359	1.761	1.561	1.761	2.159
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	71.27	72.80	76.71	131.2	181.5	77.54	91.33
D ₅₀ (μ):	184.3	186.2	187.8	273.4	334.4	270.5	211.4
D ₉₀ (μ):	363.3	367.5	354.0	513.0	588.1	527.5	425.4
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	5.097	5.048	4.615	3.911	3.241	6.803	4.658
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	292.0	294.7	277.3	381.8	406.6	450.0	334.1
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	2,211	2,202	2,132	2,040	1,878	2,306	2,195
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	146.8	147.6	142.2	196.9	213.2	223.1	168.4
D ₁₀ (ϕ):	1.461	1.444	1.498	0.963	0.766	0.923	1.233
D ₅₀ (ϕ):	2.440	2.425	2.412	1.871	1.580	1.886	2.242
D ₉₀ (ϕ):	3.811	3.780	3.705	2.930	2.462	3.689	3.453
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	2.608	2.617	2.473	3.043	3.215	3.998	2.800
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	2.350	2.336	2.206	1.968	1.696	2.766	2.220
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	1.603	1.603	1.575	1.750	1.803	1.897	1.670
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	1.145	1.139	1.092	1.029	0.909	1.206	1.134
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	91.5%	91.7%	92.2%	96.9%	98.3%	91.5%	94.2%
% MUD:	8.5%	8.3%	7.8%	3.1%	1.7%	8.5%	5.8%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	2.2%	2.4%	1.0%	11.0%	18.8%	12.3%	5.3%
% MEDIUM SAND:	27.1%	27.5%	28.6%	45.6%	54.1%	42.9%	33.2%
% FINE SAND:	44.1%	44.2%	45.7%	34.5%	24.3%	29.0%	41.9%
% V FINE SAND:	18.0%	17.6%	16.9%	5.7%	1.1%	7.4%	13.8%
% V COARSE SILT:	3.6%	3.4%	3.1%	1.5%	1.4%	3.7%	2.2%
% COARSE SILT:	2.2%	2.2%	2.1%	0.8%	0.3%	1.9%	1.6%
% MEDIUM SILT:	1.1%	1.0%	0.9%	0.5%	0.0%	1.1%	0.7%
% FINE SILT:	0.7%	0.7%	0.7%	0.3%	0.0%	0.8%	0.6%
% V FINE SILT:	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.5%	0.3%
% CLAY:	0.5%	0.5%	0.5%	0.0%	0.0%	0.5%	0.4%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1601_70	DZR_1601_72	DZR_1601_74	DZR_1601_76
ANALYST AND DATE:				
SIEVING ERROR:				
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
TEXTURAL GROUP:	Sand	Muddy Sand	Sand	Sand
SEDIMENT NAME:	Moderately Sorted Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand
METHOD OF MOMENTS				
Arithmetic (μ m)				
MEAN (\bar{x}_n):	202.4	161.9	202.9	207.5
SORTING (σ_x):	104.5	108.0	107.4	112.5
SKEWNESS (Sk_n):	0.697	1.071	0.792	0.732
KURTOSIS (K_n):	3.512	4.458	3.823	3.598
Geometric (μ m)				
MEAN (\bar{x}_g):	166.9	118.2	166.0	167.0
SORTING (σ_g):	2,151	2,660	2,190	2,269
SKEWNESS (Sk_g):	-2.570	-1.845	-2.526	-2.428
KURTOSIS (K_g):	13.80	7.970	13.19	12.12
Logarithmic (ϕ)				
MEAN (\bar{x}_l):	2.583	3.081	2.591	2.582
SORTING (σ_l):	1.105	1.411	1.131	1.182
SKEWNESS (Sk_l):	2.570	1.845	2.526	2.428
KURTOSIS (K_l):	13.80	7.970	13.19	12.12
FOLK AND WARD METHOD				
(μ m)				
MEAN (M_w):	182.1	132.1	181.8	184.5
SORTING (σ_w):	1,786	2,295	1,797	1,906
SKEWNESS (Sk_w):	-0.166	-0.262	-0.156	-0.216
KURTOSIS (K_w):	1,210	1,356	1,210	1,343
FOLK AND WARD METHOD				
(ϕ)				
MEAN (M_w):	2.457	2.921	2.460	2.438
SORTING (σ_w):	0.837	1.199	0.846	0.930
SKEWNESS (Sk_w):	0.166	0.262	0.156	0.216
KURTOSIS (K_w):	1,210	1,356	1,210	1,343
FOLK AND WARD METHOD				
(Description)				
MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand
SORTING:	Moderately Sorted	Poorly Sorted	Moderately Sorted	Moderately Sorted
SKEWNESS:	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (μ m):	195.5	170.2	195.5	195.5
MODE 2 (μ m):				
MODE 3 (μ m):				
MODE 1 (ϕ):	2.359	2.558	2.359	2.359
MODE 2 (ϕ):				
MODE 3 (ϕ):				
D ₁₀ (μ m):	86.60	39.74	86.51	82.15
D ₅₀ (μ m):	186.3	141.6	185.3	190.1
D ₉₀ (μ m):	346.1	307.6	349.3	360.2
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ m):	3.997	7.740	4.038	4.384
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ m):	259.5	267.9	262.8	278.0
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ m):	2.033	2.554	2.051	2.103
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ m):	133.0	132.4	134.3	141.9
D ₁₀ (ϕ):	1.531	1.701	1.517	1.473
D ₅₀ (ϕ):	2.424	2.820	2.432	2.395
D ₉₀ (ϕ):	3.529	4.653	3.531	3.606
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	2.306	2.736	2.327	2.447
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	1.999	2.952	2.014	2.132
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	1.529	1.615	1.536	1.569
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	1.024	1.353	1.036	1.072
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	94.1%	83.8%	94.2%	93.1%
% MUD:	5.9%	16.2%	5.8%	6.9%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	1.1%	1.0%	1.4%	1.7%
% MEDIUM SAND:	27.0%	17.1%	26.7%	28.5%
% FINE SAND:	48.5%	39.0%	48.1%	46.2%
% V FINE SAND:	17.5%	26.7%	17.9%	16.6%
% V COARSE SILT:	2.1%	7.9%	1.6%	2.4%
% COARSE SILT:	1.8%	3.5%	1.8%	2.0%
% MEDIUM SILT:	0.7%	2.0%	0.9%	1.0%
% FINE SILT:	0.6%	1.2%	0.7%	0.7%
% V FINE SILT:	0.3%	0.8%	0.4%	0.4%
% CLAY:	0.4%	0.7%	0.4%	0.4%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1602_0	DZR_1602_2	DZR_1602_4	DZR_1602_6	DZR_1602_8	DZR_1602_10	DZR_1602_12
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Poorly Sorted Medium Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ m)							
MEAN (\bar{x}_n):	238.5	251.1	259.3	263.1	260.8	178.9	298.0
SORTING (σ_n):	154.3	148.7	157.5	158.6	158.6	158.4	156.6
SKEWNESS (Sk_n):	0.573	0.472	0.565	0.561	0.571	0.999	0.420
KURTOSIS (K_n):	3.043	2.931	3.117	3.130	3.112	3.581	3.054
METHOD OF MOMENTS							
Geometric (μ m)							
MEAN (\bar{x}_g):	159.8	181.0	184.5	191.4	186.5	91.11	232.4
SORTING (σ_g):	3,318	2,931	2,998	2,863	2,959	4,415	2,543
SKEWNESS (Sk_g):	-1,973	-2,221	-2,187	-2,223	-2,182	-1,110	-2,651
KURTOSIS (K_g):	7,159	8,815	8,583	8,973	8,677	3,650	12,04
METHOD OF MOMENTS							
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}_l):	2,646	2,466	2,438	2,385	2,423	3,456	2,106
SORTING (σ_l):	1,730	1,552	1,584	1,518	1,565	2,142	1,347
SKEWNESS (Sk_l):	1,973	2,221	2,187	2,223	2,182	1,110	2,651
KURTOSIS (K_l):	7,159	8,815	8,583	8,973	8,677	3,650	12,04
FOLK AND WARD METHOD							
(μ m)							
MEAN (M_n):	186.9	213.7	218.7	224.4	219.2	98.00	269.7
SORTING (σ_n):	2,774	2,382	2,434	2,330	2,410	4,239	2,014
SKEWNESS (Sk_n):	-0,442	-0,384	-0,382	-0,362	-0,377	-0,450	-0,302
KURTOSIS (K_n):	1,705	1,689	1,714	1,665	1,668	1,034	1,622
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_n):	2,420	2,226	2,193	2,156	2,189	3,351	1,890
SORTING (σ_n):	1,472	1,252	1,283	1,220	1,269	2,084	1,010
SKEWNESS (Sk_n):	0,442	0,384	0,382	0,362	0,377	0,450	0,302
KURTOSIS (K_n):	1,705	1,689	1,714	1,665	1,668	1,034	1,622
FOLK AND WARD METHOD							
(Description)							
MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Medium Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Very Leptokurtic	Very Leptokurtic	Very Leptokurtic	Very Leptokurtic	Very Leptokurtic	Mesokurtic	Very Leptokurtic
MODE 1 (μ m):	257.7	257.7	295.8	295.8	295.8	257.7	295.8
MODE 2 (μ m):							
MODE 3 (μ m):							
MODE 1 (ϕ):	1,960	1,960	1,761	1,761	1,761	1,960	1,761
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ m):	32.12	50.62	50.15	57.45	51.62	9.610	109.0
D ₅₀ (μ m):	222.4	236.7	241.9	245.5	243.1	145.1	282.0
D ₉₀ (μ m):	450.2	455.2	473.3	475.6	476.3	403.9	511.7
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ m):	14.02	8.992	9.437	8.280	9.227	42.02	4.695
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ m):	418.1	404.6	423.1	418.2	424.6	394.3	402.8
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ m):	2,612	2,330	2,363	2,304	2,372	6,672	2,044
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ m):	205.2	195.8	203.8	201.7	205.6	231.2	200.8
D ₁₀ (ϕ):	1,151	1,136	1,079	1,072	1,070	1,308	0,966
D ₅₀ (ϕ):	2,169	2,079	2,048	2,026	2,040	2,785	1,826
D ₉₀ (ϕ):	4,960	4,304	4,318	4,122	4,276	6,701	3,198
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	4,309	3,791	4,001	3,845	3,996	5,123	3,309
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	3,809	3,169	3,238	3,050	3,206	5,393	2,231
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	1,872	1,791	1,827	1,809	1,835	2,457	1,766
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	1,385	1,220	1,241	1,204	1,246	2,738	1,031
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	85.6%	88.7%	88.7%	89.5%	88.8%	68.8%	92.6%
% MUD:	14.4%	11.3%	11.3%	10.5%	11.2%	31.2%	7.4%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	6.4%	6.5%	8.1%	8.3%	8.3%	4.8%	11.0%
% MEDIUM SAND:	36.4%	39.8%	39.7%	40.5%	39.8%	24.0%	47.9%
% FINE SAND:	32.7%	33.7%	32.6%	32.7%	32.2%	25.8%	29.5%
% V FINE SAND:	10.0%	8.7%	8.3%	8.0%	8.4%	14.3%	4.2%
% V COARSE SILT:	4.6%	3.9%	3.7%	3.6%	3.9%	9.7%	2.8%
% COARSE SILT:	3.1%	2.5%	2.5%	2.4%	2.5%	7.5%	1.5%
% MEDIUM SILT:	2.5%	1.9%	1.9%	1.8%	1.8%	5.5%	1.2%
% FINE SILT:	1.9%	1.4%	1.5%	1.3%	1.4%	3.7%	0.9%
% V FINE SILT:	1.2%	0.9%	0.9%	0.8%	0.8%	2.5%	0.5%
% CLAY:	1.1%	0.8%	0.8%	0.7%	0.8%	2.3%	0.5%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1602_14	DZR_1602_16	DZR_1602_18	DZR_1602_20	DZR_1602_22	DZR_1602_24	DZR_1602_26
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Sand	Sand	Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	oderately Well Sorted Medium Sand	oderately Well Sorted Medium Sand	oderately Well Sorted Medium Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μm)							
MEAN (\bar{x}_n):	354.3	358.9	340.8	211.1	159.3	175.2	164.4
SORTING (σ_x):	149.4	151.1	156.4	153.8	149.8	151.7	146.7
SKEWNESS (Sk_n):	0.488	0.469	0.567	0.733	1.110	0.814	0.933
KURTOSIS (K_n):	3.429	3.376	3.330	3.251	3.811	2.961	3.255
Geometric (μm)							
MEAN (\bar{x}_g):	310.7	314.8	293.3	130.0	77.32	87.45	82.54
SORTING (σ_g):	1.872	1.872	1.936	3.621	4.532	4.590	4.441
SKEWNESS (Sk_g):	-3.004	-3.003	-2.616	-1.571	-0.965	-1.103	-1.039
KURTOSIS (K_g):	17.20	17.17	14.24	5.346	3.295	3.502	3.424
Logarithmic (φ)							
MEAN (\bar{x}_l):	1.686	1.668	1.769	2.943	3.693	3.515	3.599
SORTING (σ_l):	0.904	0.904	0.953	1.857	2.180	2.198	2.151
SKEWNESS (Sk_l):	3.004	3.003	2.616	1.571	0.965	1.103	1.039
KURTOSIS (K_l):	17.20	17.17	14.24	5.346	3.295	3.502	3.424
FOLK AND WARD METHOD (μm)							
MEAN (M_w):	331.5	335.8	313.8	141.0	82.83	93.12	88.40
SORTING (σ_w):	1.523	1.524	1.601	3.267	4.430	4.440	4.311
SKEWNESS (Sk_w):	-0.064	-0.066	-0.085	-0.486	-0.407	-0.484	-0.441
KURTOSIS (K_w):	0.998	0.993	1.012	1.371	0.963	1.000	0.982
FOLK AND WARD METHOD (φ)							
MEAN (M_w):	1.593	1.574	1.672	2.826	3.594	3.425	3.500
SORTING (σ_w):	0.607	0.608	0.679	1.708	2.147	2.150	2.108
SKEWNESS (Sk_w):	0.064	0.066	0.085	0.486	0.407	0.484	0.441
KURTOSIS (K_w):	0.998	0.993	1.012	1.371	0.963	1.000	0.982
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Medium Sand	Medium Sand	Medium Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted
SKEWNESS:	Symmetrical	Symmetrical	Symmetrical	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic
MODE 1 (μm):	339.7	339.7	339.7	257.7	224.4	257.7	257.7
MODE 2 (μm):							
MODE 3 (μm):							
MODE 1 (φ):	1.561	1.561	1.561	1.960	2.159	1.960	1.960
MODE 2 (φ):							
MODE 3 (φ):							
D ₁₀ (μm):	189.7	191.6	167.9	19.64	8.060	8.311	8.655
D ₅₀ (μm):	334.6	339.1	318.1	193.0	120.1	146.2	131.3
D ₉₀ (μm):	556.1	564.7	555.2	420.9	375.2	395.1	377.5
(D ₉₀ / D ₁₀) (μm):	2.932	2.946	3.307	21.43	46.56	47.55	43.62
(D ₉₀ - D ₁₀) (μm):	366.4	373.0	387.4	401.2	367.2	386.8	368.9
(D ₇₅ / D ₂₅) (μm):	1.771	1.775	1.886	3.486	7.859	7.321	7.320
(D ₇₅ - D ₂₅) (μm):	192.8	196.1	203.5	216.4	213.7	235.2	219.6
D ₁₀ (φ):	0.846	0.825	0.849	1.249	1.414	1.340	1.405
D ₅₀ (φ):	1.580	1.560	1.652	2.373	3.058	2.774	2.929
D ₉₀ (φ):	2.398	2.384	2.574	5.670	6.955	6.911	6.852
(D ₉₀ / D ₁₀) (φ):	2.833	2.891	3.033	4.541	4.918	5.159	4.876
(D ₉₀ - D ₁₀) (φ):	1.552	1.559	1.726	4.422	5.541	5.571	5.447
(D ₇₅ / D ₂₅) (φ):	1.702	1.717	1.758	2.047	2.465	2.531	2.454
(D ₇₅ - D ₂₅) (φ):	0.825	0.828	0.915	1.801	2.974	2.872	2.872
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	97.0%	97.0%	96.6%	79.3%	64.2%	68.2%	66.3%
% MUD:	3.0%	3.0%	3.4%	20.7%	35.8%	31.8%	33.7%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	16.2%	17.1%	15.6%	5.0%	3.5%	3.6%	3.1%
% MEDIUM SAND:	58.8%	58.7%	53.6%	30.8%	20.7%	25.3%	22.6%
% FINE SAND:	21.7%	20.8%	26.3%	31.5%	24.6%	25.8%	25.7%
% V FINE SAND:	0.3%	0.3%	1.1%	12.0%	15.4%	13.6%	14.9%
% V COARSE SILT:	1.3%	1.3%	1.6%	7.1%	10.8%	8.9%	10.1%
% COARSE SILT:	0.5%	0.5%	0.7%	5.1%	8.7%	7.4%	8.2%
% MEDIUM SILT:	0.7%	0.7%	0.7%	3.5%	6.6%	6.0%	6.2%
% FINE SILT:	0.5%	0.5%	0.5%	2.3%	4.4%	4.2%	4.2%
% V FINE SILT:	0.0%	0.0%	0.0%	1.4%	2.8%	2.8%	2.7%
% CLAY:	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	2.6%	2.6%	2.4%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1602_28	DZR_1602_30	DZR_1602_32	DZR_1602_34	DZR_1602_36	DZR_1602_38	DZR_1602_40
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Sand	Muddy Sand	Sand	Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Moderately Sorted Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Moderately Sorted Medium Sand	Moderately Sorted Medium Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	151.1	177.0	175.8	303.0	222.9	300.0	288.8
SORTING (σ_x):	146.3	155.3	160.4	159.0	165.9	148.9	148.4
SKEWNESS (Sk_x):	1.283	0.999	1.041	0.475	0.657	0.587	0.568
KURTOSIS (K_x):	4.394	3.575	3.603	3.111	2.939	3.205	3.264
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}):	74.94	92.51	88.15	240.0	130.7	252.6	234.3
SORTING (σ_x):	4.334	4.258	4.404	2.425	3.912	2.004	2.284
SKEWNESS (Sk_x):	-0.964	-1.131	-1.034	-2.651	-1.505	-2.183	-2.748
KURTOSIS (K_x):	3.476	3.783	3.514	12.75	4.927	11.15	14.13
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}):	3.738	3.434	3.504	2.059	2.935	1.985	2.093
SORTING (σ_x):	2.116	2.090	2.139	1.278	1.968	1.003	1.191
SKEWNESS (Sk_x):	0.964	1.131	1.034	2.651	1.505	2.183	2.748
KURTOSIS (K_x):	3.476	3.783	3.514	12.75	4.927	11.15	14.13
FOLK AND WARD METHOD (μ)							
MEAN (M_w):	81.00	99.81	95.21	273.3	141.8	271.9	260.9
SORTING (σ_x):	4.221	4.067	4.250	1.958	3.558	1.745	1.864
SKEWNESS (Sk_x):	-0.345	-0.434	-0.414	-0.278	-0.512	-0.165	-0.227
KURTOSIS (K_x):	1.009	1.045	0.988	1.502	1.304	1.163	1.376
FOLK AND WARD METHOD (ϕ)							
MEAN (M_w):	3.626	3.325	3.393	1.871	2.818	1.879	1.938
SORTING (σ_x):	2.077	2.024	2.088	0.969	1.831	0.803	0.898
SKEWNESS (Sk_x):	0.345	0.434	0.414	0.278	0.512	0.165	0.227
KURTOSIS (K_x):	1.009	1.045	0.988	1.502	1.304	1.163	1.376
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Medium Sand	Fine Sand	Medium Sand	Medium Sand
SORTING:	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Moderately Sorted	Poorly Sorted	Moderately Sorted	Moderately Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed
KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Very Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (μ):	224.4	257.7	257.7	295.8	295.8	295.8	295.8
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2.159	1.960	1.960	1.761	1.761	1.761	1.761
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	8.853	10.61	9.833	112.8	16.55	130.3	121.3
D ₅₀ (μ):	107.0	143.0	136.2	285.3	204.6	279.0	268.9
D ₉₀ (μ):	360.6	398.6	406.6	520.8	453.8	507.1	492.2
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	40.73	37.55	41.35	4.617	27.41	3.893	4.057
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	351.7	388.0	396.8	408.0	437.2	376.8	370.9
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	6.962	6.239	7.201	2.055	4.009	2.006	2.024
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	194.6	225.4	232.5	204.7	245.6	194.9	190.3
D ₁₀ (ϕ):	1.472	1.327	1.298	0.941	1.140	0.980	1.023
D ₅₀ (ϕ):	3.224	2.806	2.877	1.810	2.289	1.842	1.895
D ₉₀ (ϕ):	6.820	6.558	6.668	3.148	5.917	2.941	3.043
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	4.634	4.942	5.136	3.345	5.190	3.001	2.976
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	5.348	5.231	5.370	2.207	4.777	1.961	2.020
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2.310	2.392	2.508	1.783	2.243	1.736	1.721
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	2.799	2.641	2.848	1.039	2.003	1.004	1.017
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	63.1%	69.2%	67.0%	93.3%	78.2%	95.9%	94.5%
% MUD:	36.9%	30.8%	33.0%	6.7%	21.8%	4.1%	5.5%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	3.3%	4.3%	4.8%	11.8%	6.8%	10.8%	9.4%
% MEDIUM SAND:	18.3%	23.8%	23.3%	47.8%	32.9%	47.7%	46.1%
% FINE SAND:	23.8%	26.0%	24.2%	29.0%	27.7%	32.5%	33.8%
% V FINE SAND:	17.6%	15.1%	14.6%	4.6%	10.8%	5.0%	5.2%
% V COARSE SILT:	12.6%	10.0%	10.6%	2.9%	6.9%	2.1%	2.1%
% COARSE SILT:	9.1%	7.5%	8.3%	1.3%	5.2%	0.9%	1.2%
% MEDIUM SILT:	6.1%	5.3%	5.8%	0.9%	3.8%	0.6%	0.8%
% FINE SILT:	4.0%	3.5%	3.7%	0.7%	2.6%	0.5%	0.6%
% V FINE SILT:	2.6%	2.3%	2.4%	0.4%	1.7%	0.1%	0.4%
% CLAY:	2.5%	2.1%	2.3%	0.4%	1.6%	0.0%	0.4%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1602_42	DZR_1602_44	DZR_1602_46	DZR_1602_48	DZR_1602_50	DZR_1602_52	DZR_1602_54
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Bimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Sandy Mud	Muddy Sand	Sand	Sand	Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Medium Sand	Very Coarse Silty Medium Sand	Medium Sandy Very Coarse Silt	Very Coarse Silty Medium Sand	Moderately Well Sorted Medium Sand	Moderately Well Sorted Medium Sand	Moderately Sorted Medium Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	211.4	273.7	87.46	236.5	320.5	276.7	264.1
SORTING (σ_x):	167.3	197.2	131.6	173.7	146.0	131.0	131.8
SKEWNESS (Sk_x):	0.843	0.556	2.074	0.449	0.592	0.769	0.678
KURTOSIS (K_x):	3.388	2.801	6.449	2.436	3.244	3.645	3.556
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}_g):	119.9	160.7	31.22	134.0	279.1	240.6	219.0
SORTING (σ_x):	4.005	4.003	4.692	4.149	1.844	1.822	2.171
SKEWNESS (Sk_x):	-1.390	-1.588	-0.175	-1.446	-2.286	-1.981	-2.925
KURTOSIS (K_x):	4.586	5.144	2.761	4.531	12.71	11.22	16.17
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}_l):	3.060	2.637	5.001	2.900	1.841	2.055	2.191
SORTING (σ_x):	2.002	2.001	2.230	2.053	0.883	0.865	1.118
SKEWNESS (Sk_x):	1.390	1.588	0.175	1.446	2.286	1.981	2.925
KURTOSIS (K_x):	4.586	5.144	2.761	4.531	12.71	11.22	16.17
FOLK AND WARD METHOD (μ)							
MEAN (M_w):	129.6	173.3	35.46	143.2	294.7	251.8	239.8
SORTING (σ_x):	3.699	3.590	5.192	3.800	1.599	1.617	1.692
SKEWNESS (Sk_w):	-0.486	-0.546	0.029	-0.567	-0.071	-0.054	-0.111
KURTOSIS (K_w):	1.211	1.398	1.222	1.189	1.004	1.001	1.093
FOLK AND WARD METHOD (ϕ)							
MEAN (M_w):	2.948	2.529	4.818	2.803	1.763	1.990	2.060
SORTING (σ_x):	1.887	1.844	2.376	1.926	0.877	0.693	0.759
SKEWNESS (Sk_w):	0.486	0.546	-0.029	0.567	0.071	0.054	0.111
KURTOSIS (K_w):	1.211	1.398	1.222	1.189	1.004	1.001	1.093
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Very Coarse Silt	Fine Sand	Medium Sand	Medium Sand	Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Poorly Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Symmetrical	Very Fine Skewed	Symmetrical	Symmetrical	Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic
MODE 1 (μ):	257.7	339.7	37.24	339.7	295.8	257.7	257.7
MODE 2 (μ):			339.7				
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	1.960	1.561	4.750	1.561	1.761	1.960	1.960
MODE 2 (ϕ):			1.561				
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	15.01	18.98	3.927	14.57	158.7	133.6	121.2
D ₅₀ (μ):	186.7	257.8	31.62	226.0	298.1	254.2	243.7
D ₉₀ (μ):	444.3	543.3	310.2	476.8	524.6	458.0	445.6
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	29.60	28.63	78.98	32.72	3.305	3.428	3.675
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	429.3	524.4	306.2	462.2	365.8	324.4	324.3
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	4.577	3.701	6.028	4.741	1.890	1.918	1.975
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	243.1	291.5	62.96	280.7	191.5	167.7	167.4
D ₁₀ (ϕ):	1.170	0.880	1.689	1.069	0.931	1.127	1.166
D ₅₀ (ϕ):	2.421	1.956	4.983	2.146	1.746	1.976	2.037
D ₉₀ (ϕ):	6.058	5.719	7.992	6.101	2.655	2.904	3.044
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	5.176	6.499	4.732	5.709	2.853	2.578	2.610
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	4.888	4.839	6.303	5.032	1.725	1.777	1.878
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2.302	2.426	1.695	2.506	1.707	1.621	1.630
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	2.194	1.888	2.592	2.245	0.918	0.940	0.982
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	76.1%	80.5%	29.1%	77.0%	97.0%	97.3%	95.6%
% MUD:	23.9%	19.5%	70.9%	23.0%	3.0%	2.7%	4.4%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	6.5%	13.5%	2.0%	8.3%	12.3%	6.7%	5.8%
% MEDIUM SAND:	29.6%	38.0%	11.4%	36.8%	52.0%	44.7%	42.1%
% FINE SAND:	27.8%	21.4%	5.5%	23.3%	30.8%	40.6%	41.1%
% V FINE SAND:	12.2%	7.5%	10.1%	8.7%	1.9%	5.4%	6.6%
% V COARSE SILT:	7.8%	6.0%	21.3%	6.9%	1.4%	1.0%	1.3%
% COARSE SILT:	5.9%	4.6%	19.6%	5.6%	0.7%	0.9%	1.2%
% MEDIUM SILT:	4.1%	3.5%	12.4%	4.3%	0.5%	0.4%	0.6%
% FINE SILT:	2.7%	2.3%	7.4%	2.8%	0.3%	0.3%	0.6%
% V FINE SILT:	1.8%	1.5%	4.9%	1.8%	0.0%	0.0%	0.3%
% CLAY:	1.7%	1.4%	5.1%	1.6%	0.0%	0.0%	0.4%

SAMPLE STATISTICS

	DZR 1802 88	DZR 1802 88	DZR 1802 80	DZR 1802 82
ANALYST AND DATE:				
SEIVING ERROR:				
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Moderately Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Sand	Sand	Muddy Sand	Sandy Mud
SEDIMENT NAME:	Moderately Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Fine Sandy Very Coarse Silt
METHOD OF MOMENTS				
Arithmetic (µm)				
MEAN (\bar{x}_n):	228.2	222.7	128.0	48.48
SORTING (σ_n):	120.9	123.3	123.8	81.93
SKEWNESS (β_n):	0.702	0.709	1.288	3.830
KURTOSIS (K_n):	3.518	3.514	4.277	21.81
METHOD OF MOMENTS				
Geometric (µm)				
MEAN (\bar{x}_g):	185.2	178.4	85.81	24.44
SORTING (σ_g):	2,240	2,381	4,082	3,783
SKEWNESS (β_g):	-2.574	-2.440	-0.921	-0.858
KURTOSIS (K_g):	13.38	11.97	3.517	3.145
METHOD OF MOMENTS				
Logarithmic (φ)				
MEAN (\bar{x}_l):	2.433	2.503	3.928	5.354
SORTING (σ_l):	1.184	1.799	2.022	1.912
SKEWNESS (β_l):	2.874	2.440	0.921	0.838
KURTOSIS (K_l):	13.38	11.97	3.517	3.145
FOLK AND WARD METHOD				
(µm)				
MEAN (M_n):	204.2	198.7	71.52	25.22
SORTING (σ_n):	1.882	1.968	3.938	3.708
SKEWNESS (β_n):	-0.199	-0.237	-0.280	-0.285
KURTOSIS (K_n):	1.304	1.388	0.997	1.063
FOLK AND WARD METHOD				
(φ)				
MEAN (M_n):	2.202	2.348	3.805	5.309
SORTING (σ_n):	0.807	0.877	1.977	1.891
SKEWNESS (β_n):	0.199	0.237	0.280	0.285
KURTOSIS (K_n):	1.304	1.388	0.997	1.063
FOLK AND WARD METHOD				
(Description)				
MEAN:	Fine Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Coarse Silt
SORTING:	Moderately Sorted	Moderately Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted
SKEWNESS:	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic
MODE 1 (µm):	224.4	224.4	195.5	49.10
MODE 2 (µm):				
MODE 3 (µm):				
MODE 1 (φ):	2.159	2.159	2.359	4.352
MODE 2 (φ):				
MODE 3 (φ):				
D_{10} (µm):	83.87	82.19	9.140	3.515
D_{30} (µm):	209.7	204.4	86.47	30.88
D_{50} (µm):	394.5	391.7	307.2	104.8
(D_{30} / D_{10}) (µm):	4.203	4.787	33.81	29.82
$(D_{50} - D_{10})$ (µm):	300.7	309.8	298.0	101.3
(D_{30} / D_{50}) (µm):	2.070	2.140	8.533	5.482
$(D_{50} - D_{30})$ (µm):	183.5	186.0	185.1	50.90
D_{10} (φ):	1.342	1.352	1.703	3.254
D_{30} (φ):	2.254	2.290	3.532	5.018
D_{50} (φ):	3.413	3.805	6.714	8.152
(D_{30} / D_{10}) (φ):	2.544	2.888	3.978	2.505
$(D_{50} - D_{10})$ (φ):	2.072	2.253	5.071	4.898
(D_{30} / D_{50}) (φ):	1.599	1.619	2.148	1.612
$(D_{50} - D_{30})$ (φ):	1.050	1.088	2.708	2.440
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	94.0%	92.6%	58.2%	24.9%
% MUD:	8.0%	7.4%	41.8%	75.1%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	3.0%	3.0%	1.3%	0.2%
% MEDIUM SAND:	33.9%	32.6%	15.1%	1.7%
% FINE SAND:	44.8%	43.4%	23.4%	5.0%
% V FINE SAND:	12.8%	13.8%	18.9%	18.0%
% V COARSE SILT:	2.1%	2.9%	15.9%	24.7%
% COARSE SILT:	1.7%	1.9%	10.7%	19.1%
% MEDIUM SILT:	0.8%	1.0%	8.4%	12.5%
% FINE SILT:	0.8%	0.7%	3.9%	7.9%
% V FINE SILT:	0.4%	0.4%	2.9%	5.4%
% CLAY:	0.4%	0.5%	2.4%	5.8%

SAMPLE STATISTICS

	DZR 1603_0_1	DZR 1603_2	DZR 1603_4	DZR 1603_6	DZR 1603_8	DZR 1603_10	DZR 1603_12
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Slightly Gravelly Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Fine Gravelly Very Coarse Silty	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	126.1	153.5	165.9	149.1	158.0	157.3	157.1
SORTING (σ_x):	128.4	142.7	152.1	142.6	151.7	180.9	151.8
SKEWNESS (Sk_x):	1,113	1,039	1,071	1,091	1,152	2,861	1,185
KURTOSIS (K_x):	3,511	3,550	3,803	3,662	3,986	18,85	4,069
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}_g):	53.79	73.45	80.64	69.21	73.37	66.86	73.84
SORTING (σ_x):	5,057	4,664	4,636	4,776	4,792	5,074	4,687
SKEWNESS (Sk_x):	-0.729	-0.974	-1.031	-0.914	-0.932	-0.806	-0.931
KURTOSIS (K_x):	2,606	3,209	3,352	3,058	3,108	2,884	3,177
METHOD OF MOMENTS							
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}_l):	4,216	3,767	3,632	3,853	3,769	3,903	3,759
SORTING (σ_x):	2,338	2,221	2,213	2,256	2,260	2,343	2,229
SKEWNESS (Sk_x):	0,729	0,974	1,031	0,914	0,932	0,806	0,931
KURTOSIS (K_x):	2,606	3,209	3,352	3,058	3,108	2,884	3,177
FOLK AND WARD METHOD							
(μ)							
MEAN (M_w):	56.32	77.60	85.00	72.82	77.18	69.38	78.33
SORTING (σ_x):	5,159	4,606	4,541	4,761	4,756	5,070	4,631
SKEWNESS (Sk_x):	-0.360	-0.432	-0.450	-0.413	-0.421	-0.395	-0.396
KURTOSIS (K_x):	0,850	0,973	1,009	0,949	0,960	0,927	0,972
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_w):	4,150	3,688	3,556	3,780	3,696	3,849	3,674
SORTING (σ_x):	2,367	2,204	2,183	2,251	2,250	2,342	2,211
SKEWNESS (Sk_x):	0,360	0,432	0,450	0,413	0,421	0,395	0,396
KURTOSIS (K_x):	0,850	0,973	1,009	0,949	0,960	0,927	0,972
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Very Coarse Silt	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Platykurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic
MODE 1 (μ):	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2,159	2,159	2,159	2,159	2,159	2,159	2,159
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	4,612	6,846	7,430	6,239	6,562	5,564	7,015
D ₅₀ (μ):	82.38	117.4	130.4	109.4	116.9	105.1	113.6
D ₉₀ (μ):	319.8	359.7	381.9	356.4	374.8	371.3	374.7
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	69.34	52.54	51.40	57.13	57.12	66.74	53.41
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	315.2	352.8	374.5	350.2	368.2	365.8	367.6
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	11.73	7,983	7,390	8,669	8,495	9,841	8,127
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	184.2	207.5	219.3	204.9	215.2	209.1	212.2
D ₁₀ (ϕ):	1,645	1,475	1,389	1,488	1,416	1,429	1,416
D ₅₀ (ϕ):	3,602	3,090	2,939	3,192	3,097	3,250	3,138
D ₉₀ (ϕ):	7,760	7,191	7,072	7,325	7,252	7,490	7,155
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	4,718	4,874	5,093	4,921	5,122	5,240	5,052
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	6,116	5,715	5,684	5,836	5,836	6,060	5,739
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2,536	2,444	2,458	2,477	2,517	2,569	2,477
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	3,552	2,997	2,886	3,116	3,087	3,299	3,023
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	55.7%	64.0%	66.4%	62.2%	63.4%	60.9%	63.1%
% MUD:	44.3%	36.0%	33.6%	37.8%	36.6%	39.1%	36.9%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	0.0%
% COARSE SAND:	1.1%	2.7%	3.7%	2.7%	3.6%	3.6%	3.6%
% MEDIUM SAND:	16.7%	20.3%	21.9%	19.5%	20.5%	18.3%	20.1%
% FINE SAND:	22.0%	25.2%	25.7%	24.2%	24.1%	23.0%	23.7%
% V FINE SAND:	16.0%	15.8%	15.1%	15.9%	15.2%	15.4%	15.6%
% V COARSE SILT:	11.4%	10.4%	9.7%	10.8%	10.5%	10.6%	11.3%
% COARSE SILT:	9.1%	8.0%	7.3%	8.2%	7.9%	8.2%	8.3%
% MEDIUM SILT:	8.4%	6.6%	6.1%	6.9%	6.7%	7.2%	6.5%
% FINE SILT:	6.8%	5.0%	4.7%	5.3%	5.1%	5.7%	4.8%
% V FINE SILT:	4.6%	3.3%	3.1%	3.5%	3.4%	3.9%	3.2%
% CLAY:	3.9%	2.9%	2.7%	3.1%	3.0%	3.4%	2.8%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1603_14	DZR_1603_16	DZR_1603_18	DZR_1603_20	DZR_1603_22	DZR_1603_24	DZR_1603_26
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	155.6	158.3	155.1	157.5	152.6	157.3	160.0
SORTING (σ_x):	156.9	154.1	146.6	152.5	148.4	150.6	150.6
SKEWNESS (Sk_x):	1.333	1.164	1.069	1.185	1.204	1.188	1.113
KURTOSIS (K_x):	4.710	4.000	3.659	4.068	4.109	4.112	3.874
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}):	69.77	71.47	72.23	72.91	71.38	74.75	75.91
SORTING (σ_x):	4.895	4.934	4.798	4.795	4.703	4.657	4.708
SKEWNESS (Sk_x):	-0.868	-0.899	-0.939	-0.928	-0.926	-0.961	-0.973
KURTOSIS (K_x):	2.998	2.996	3.092	3.112	3.164	3.242	3.218
METHOD OF MOMENTS							
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}):	3.841	3.807	3.791	3.778	3.808	3.742	3.720
SORTING (σ_x):	2.291	2.303	2.262	2.261	2.234	2.219	2.235
SKEWNESS (Sk_x):	0.868	0.899	0.939	0.928	0.926	0.961	0.973
KURTOSIS (K_x):	2.998	2.996	3.092	3.112	3.164	3.242	3.218
FOLK AND WARD METHOD							
(μ)							
MEAN (M_x):	73.22	74.96	75.84	76.65	75.41	79.10	80.09
SORTING (σ_x):	4.895	4.921	4.772	4.769	4.672	4.596	4.647
SKEWNESS (Sk_x):	-0.389	-0.423	-0.430	-0.413	-0.386	-0.406	-0.430
KURTOSIS (K_x):	0.947	0.938	0.956	0.966	0.983	0.992	0.983
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_x):	3.772	3.738	3.721	3.706	3.729	3.660	3.642
SORTING (σ_x):	2.291	2.299	2.255	2.254	2.224	2.201	2.216
SKEWNESS (Sk_x):	0.389	0.423	0.430	0.413	0.386	0.406	0.430
KURTOSIS (K_x):	0.947	0.938	0.956	0.966	0.983	0.992	0.983
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic
MODE 1 (μ):	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2.159	2.159	2.159	2.159	2.159	2.159	2.159
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	6.154	6.081	6.362	6.523	6.666	7.064	6.927
D ₅₀ (μ):	108.0	115.5	116.3	115.0	108.2	115.7	121.2
D ₉₀ (μ):	377.5	378.7	366.8	376.1	365.8	372.0	375.3
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	61.34	62.27	57.65	57.65	54.88	52.66	54.18
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	371.3	372.6	360.4	369.5	359.1	364.9	368.4
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	9.065	9.229	8.563	8.444	8.028	7.756	7.948
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	212.1	218.8	212.9	213.2	205.6	209.5	215.3
D ₁₀ (ϕ):	1.406	1.401	1.447	1.411	1.451	1.427	1.414
D ₅₀ (ϕ):	3.211	3.113	3.104	3.121	3.208	3.111	3.045
D ₉₀ (ϕ):	7.344	7.361	7.296	7.260	7.229	7.145	7.174
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	5.225	5.255	5.042	5.146	4.982	5.008	5.074
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	5.939	5.961	5.849	5.849	5.778	5.719	5.760
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	2.537	2.582	2.510	2.503	2.438	2.438	2.479
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	3.180	3.206	3.098	3.078	3.005	2.955	2.991
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	61.7%	62.7%	63.4%	63.4%	62.4%	63.9%	64.5%
% MUD:	38.3%	37.3%	36.6%	36.6%	37.6%	36.1%	35.5%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	4.0%	3.8%	3.0%	3.7%	3.3%	3.5%	3.5%
% MEDIUM SAND:	19.3%	20.5%	20.6%	20.0%	19.4%	20.0%	20.9%
% FINE SAND:	22.9%	23.7%	24.4%	23.9%	23.4%	24.3%	24.7%
% V FINE SAND:	15.6%	14.7%	15.4%	15.7%	16.3%	16.0%	15.4%
% V COARSE SILT:	11.0%	10.3%	10.3%	10.5%	11.7%	11.0%	10.4%
% COARSE SILT:	8.3%	8.0%	7.8%	8.0%	8.1%	8.0%	7.7%
% MEDIUM SILT:	6.9%	6.9%	6.7%	6.6%	6.5%	6.3%	6.4%
% FINE SILT:	5.3%	5.4%	5.2%	5.1%	4.9%	4.8%	4.9%
% V FINE SILT:	3.6%	3.6%	3.5%	3.4%	3.4%	3.2%	3.2%
% CLAY:	3.2%	3.2%	3.0%	3.0%	3.0%	2.8%	2.8%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1603_28	DZR_1603_30	DZR_1603_32	DZR_1603_34	DZR_1603_36	DZR_1603_38	DZR_1603_40
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (µm)							
MEAN (\bar{x}_n):	164.0	162.1	171.5	167.2	173.4	167.7	171.4
SORTING (σ_x):	149.2	143.1	147.2	139.5	145.1	143.6	144.5
SKEWNESS (Sk_n):	1.035	0.979	0.973	0.870	0.935	0.926	0.947
KURTOSIS (K_n):	3.700	3.596	3.645	3.316	3.594	3.509	3.640
Geometric (µm)							
MEAN (\bar{x}_g):	79.65	80.61	88.66	88.64	92.08	85.42	90.00
SORTING (σ_g):	4.657	4.594	4.430	4.300	4.310	4.532	4.367
SKEWNESS (Sk_g):	-1.033	-1.093	-1.175	-1.200	-1.228	-1.161	-1.207
KURTOSIS (K_g):	3.330	3.461	3.708	3.787	3.881	3.623	3.792
METHOD OF MOMENTS							
Logarithmic (φ)							
MEAN (\bar{x}_l):	3.650	3.633	3.496	3.496	3.441	3.549	3.474
SORTING (σ_l):	2.219	2.200	2.147	2.104	2.108	2.180	2.127
SKEWNESS (Sk_l):	1.033	1.093	1.175	1.200	1.228	1.161	1.207
KURTOSIS (K_l):	3.330	3.461	3.708	3.787	3.881	3.623	3.792
FOLK AND WARD METHOD							
(µm)							
MEAN (M_w):	83.92	84.81	93.07	93.36	97.02	89.36	94.39
SORTING (σ_w):	4.560	4.472	4.275	4.128	4.122	4.385	4.194
SKEWNESS (Sk_w):	-0.461	-0.484	-0.487	-0.494	-0.493	-0.504	-0.497
KURTOSIS (K_w):	1.000	1.025	1.104	1.099	1.138	1.071	1.123
FOLK AND WARD METHOD							
(φ)							
MEAN (M_w):	3.575	3.560	3.426	3.421	3.366	3.484	3.405
SORTING (σ_w):	2.189	2.161	2.096	2.046	2.043	2.133	2.068
SKEWNESS (Sk_w):	0.461	0.484	0.487	0.494	0.493	0.504	0.497
KURTOSIS (K_w):	1.000	1.025	1.104	1.099	1.138	1.071	1.123
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Very Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (µm):	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4	224.4
MODE 2 (µm):							
MODE 3 (µm):							
MODE 1 (φ):	2.159	2.159	2.159	2.159	2.159	2.159	2.159
MODE 2 (φ):							
MODE 3 (φ):							
D ₁₀ (µm):	7.248	7.399	8.468	8.982	9.233	7.819	8.737
D ₅₀ (µm):	130.6	134.3	144.3	144.0	148.7	143.1	146.8
D ₉₀ (µm):	375.7	363.0	378.1	362.7	375.8	368.4	372.1
(D ₉₀ / D ₁₀) (µm):	51.83	49.06	44.65	40.38	40.70	47.12	42.59
(D ₉₀ - D ₁₀) (µm):	368.5	355.6	369.6	353.7	366.6	360.6	363.4
(D ₇₅ / D ₂₅) (µm):	7.528	7.067	5.969	5.769	5.496	6.419	5.688
(D ₇₅ - D ₂₅) (µm):	218.2	211.5	213.8	207.7	211.3	213.6	210.7
D ₁₀ (φ):	1.412	1.462	1.403	1.463	1.412	1.441	1.426
D ₅₀ (φ):	2.936	2.896	2.793	2.796	2.749	2.805	2.768
D ₉₀ (φ):	7.108	7.079	6.884	6.799	6.759	6.999	6.839
(D ₉₀ / D ₁₀) (φ):	5.033	4.842	4.906	4.647	4.787	4.858	4.795
(D ₉₀ - D ₁₀) (φ):	5.696	5.617	5.481	5.336	5.347	5.558	5.413
(D ₇₅ / D ₂₅) (φ):	2.463	2.396	2.314	2.269	2.259	2.353	2.274
(D ₇₅ - D ₂₅) (φ):	2.912	2.821	2.577	2.528	2.458	2.682	2.508
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	66.2%	67.5%	70.3%	70.4%	71.4%	69.5%	70.9%
% MUD:	33.8%	32.5%	29.7%	29.6%	28.6%	30.5%	29.1%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	3.4%	2.8%	3.4%	2.5%	3.2%	2.9%	3.1%
% MEDIUM SAND:	21.9%	21.6%	22.8%	22.7%	23.3%	22.6%	22.9%
% FINE SAND:	26.0%	28.0%	28.8%	29.8%	29.8%	29.1%	29.8%
% V FINE SAND:	14.9%	15.2%	15.3%	15.4%	15.1%	14.8%	15.1%
% V COARSE SILT:	9.6%	8.8%	8.1%	8.3%	8.0%	8.0%	7.9%
% COARSE SILT:	7.4%	7.3%	6.6%	6.8%	6.5%	6.8%	6.5%
% MEDIUM SILT:	6.2%	6.1%	5.5%	5.6%	5.3%	5.8%	5.5%
% FINE SILT:	4.7%	4.6%	4.2%	4.1%	3.9%	4.4%	4.1%
% V FINE SILT:	3.1%	3.1%	2.8%	2.6%	2.6%	2.9%	2.7%
% CLAY:	2.7%	2.8%	2.5%	2.3%	2.3%	2.6%	2.4%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1603_42	DZR_1603_44	DZR_1603_46	DZR_1603_48	DZR_1603_50	DZR_1603_52	DZR_1603_54
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (μ)							
MEAN (\bar{x}):	157.6	140.8	164.6	147.6	169.7	157.2	134.3
SORTING (σ_x):	103.2	97.67	102.2	96.98	101.4	94.84	81.99
SKEWNESS (Sk_x):	0.792	0.819	0.832	0.730	0.784	0.829	0.941
KURTOSIS (K_x):	3.662	3.626	3.766	3.277	3.684	3.837	4.150
Geometric (μ)							
MEAN (\bar{x}_g):	109.8	94.10	122.4	103.6	128.6	119.1	102.8
SORTING (σ_x):	2.993	3.145	2.636	2.918	2.562	2.552	2.467
SKEWNESS (Sk_x):	-1.883	-1.660	-2.024	-1.830	-2.161	-2.124	-2.058
KURTOSIS (K_x):	7.121	5.981	8.600	7.062	9.491	9.318	9.349
METHOD OF MOMENTS							
Logarithmic (ϕ)							
MEAN (\bar{x}_l):	3.187	3.410	3.031	3.271	2.959	3.070	3.282
SORTING (σ_x):	1.581	1.653	1.398	1.545	1.357	1.352	1.303
SKEWNESS (Sk_x):	1.883	1.660	2.024	1.830	2.161	2.124	2.058
KURTOSIS (K_x):	7.121	5.981	8.600	7.062	9.491	9.318	9.349
FOLK AND WARD METHOD							
(μ)							
MEAN (M_w):	126.4	104.2	138.8	117.2	145.7	134.8	114.5
SORTING (σ_x):	2.543	2.795	2.229	2.519	2.147	2.148	2.102
SKEWNESS (Sk_w):	-0.374	-0.415	-0.291	-0.358	-0.280	-0.272	-0.244
KURTOSIS (K_w):	1.586	1.467	1.455	1.450	1.460	1.459	1.373
FOLK AND WARD METHOD							
(ϕ)							
MEAN (M_w):	2.984	3.263	2.949	3.093	2.779	2.891	3.127
SORTING (σ_x):	1.346	1.483	1.157	1.333	1.102	1.103	1.072
SKEWNESS (Sk_w):	0.374	0.415	0.291	0.358	0.280	0.272	0.244
KURTOSIS (K_w):	1.586	1.467	1.455	1.450	1.460	1.459	1.373
FOLK AND WARD METHOD							
(Description)							
MEAN:	Fine Sand	Very Fine Sand	Fine Sand	Very Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand	Very Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed	Fine Skewed
KURTOSIS:	Very Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (μ):	170.2	148.3	170.2	170.2	170.2	148.3	129.1
MODE 2 (μ):							
MODE 3 (μ):							
MODE 1 (ϕ):	2.558	2.757	2.558	2.558	2.558	2.757	2.957
MODE 2 (ϕ):							
MODE 3 (ϕ):							
D ₁₀ (μ):	25.67	18.78	41.57	26.35	49.26	45.85	41.18
D ₅₀ (μ):	143.4	127.2	148.8	133.5	154.4	142.5	120.5
D ₉₀ (μ):	297.4	272.9	303.6	282.4	307.4	285.8	244.4
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	11.59	14.53	7.304	10.72	6.240	6.234	5.934
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	271.7	254.1	262.0	256.0	258.1	240.0	203.2
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	2.542	2.865	2.377	2.664	2.287	2.287	2.307
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	130.8	128.0	128.1	127.5	127.3	117.7	100.7
D ₁₀ (ϕ):	1.749	1.873	1.720	1.824	1.702	1.807	2.033
D ₅₀ (ϕ):	2.801	2.974	2.749	2.905	2.695	2.810	3.053
D ₉₀ (ϕ):	5.284	5.735	4.588	5.246	4.343	4.447	4.602
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	3.020	3.061	2.668	2.876	2.552	2.461	2.264
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	3.534	3.861	2.869	3.422	2.641	2.640	2.569
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	1.608	1.647	1.574	1.617	1.557	1.529	1.484
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	1.346	1.518	1.249	1.413	1.193	1.194	1.206
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	82.2%	77.0%	85.6%	80.1%	87.4%	86.1%	82.4%
% MUD:	17.8%	23.0%	14.4%	19.9%	12.6%	13.9%	17.6%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	0.5%	0.2%	0.6%	0.1%	0.5%	0.3%	0.0%
% MEDIUM SAND:	16.7%	13.2%	17.8%	14.9%	18.8%	15.3%	9.2%
% FINE SAND:	40.8%	37.6%	42.3%	38.8%	43.9%	42.8%	38.3%
% V FINE SAND:	24.1%	26.0%	25.0%	26.4%	24.2%	27.7%	34.9%
% V COARSE SILT:	6.5%	8.8%	6.2%	8.5%	5.2%	6.3%	9.8%
% COARSE SILT:	4.2%	5.5%	3.4%	4.6%	3.1%	3.1%	3.3%
% MEDIUM SILT:	2.8%	3.6%	2.0%	2.7%	1.7%	1.8%	1.9%
% FINE SILT:	1.9%	2.4%	1.2%	1.7%	1.1%	1.1%	1.0%
% V FINE SILT:	1.2%	1.5%	0.8%	1.2%	0.7%	0.8%	0.8%
% CLAY:	1.2%	1.3%	0.8%	1.2%	0.7%	0.8%	0.8%

SAMPLE STATISTICS

	DZR 1603_56	DZR 1603_58	DZR 1603_60	DZR 1603_62	DZR 1603_64	DZR 1603_66	DZR 1603_68
ANALYST AND DATE:							
SIEVING ERROR:							
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Slightly Gravely Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Sandy Mud
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Fine Gravely Very Coarse Silty V	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Very Fine Sandy Very Coarse Silt
METHOD OF MOMENTS							
Arithmetic (µm)							
MEAN (\bar{x}_n):	104.4	104.8	79.59	103.2	106.9	93.17	75.28
SORTING (σ_x):	68.92	111.6	60.92	72.61	76.06	69.01	62.68
SKEWNESS (Sk_n):	0.969	6.404	1.416	1.015	1.085	1.199	1.368
KURTOSIS (K_n):	4.224	72.58	6.400	4.179	4.650	5.132	5.431
Geometric (µm)							
MEAN (\bar{x}_g):	75.36	68.03	52.95	71.17	73.22	62.78	47.20
SORTING (σ_g):	2,732	3,011	3,031	2,931	2,949	2,979	3,201
SKEWNESS (Sk_g):	-1.801	-1.427	-1.453	-1.651	-1.597	-1.476	-1.190
KURTOSIS (K_g):	7.255	6.039	5.474	6.345	6.062	5.605	4.553
Logarithmic (φ)							
MEAN (\bar{x}_l):	3.730	3.878	4.239	3.813	3.772	3.994	4.405
SORTING (σ_l):	1.450	1.590	1.600	1.551	1.560	1.575	1.679
SKEWNESS (Sk_l):	1.801	1.427	1.453	1.651	1.597	1.476	1.190
KURTOSIS (K_l):	7.255	6.039	5.474	6.345	6.062	5.605	4.553
FOLK AND WARD METHOD (µm)							
MEAN (M_w):	84.57	75.01	58.46	79.56	80.73	68.39	51.37
SORTING (σ_w):	2,365	2,627	2,744	2,588	2,626	2,696	3,001
SKEWNESS (Sk_w):	-0.312	-0.313	-0.336	-0.335	-0.356	-0.350	-0.312
KURTOSIS (K_w):	1.416	1.390	1.352	1.390	1.387	1.295	1.152
FOLK AND WARD METHOD (φ)							
MEAN (M_w):	3.564	3.737	4.096	3.652	3.631	3.870	4.283
SORTING (σ_w):	1.242	1.393	1.456	1.372	1.393	1.431	1.585
SKEWNESS (Sk_w):	0.312	0.313	0.336	0.335	0.356	0.350	0.312
KURTOSIS (K_w):	1.416	1.390	1.352	1.390	1.387	1.295	1.152
FOLK AND WARD METHOD (Description)							
MEAN:	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Coarse Silt	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Fine Sand	Very Coarse Silt
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (µm):	112.5	97.96	85.32	112.5	112.5	97.96	85.32
MODE 2 (µm):							
MODE 3 (µm):							
MODE 1 (φ):	3.156	3.355	3.554	3.156	3.156	3.355	3.554
MODE 2 (φ):							
MODE 3 (φ):							
D ₁₀ (µm):	22.20	17.03	12.04	18.07	17.20	14.58	10.11
D ₅₀ (µm):	93.23	84.68	67.71	90.47	94.26	80.89	60.61
D ₉₀ (µm):	197.1	196.1	158.2	201.7	207.4	184.1	159.3
(D ₉₀ / D ₁₀) (µm):	8,880	11,51	13,14	11,17	12,06	12,62	15,76
(D ₉₀ - D ₁₀) (µm):	174.9	179.1	146.1	183.7	190.2	169.5	149.2
(D ₇₅ / D ₂₅) (µm):	2,549	2,877	3,063	2,826	2,834	3,069	3,924
(D ₇₅ - D ₂₅) (µm):	85.82	87.68	73.58	91.64	95.01	86.80	79.32
D ₁₀ (φ):	2,343	2,350	2,661	2,310	2,270	2,442	2,650
D ₅₀ (φ):	3,423	3,562	3,884	3,466	3,407	3,628	4,044
D ₉₀ (φ):	5,493	5,876	6,376	5,791	5,861	6,099	6,628
(D ₉₀ / D ₁₀) (φ):	2,345	2,500	2,397	2,507	2,583	2,498	2,501
(D ₉₀ - D ₁₀) (φ):	3,151	3,525	3,716	3,481	3,592	3,658	3,978
(D ₇₅ / D ₂₅) (φ):	1,478	1,527	1,506	1,532	1,543	1,547	1,610
(D ₇₅ - D ₂₅) (φ):	1,350	1,524	1,615	1,499	1,503	1,618	1,972
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	70.6%	64.7%	54.0%	67.6%	69.1%	62.1%	48.7%
% MUD:	29.4%	35.3%	46.0%	32.4%	30.9%	37.9%	51.3%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	0.0%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM SAND:	3.9%	3.8%	1.7%	4.5%	5.1%	3.2%	1.9%
% FINE SAND:	28.2%	24.1%	17.0%	27.3%	28.7%	23.3%	16.5%
% V FINE SAND:	38.5%	36.0%	35.2%	35.8%	35.2%	35.6%	30.4%
% V COARSE SILT:	16.3%	18.8%	24.1%	16.9%	15.0%	18.8%	22.9%
% COARSE SILT:	5.6%	7.1%	9.7%	6.5%	6.6%	8.5%	13.5%
% MEDIUM SILT:	3.2%	3.8%	5.0%	3.6%	4.0%	4.8%	6.9%
% FINE SILT:	1.8%	2.3%	3.0%	2.2%	2.3%	2.5%	3.4%
% V FINE SILT:	1.2%	1.6%	2.0%	1.5%	1.5%	1.6%	2.2%
% CLAY:	1.3%	1.7%	2.2%	1.6%	1.5%	1.7%	2.5%

SAMPLE STATISTICS

	DZR_1603_70	DZR_1603_72	DZR_1603_74	DZR_1603_76	DZR_1603_78	DZR_1603_80
ANALYST AND DATE:						
SIEVING ERROR:						
SAMPLE TYPE:	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Poorly Sorted	Unimodal, Very Poorly Sorted	Unimodal, Moderately Well Sorted	Unimodal, Moderately Sorted
TEXTURAL GROUP:	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Muddy Sand	Moderately Sorted Sand	Moderately Sorted Sand
SEDIMENT NAME:	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Very Coarse Silty Very Fine Sand	Very Coarse Silty Fine Sand	Moderately Well Sorted Fine Sand	Moderately Sorted Fine Sand
METHOD OF MOMENTS						
Arithmetic (μ)						
MEAN (\bar{x}):	99.53	88.60	82.72	132.8	264.9	209.8
SORTING (σ_x):	71.01	69.36	67.40	135.0	127.4	118.4
SKEWNESS (Sk_x):	0.997	1.289	1.236	1.417	0.806	0.787
KURTOSIS (K_x):	4.189	5.377	4.900	4.796	3.769	3.744
Geometric (μ)						
MEAN (\bar{x}):	67.24	56.82	50.56	64.77	228.9	164.9
SORTING (σ_x):	3.027	3.218	3.431	4.312	1.865	2.400
SKEWNESS (Sk_x):	-1.575	-1.411	-1.309	-0.904	-2.146	-2.409
KURTOSIS (K_x):	5.815	5.158	4.672	3.461	12.11	11.57
Logarithmic (ϕ)						
MEAN (\bar{x}):	3.895	4.138	4.306	3.949	2.127	2.601
SORTING (σ_x):	1.598	1.686	1.779	2.108	0.899	1.263
SKEWNESS (Sk_x):	1.575	1.411	1.309	0.904	2.146	2.409
KURTOSIS (K_x):	5.815	5.158	4.672	3.461	12.11	11.57
FOLK AND WARD METHOD						
(μ)						
MEAN (M_x):	74.27	62.36	55.24	70.59	240.5	184.7
SORTING (σ_x):	2.715	2.946	3.199	4.225	1.624	2.000
SKEWNESS (Sk_x):	-0.373	-0.363	-0.380	-0.262	-0.046	-0.235
KURTOSIS (K_x):	1.393	1.323	1.248	1.040	0.993	1.433
FOLK AND WARD METHOD						
(ϕ)						
MEAN (M_x):	3.751	4.003	4.178	3.824	2.056	2.436
SORTING (σ_x):	1.441	1.559	1.678	2.079	0.700	1.000
SKEWNESS (Sk_x):	0.373	0.363	0.380	0.262	0.046	0.235
KURTOSIS (K_x):	1.393	1.323	1.248	1.040	0.993	1.433
FOLK AND WARD METHOD (Description)						
MEAN:	Very Fine Sand	Very Coarse Silt	Very Coarse Silt	Very Fine Sand	Fine Sand	Fine Sand
SORTING:	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Poorly Sorted	Very Poorly Sorted	Moderately Well Sorted	Moderately Sorted
SKEWNESS:	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Very Fine Skewed	Fine Skewed	Symmetrical	Fine Skewed
KURTOSIS:	Leptokurtic	Leptokurtic	Leptokurtic	Mesokurtic	Mesokurtic	Leptokurtic
MODE 1 (μ):	112.5	97.96	97.96	224.4	257.7	195.5
MODE 2 (μ):						
MODE 3 (μ):						
MODE 1 (ϕ):	3.156	3.355	3.355	2.159	1.960	2.359
MODE 2 (ϕ):						
MODE 3 (ϕ):						
D ₁₀ (μ):	15.00	11.46	8.910	7.997	127.1	77.94
D ₅₀ (μ):	87.97	75.04	69.02	83.73	242.5	191.0
D ₉₀ (μ):	195.3	180.0	173.6	329.6	441.0	370.3
(D ₉₀ / D ₁₀) (μ):	13.02	15.71	19.48	41.22	3.470	4.751
(D ₉₀ - D ₁₀) (μ):	180.3	168.5	164.7	321.6	313.9	292.4
(D ₇₅ / D ₂₅) (μ):	2.924	3.343	3.961	6.762	1.936	2.150
(D ₇₅ - D ₂₅) (μ):	90.57	86.37	86.92	170.2	162.3	146.8
D ₁₀ (ϕ):	2.356	2.474	2.526	1.601	1.181	1.433
D ₅₀ (ϕ):	3.507	3.736	3.857	3.578	2.044	2.388
D ₉₀ (ϕ):	6.059	6.448	6.810	6.966	2.976	3.681
(D ₉₀ / D ₁₀) (ϕ):	2.572	2.606	2.696	4.351	2.519	2.569
(D ₉₀ - D ₁₀) (ϕ):	3.703	3.974	4.284	5.365	1.795	2.248
(D ₇₅ / D ₂₅) (ϕ):	1.541	1.576	1.630	2.186	1.605	1.592
(D ₇₅ - D ₂₅) (ϕ):	1.548	1.741	1.949	2.758	0.953	1.104
% GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% SAND:	66.0%	58.3%	54.1%	57.8%	97.2%	92.1%
% MUD:	34.0%	41.7%	45.9%	42.2%	2.8%	7.9%
% V COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% MEDIUM GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V FINE GRAVEL:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% V COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
% COARSE SAND:	0.0%	0.0%	0.0%	2.2%	5.6%	2.3%
% MEDIUM SAND:	3.8%	3.1%	2.6%	15.7%	41.9%	28.8%
% FINE SAND:	26.4%	21.2%	19.6%	21.0%	43.1%	44.9%
% V FINE SAND:	35.8%	33.9%	31.9%	18.9%	6.6%	16.1%
% V COARSE SILT:	16.6%	20.1%	20.3%	16.1%	0.8%	2.7%
% COARSE SILT:	7.1%	9.0%	10.4%	10.2%	1.1%	2.2%
% MEDIUM SILT:	4.3%	5.1%	6.1%	6.1%	0.5%	1.1%
% FINE SILT:	2.6%	3.1%	3.6%	4.0%	0.5%	0.8%
% V FINE SILT:	1.7%	2.1%	2.5%	2.8%	0.0%	0.5%
% CLAY:	1.7%	2.4%	2.9%	3.0%	0.0%	0.5%

ANNEXES
DE LA
PARTIE C

				Concentrations PCB Indicateurs (µg/kg de matière sèche)								
N° Identification LABERCA	N° Identification demandeur	Matrice	% MS	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 118	PCB 138	PCB 153	PCB 180	somme 7 PCB i / matière sèche	somme 7 PCB i - incertitude
16.2094.1	DZR- 001	Sédiments	99,59	0,440	0,515	0,890	0,811	1,925	2,987	1,833	9,402	2,386
16.2094.2	DZR- 002	Sédiments	99,78	0,036	0,036	0,042	0,041	0,116	0,169	0,095	0,536	0,136
16.2094.3	DZR- 003	Sédiments	99,42	0,861	0,742	0,870	0,870	2,065	3,297	2,620	11,324	2,874
16.2094.4	DZR- 004	Sédiments	98,64	0,241	0,182	0,298	0,282	0,858	1,394	1,091	4,346	1,103
16.2094.5	DZR- 005	Sédiments	97,35	0,545	0,580	1,008	0,933	1,896	3,180	2,105	10,248	2,601
16.2094.6	DZR- 006	Sédiments	96,46	0,272	0,291	0,497	0,441	1,038	1,791	1,216	5,546	1,408
16.2094.7	DZR- 007	Sédiments	96,80	0,020	0,012	0,018	0,009	0,020	0,031	0,017	0,127	0,032
16.2094.8	DZR- 008	Sédiments	94,31	0,313	0,373	0,641	0,623	1,578	2,429	1,481	7,438	1,888
16.2094.9	DZR- 009	Sédiments	88,30	1,914	2,417	5,381	3,491	8,860	14,947	9,682	46,692	11,850
16.2094.10	DZR- 0010	Sédiments	94,82	0,712	0,857	1,888	1,609	3,642	5,868	3,996	18,572	4,714

