



Rapport d'investigation

Investigations - PI0, PI1 et PI2 à Villers-Semeuse et Lumes



Intervention du 6 et 8 juillet 2022
Autoroute A34 entre Charleville-Mézières et Sedan
Pour le compte de Direction Interdépartementale des
Routes Nord



Sommaire

1.	Contexte et objectifs de la mission.....	4
1.1	Contexte de l'étude	4
1.2	Intervenants et localisation des ouvrages investigués.....	5
1.2.1	Localisation des ouvrages.....	5
1.2.2	Intervenants.....	5
2.	Présentation des méthodologies et moyen mis en œuvre	6
2.1	Acquisitions radar	6
2.1.1	Principe de la technologie radar	6
2.1.2	Représentation des données radar : visualisation des radargrammes.....	6
2.1.3	Propagation des ondes électromagnétiques.....	8
2.1.4	Matériel utilisé	8
2.2	Sondage destructif	9
3.	Résultats	10
3.1	Carottages au droit des tassements de la voie lente	10
3.1.1	Carottage direction Sedan.....	10
3.1.2	Carottage direction Charleville-Mézières	11
3.1.3	Remise en état	13
3.2	Mesure des épaisseurs d'enrobé par méthode radar	14
3.2.1	Calibration des mesures radar	14
3.2.2	Ouvrage PI0	15
3.2.3	Ouvrage PI1	16
3.2.4	Ouvrage PI2	17
4.	Conclusion.....	18
ANNEXE A.	Radargramme	19

1. Contexte et objectifs de la mission

A la demande et pour le compte de la Direction Interdépartementale des Routes Nord, la société Rincent Investigations a réalisé une campagne de mesure par géoradar sur les ouvrages PI0, PI1 et PI2 situés sur l'autoroute A34 entre Charleville-Mézières et Sedan. Une investigation complémentaire a été menée au droit de tassements constatés sur les voies lentes de l'ouvrage PI0.

1.1 Contexte de l'étude

La Direction Interdépartementale des Routes Nord (DirNord) souhaite connaître les épaisseurs d'enrobé au droit de 3 ouvrages portant l'autoroute A34, ainsi que d'une portion de la RD34. Connaître ces épaisseurs permettrait à la DirNord de réduire la couche d'enrobé afin de diminuer le poids propre des différents ouvrages.

Afin de répondre à cette problématique, Rincent investigations a réalisé des mesures par géoradar, qui permettront après traitement de connaître l'épaisseur des objets souhaités.

De plus, des tassements ont été constatés au droit des voies lentes de l'ouvrage PI0 (plus proche de Charleville-Mézières). Dans le but de déterminer leur nature, deux carottages ont été conduit au droit de ces tassements. Ces carottages ont pour objectif :

- Permettre une calibration des mesures radar par le biais d'une observation directe des épaisseurs d'enrobé,
- Déterminer l'existence d'une dalle de transition et le cas échéant de connaître la relation entre cette dalle et le remblai sous-jacent.



Figure 1 : Zone de fissuration de la chaussée avec tassement au niveau d'une bande de roulement, en voie lente, proche du joint de la chaussée coté Sedan

1.2 Intervenants et localisation des ouvrages investigués

1.2.1 Localisation des ouvrages



Figure 2 : Localisation des trois ouvrages, de la droite vers la gauche : PI0, PI1 et PI2

1.2.2 Intervenants

Cette intervention a été conduite par deux agents de Rincent investigations :

- Hocine Affadjene, Ingénieur chargé d'affaires au sein de Rincent Investigations,
- Alaa Ghazal, Apprenti Ingénieur d'étude géophysique.

Auxquels s'est ajouté un agent de Rincent Champagne-Ardenne lors des deux carottages.

2. Présentation des méthodologies et moyen mis en œuvre

Les investigations géophysiques in situ ont pour objectif de caractériser et localiser les structures, objets, hétérogénéités enfouis dans le sol. Ces méthodes, qui sont non destructives, mesurent les variations des paramètres physiques du sous-sol (capacité à entraver ou à laisser passer un courant électrique, vitesse de propagation des ondes mécaniques...).

Les investigations géophysiques permettent en outre une couverture spatiale plus globale que ne le permettent les forages, sondages et fouilles à la pelle mécanique. Elles conduisent à une représentation cartographique et/ou à des coupes en profondeur représentant ces paramètres physiques.

2.1 Acquisitions radar

2.1.1 Principe de la technologie radar

La prospection radar est une des méthodes géophysiques utilisée pour la détection d'anomalies dans le sous-sol. Cette technologie consiste en l'émission d'une brève onde électromagnétique de haute fréquence qui se propage en profondeur et se réfléchit partiellement sur les interfaces de milieux contrastés électriquement. Un radar est donc toujours composé de deux antennes : une antenne émettrice et une antenne réceptrice qui enregistre l'énergie réfléchie aux différentes interfaces en fonction du temps. C'est cet enregistrement qui constitue une trace radar (Cf. Figure 2 ci-dessous).

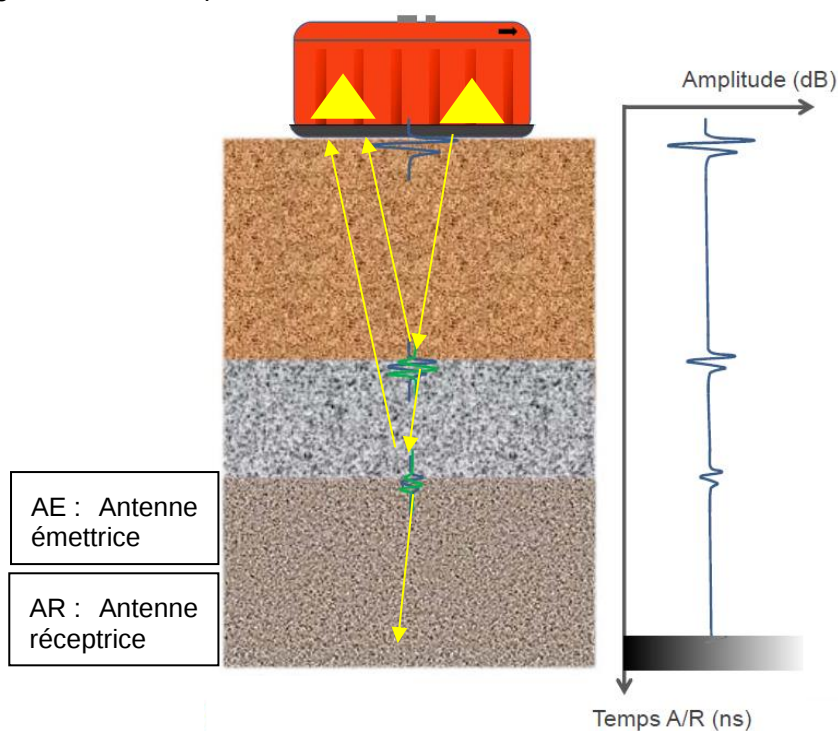


Figure 3 : Principe de réflexion des ondes radar (à gauche : trajet d'une onde radar dans un sol hétérogène, à droite : visualisation d'une trace radar, le signal enregistré par l'antenne)

2.1.2 Représentation des données radar : visualisation des radargrammes

Le déplacement des antennes sur une distance donnée permet l'acquisition d'une multitude de traces et la création d'un profil temps-distance appelé radargramme. Le radargramme compile l'ensemble des traces dans un graphique et permet la visualisation d'une coupe du sous-sol avec :

- En abscisse, les distances parcourues à partir du début de l'enregistrement des mesures,
- En ordonnée, les temps de propagation de l'onde électromagnétique.

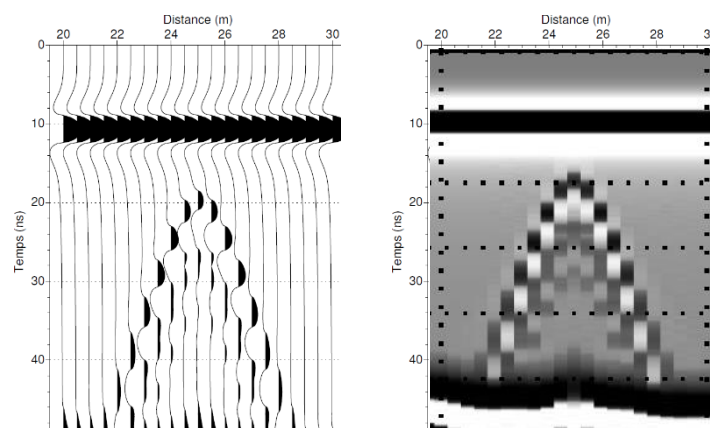


Figure 4 : Exemples de représentations des données sous forme de radargrammes

Les radargrammes permettent ainsi de visualiser les variations de l'amplitude du signal reçu par l'antenne en fonction du temps (profondeur) et de la distance (longueur du profil). La Figure 3 ci-dessus présente deux représentations différentes de radargrammes (issus des mêmes données) : à gauche le graphique compile simplement à intervalle régulier les traces individuelles, à droite les données sont lissées et extrapolées spatialement pour permettre la création d'une image.

La Figure 4 ci-dessous donne un exemple de radargramme avec la visualisation de réflecteurs qui sont situés au niveau d'interfaces délimitant des changements structuraux.

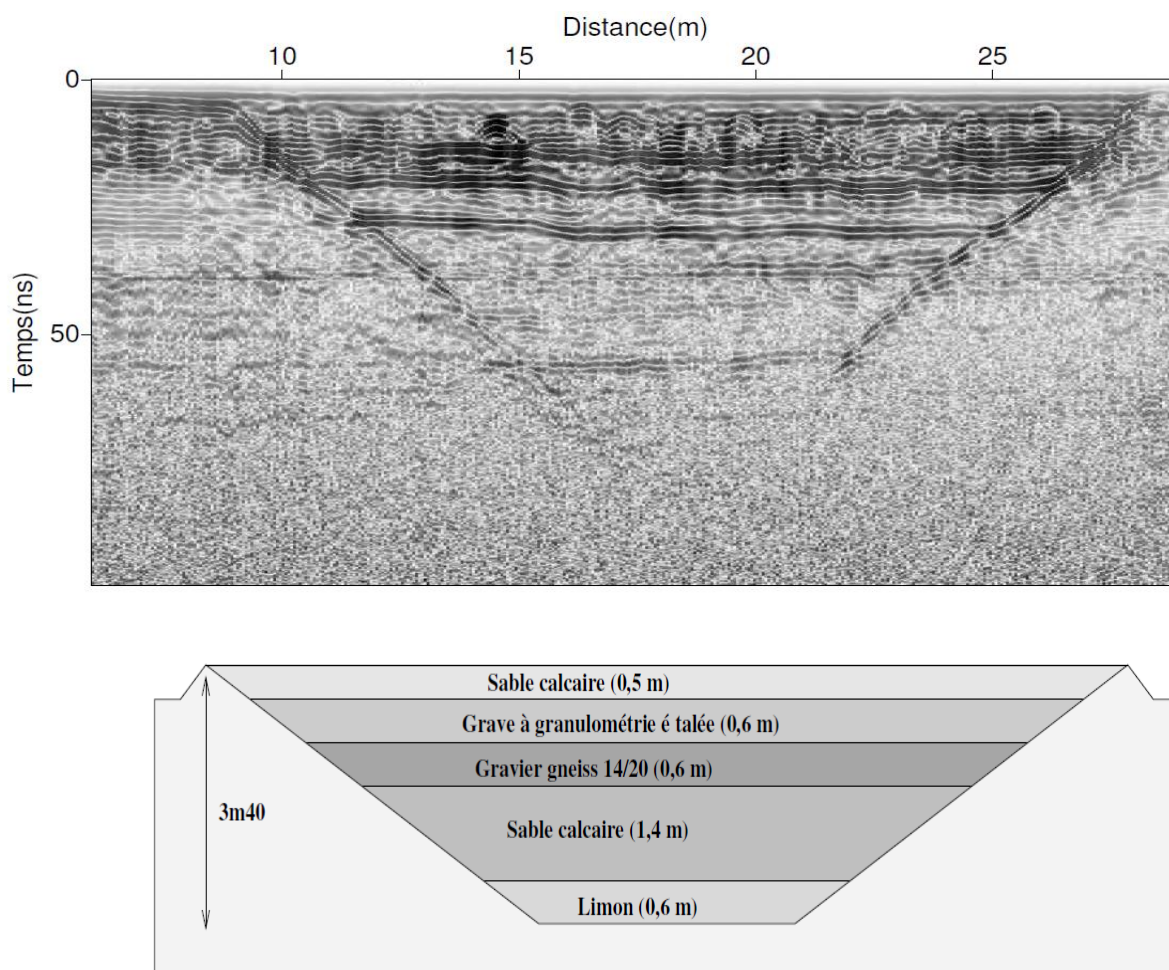


Figure 5 : Exemple de radargramme (en haut) acquis au niveau d'un sol présentant plusieurs lithologies différentes (en bas)

2.1.3 Propagation des ondes électromagnétiques

Les profondeurs des différentes interfaces trouvées par l'auscultation radar sont mesurées à partir du temps de retour de l'écho des ondes réfléchies à ces interfaces. Plus exactement la profondeur d'une interface est donnée par la relation :

$$d_r = \frac{t_r}{2} * \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Où t est le temps d'arrivée de l'écho, c la vitesse de la lumière et ϵ_r la permittivité du matériau.

L'amplitude de l'écho est déterminée par la différence de permittivité des matériaux. Ce qui est donné par le coefficient de réflexion en amplitude r :

$$r = \frac{\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2}}$$

De cette formule suivent les deux principales limitations de la technique radar :

- Si les matériaux sont semblables et donc avec une permittivité proche, le coefficient de réflexion est quasi nul et l'écho mesuré est très faible voire inexistant. Il est donc peu aisé de trouver les interfaces de matériaux de nature semblable.
- Si un matériau a une très grande permittivité comme pour de l'eau ou tout objet métallique, le coefficient de réflexion devient égal à un. L'interface devient très visible ce qui est un avantage pour localiser les canalisations par exemple. Mais c'est aussi un inconvénient car tout le signal est renvoyé et il est impossible de détecter ce qui se trouve en-dessous.

2.1.4 Matériel utilisé

Afin de limiter l'impact de l'intervention sur la circulation les agents de Rincent Investigations ont réalisé les mesures radar grâce à un radar monté sur un véhicule d'intervention (Figure 6).

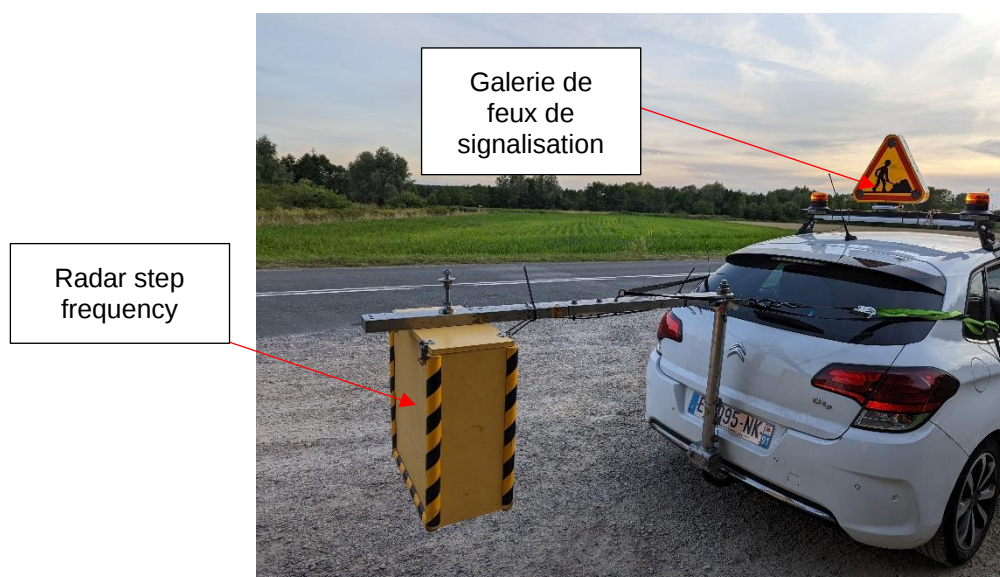


Figure 6 : Radar step frequency utilisé pour mesurer l'épaisseur d'enrobé sur les différents ouvrages

Le radar est directement relié à un analyseur de réseau, cet appareil permet de travailler grâce à une fréquence d'émission précise. Dans le présent rapport, la fréquence de 1500 MHz a été choisie car elle permet une bonne lecture des données.

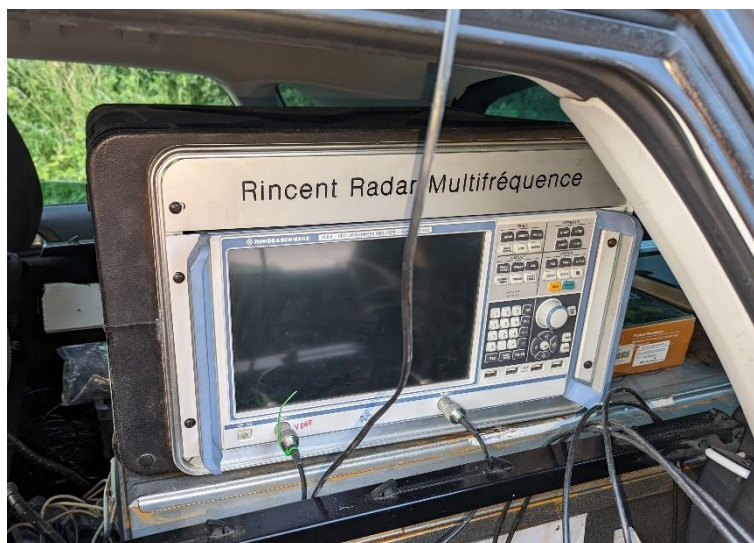


Figure 7 : Analyseur de réseau monté à l'arrière du véhicule

Un passage à vitesse constante a été effectué sur chaque voie de chaque ouvrage (voie d'insertion incluse). Circuler à vitesse constante permet de limiter les artefacts de mesure et donc de faciliter l'interprétation des données.

2.2 Sondage destructif

Afin d'identifier la présence d'une potentielle dalle de transition sur l'ouvrage PI0, deux carottages de 150 mm de diamètre et d'environ 1 mètre de profondeur ont été réalisés.

La dalle de transition est une partie de l'ouvrage située après le joint de dilatation, elle a pour but de faire le lien entre l'ouvrage et les remblais présents derrière la culée.



Figure 8 : Carotteuse et carottier (150 mm de diamètre) utilisés lors de l'intervention sur l'ouvrage PI0

Si une dalle de transition est présente sur l'ouvrage, celle-ci sera traversée par la carotteuse et une étude du lien entre celle-ci et le remblai sous-jacent sera effectuée.

Ces sondages permettront aussi de calibrer les données radar en ayant une observation directe des différentes épaisseurs des matériaux composant la chaussée.

3. Résultats

3.1 Carottages au droit des tassements de la voie lente

3.1.1 Carottage direction Sedan

Le carottage de la voie lente en direction de Sedan a été effectué au droit du tassement constaté et évoqué au début du présent document.

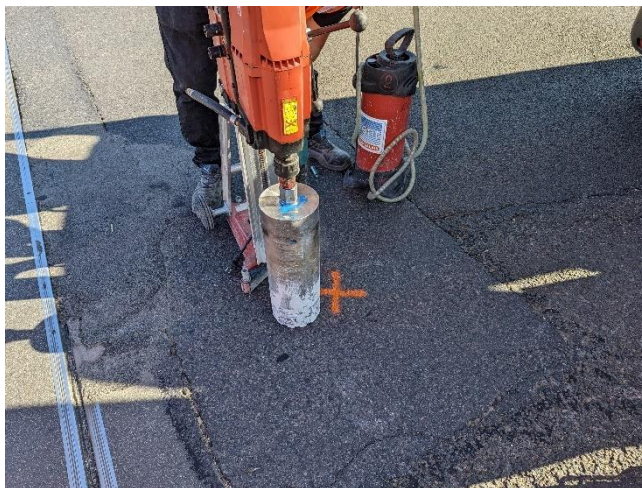


Figure 9 : Implantation du carottage sur l'ouvrage PI0 en direction de Sedan

Le sondage a mis en évidence 3 matériaux :

- Un enrobé de 19.5 cm d'épaisseur,
- Une grave traitée de 20.5 cm d'épaisseur,
- Une dalle béton (dalle de transition) de 31 cm d'épaisseur.



Figure 10 : Carottes extraites du sondage sur l'ouvrage PI0 en direction de Sedan. De gauche à droite : Enrobé, Grave traitée et Dalle de transition.

L'investigation sous la dalle béton par endoscope a permis de mettre en évidence la présence d'un remblai peu compact sujet à des décompressions importantes. Lors de l'intervention l'opérateur n'a pas pu extraire un échantillon car le remblai s'enfonçait sous le poids de la pelle.

Un espace de 3 cm entre la base de la dalle et le remblai a été estimé.

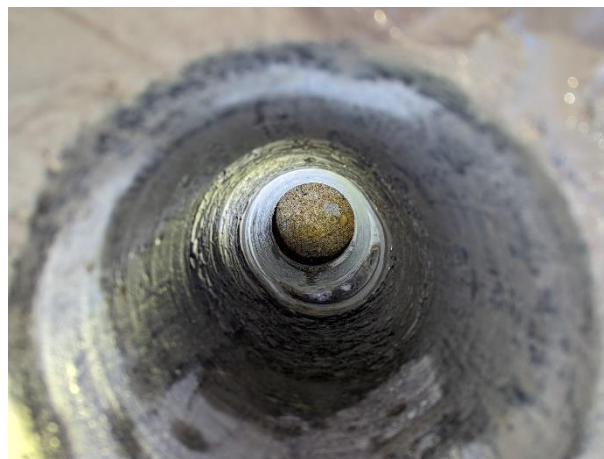


Figure 11 : Remblai observé sous la dalle de transition, un espace entre le remblai et la dalle de transition est constaté

Sous l'action d'une pression le remblai se compressait et le vide présent entre la dalle et le remblai s'agrandissait.

3.1.2 Carottage direction Charleville-Mézières

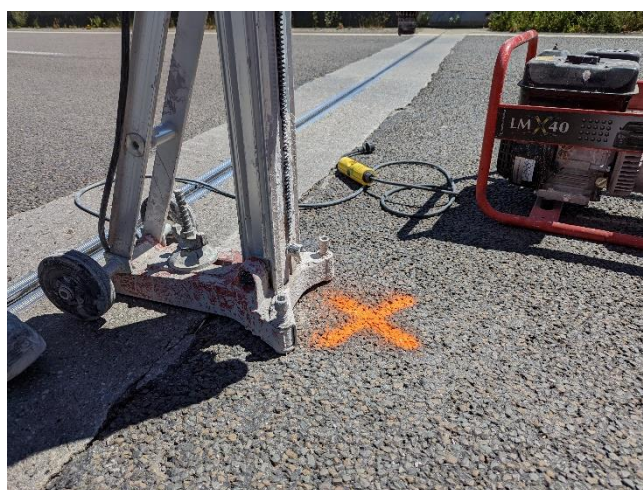


Figure 12 : Implantation du carottage sur l'ouvrage PI0 en direction de Charleville-Mézières

Lors de ce sondage 4 matériaux ont pu être extraits :

- Un enrobé de 13.5 cm d'épaisseur,
- Une grave traitée de 23 cm d'épaisseur,
- Une grave non traitée d'épaisseur variable (d'environ 4~5 cm),
- Une dalle béton (dalle de transition) de 29 cm d'épaisseur.



Figure 13 : Carottes extraites du sondage sur l'ouvrage PI0 en direction de Charleville-Mézières. De gauche à droite : Enrobé, Grave traitée avec la grave non-traitée et Dalle de transition

Le remblai présent sous la dalle de transition semble plus compact que celui observé dans la direction inverse. Aucun vide n'a été constaté entre celui-ci et la dalle de transition.

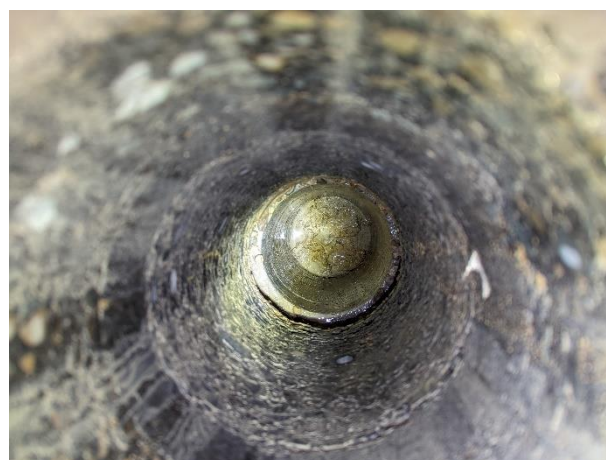


Figure 14 : Le contact entre le remblai et la dalle de transition est continu

Cependant, la grave non traitée semble se déliter facilement, un vide peut être constaté entre la grave traitée et la dalle de transition.



Figure 15 : Position de la grave non traitée (entre la grave traitée et la dalle de transition)

3.1.3 Remise en état

A la fin des investigations les deux sondages ont été rebouché à l'aide d'un mortier à prise rapide.



Figure 16 : Remise en état du sondage dans la direction de Sedan



Figure 17 : Remise en état du sondage en direction de Charleville-Mézières

3.2 Mesure des épaisseurs d'enrobé par méthode radar

Comme précisé précédemment la fréquence retenue pour le traitement des données radar est une fréquence de 1500 MHz. Cette fréquence permet de mettre en évidence l'interface qu'il existe entre les différents matériaux de la chaussée au droit des différents ouvrages.

Un traitement sommaire a été appliqué aux données afin de faciliter leur interprétation, celui-ci consiste en :

- Recalibration du temps zéro, ce qui permet de supprimer la couche d'air entre les antennes du radar et la surface du sol,
- Application d'un gain, ce qui permet de limiter l'atténuation du signal en profondeur.

3.2.1 Calibration des mesures radar

La calibration des propriétés électromagnétiques des composants de la chaussée a permis de définir une permittivité diélectrique relative (ϵ_r) de l'enrobé d'une valeur moyenne de 7. C'est cette valeur qui sera utilisée pour déterminer l'épaisseur de l'enrobé sur les différents ouvrages.

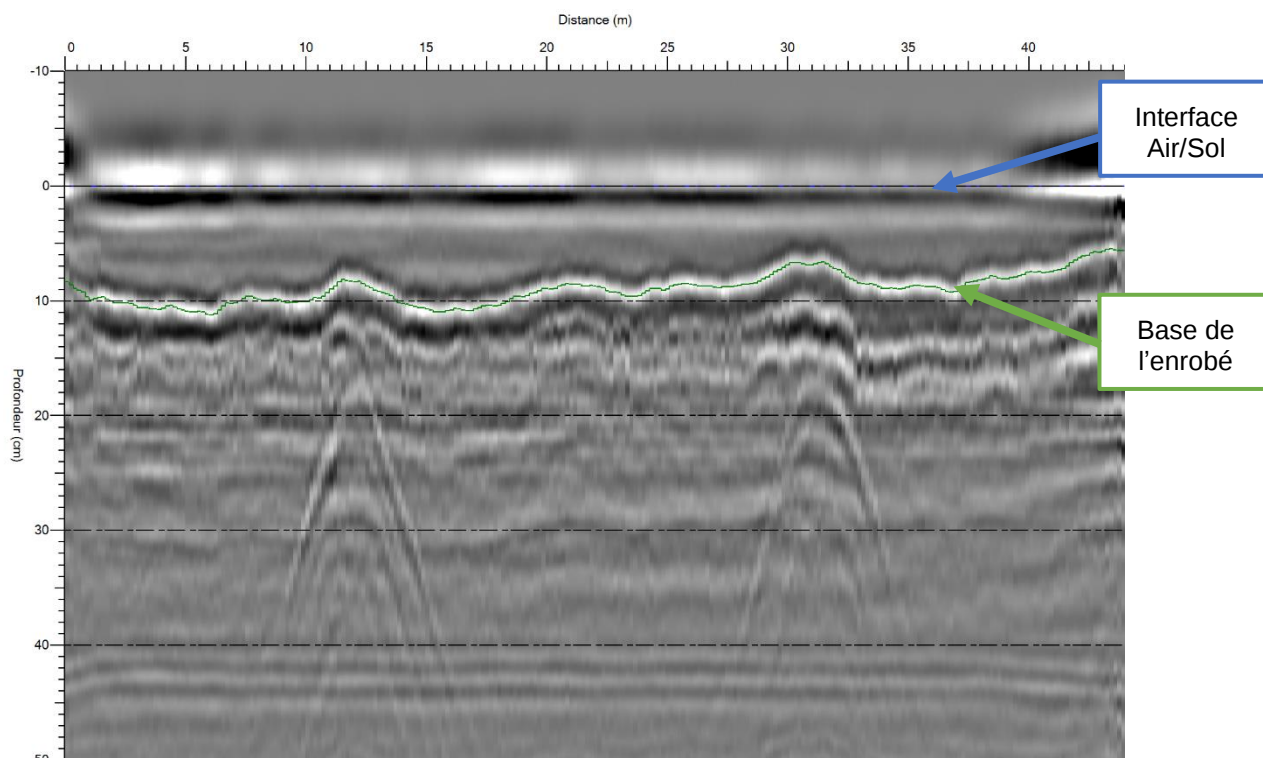


Figure 18 : radargramme obtenu grâce au passage du radar sur la voie lente d'e l'ouvrage PI0 en direction de Charleville-Mézières. L'interface bleue correspond à la surface du sol, l'interface verte correspond à la base de l'enrobé. $\epsilon_r = 7$

Cette calibration a été réalisée grâce aux épaisseurs d'enrobé mesurées grâce aux deux carottages réalisés aux abords de l'ouvrage PI0.

Tous les radargrammes sont joints à ce document en ANNEXE A.

3.2.2 Ouvrage PI0

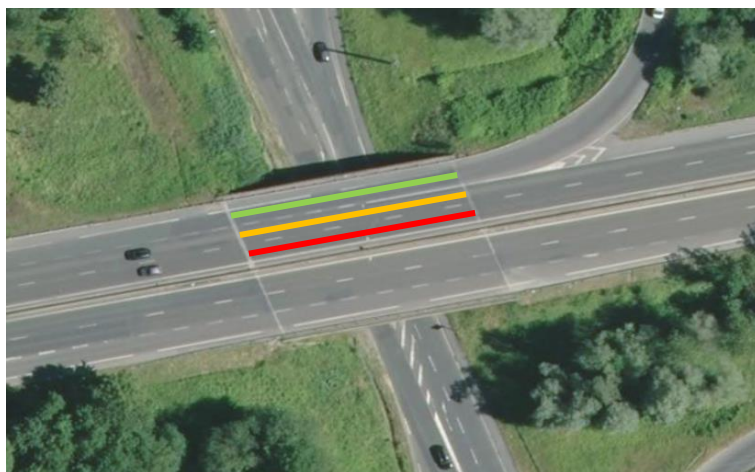


Figure 19 : Profils radar réalisés sur l'ouvrage PI0 en direction de Charleville-Mézières

Tableau 1 : Valeur des épaisseurs moyennes d'enrobé au droit des différentes voies

Vers Charleville-Mézières	Voie lente	Voie rapide	Insertion
	9 cm	9 cm	8 cm



Figure 20 : Profils radar réalisés sur l'ouvrage PI0 en direction de Sedan

Tableau 2 : Valeur des épaisseurs moyennes d'enrobé au droit des différentes voies

Vers Sedan	Voie lente	Voie rapide	Insertion
	7 cm	8 cm	7 cm

3.2.3 Ouvrage PI1

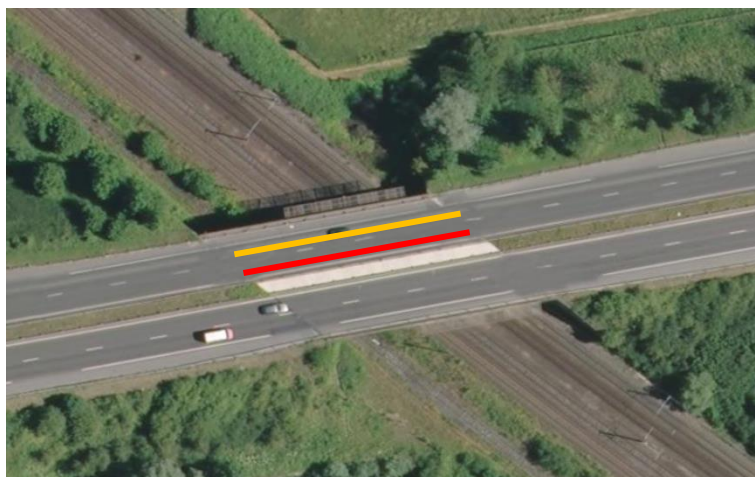


Figure 21 : Profils radar réalisés sur l'ouvrage PI1 en direction de Charleville-Mézières

Tableau 3 : Valeur des épaisseurs moyennes d'enrobé au droit des différentes voies

Vers Charleville-Mézières	Voie lente	Voie rapide
	10 cm	10 cm



Figure 22 : Profils radar réalisés sur l'ouvrage PI1 en direction de Sedan

Tableau 4 : Valeur des épaisseurs moyennes d'enrobé au droit des différentes voies

Vers Sedan	Voie lente	Voie rapide
	9 cm	10 cm

Une épaisseur moyenne de 10 cm d'enrobé a été constatée sur l'ensemble des voies de l'ouvrage PI1.

3.2.4 Ouvrage PI2



Figure 23 : Profils radar réalisés sur l'ouvrage PI1 en direction de Charleville-Mézières

Tableau 5 : Valeur des épaisseurs moyennes d'enrobé au droit des différentes voies

Vers Charleville-Mézières	Voie lente	Voie rapide	RD34
	7 cm	5 cm	11 cm

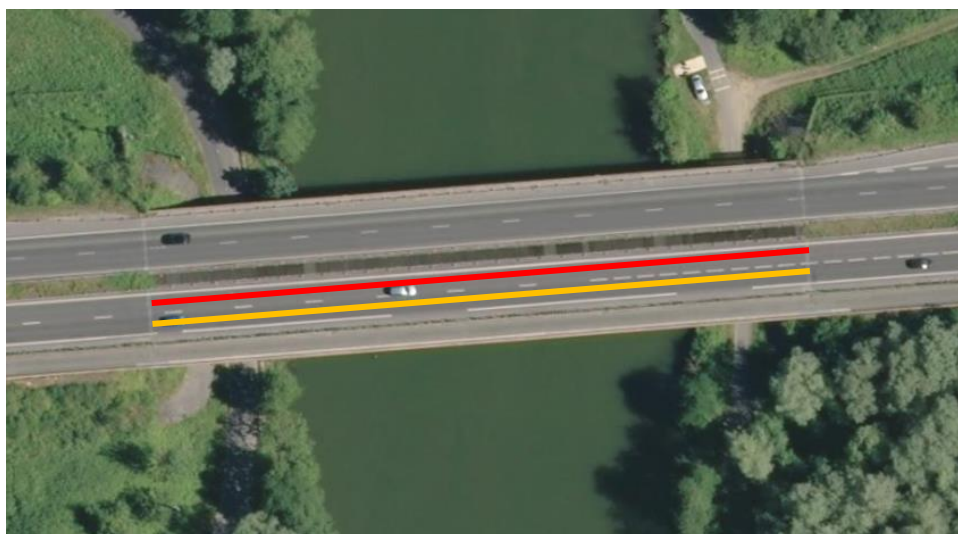


Figure 24 : Profils radar réalisés sur l'ouvrage PI1 en direction de Sedan

Tableau 6 : Valeur des épaisseurs moyennes d'enrobé au droit des différentes voies

Vers Sedan	Voie lente	Voie rapide
	11 cm	15 cm

4. Conclusion

Les interventions du 6 et 8 juillet 2022 se sont déroulées sans incident.

Les investigations géoradar ont permis de déterminer les épaisseurs d'enrobés au droit des différents ouvrages. Des différences d'épaisseurs ont été constaté sur les voies d'un même ouvrage.

Les deux carottages réalisés au droit des tassements sur les voies lentes de l'ouvrage PI0 (deux sens de circulation), Ont permis de :

- Connaître les épaisseurs des différents matériaux de la chaussée et de calibrer le géoradar,
- Mettre en évidence la présence d'une dalle de transition,
- Permettre l'observation de la jonction entre la dalle de transition et le remblai sous-jacent.

Une décompression du remblai a été constatée sous la dalle de transition en direction de Sedan. Dans la direction de Charleville-Mézières, le remblai semblait plus compact et le lien entre la dalle de transition et le remblai était continu (pas de vide détecté).

Fait à Courcouronnes, le 01/08/2022

Pour Rincent Investigations

Alaa Ghazal

Apprenti ingénieur géophysique



ANNEXE A.Radargramme

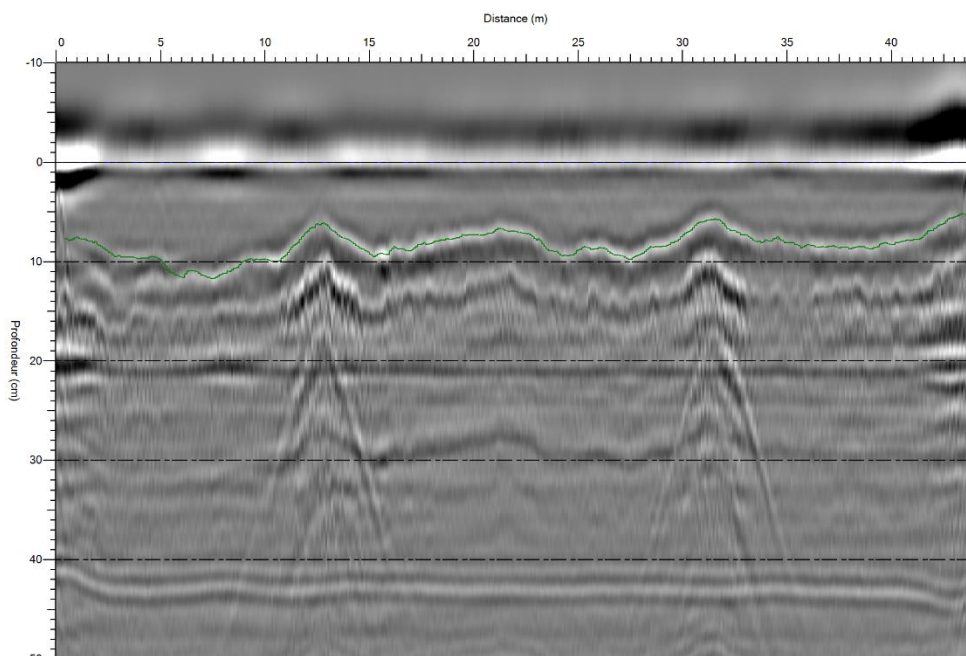


Figure 25 : Voie d'insertion en direction de Charleville-Mézières (ouvrage PI0)

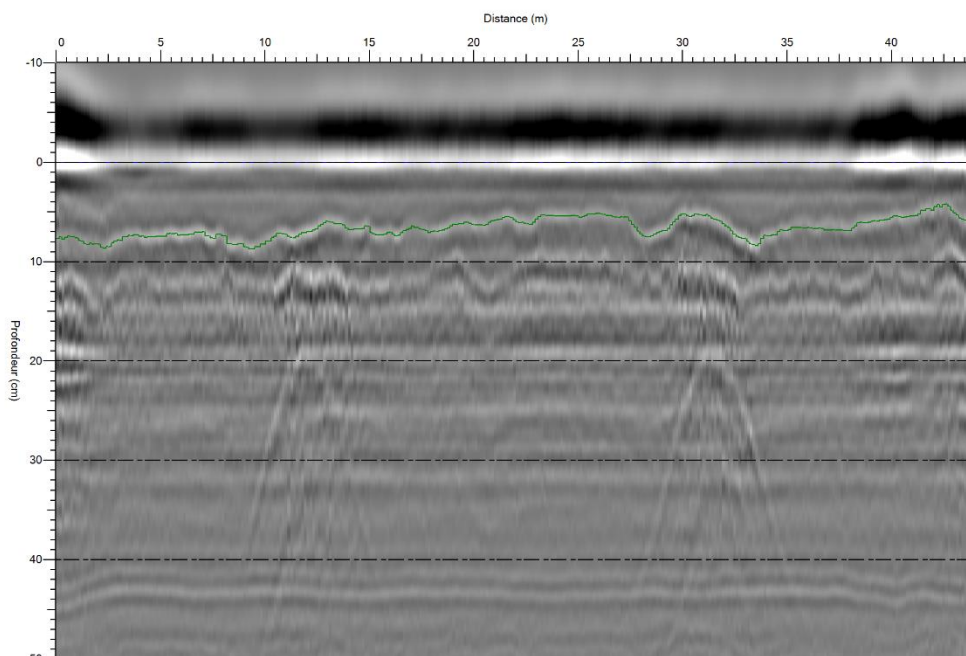


Figure 26 : Voie d'insertion en direction de Sedan (ouvrage PI0)

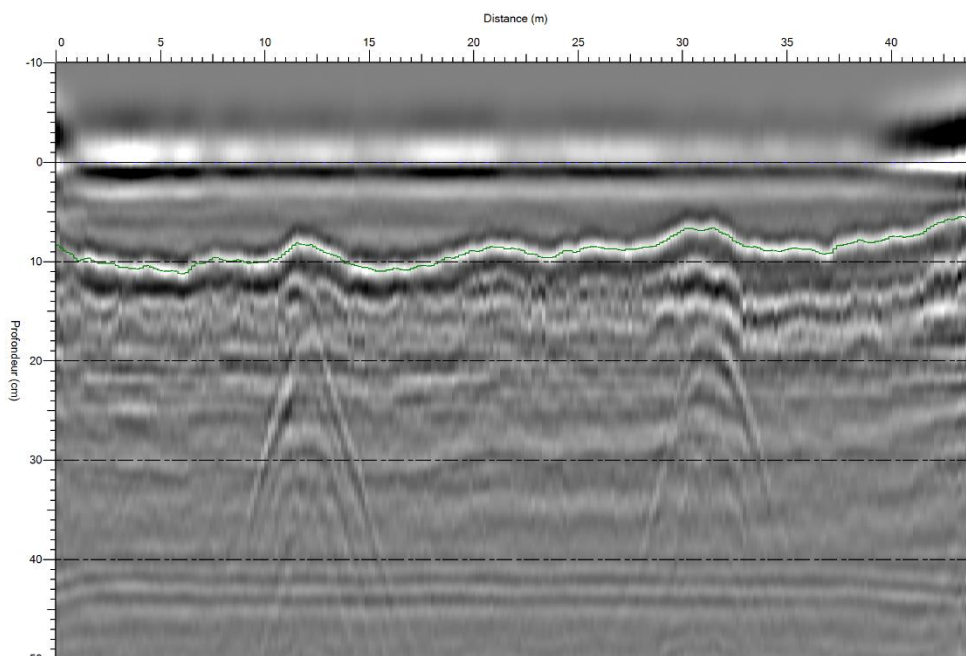


Figure 27 : Voie lente en direction de Charleville-Mézières (ouvrage PI0)

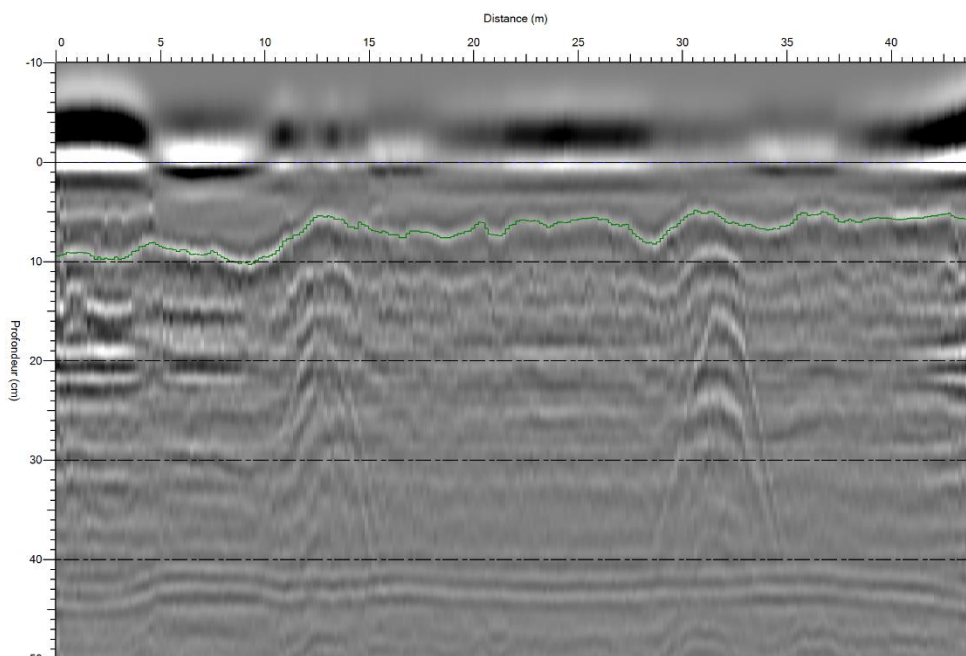


Figure 28 : Voie lente en direction de Sedan (ouvrage PI0)

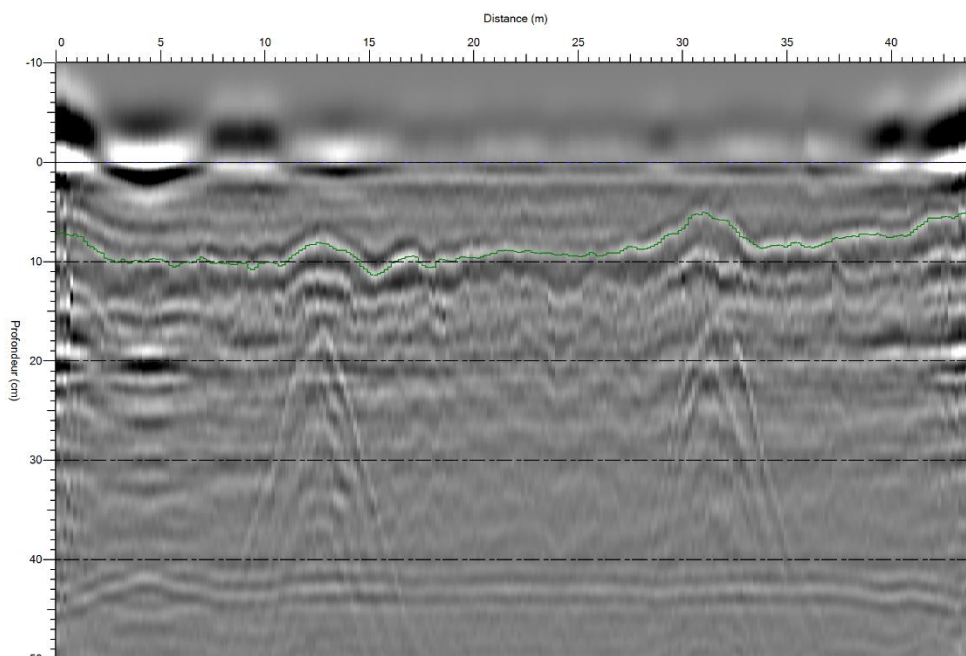


Figure 29 : Voie rapide en direction de Charleville-Mézières (ouvrage PI0)

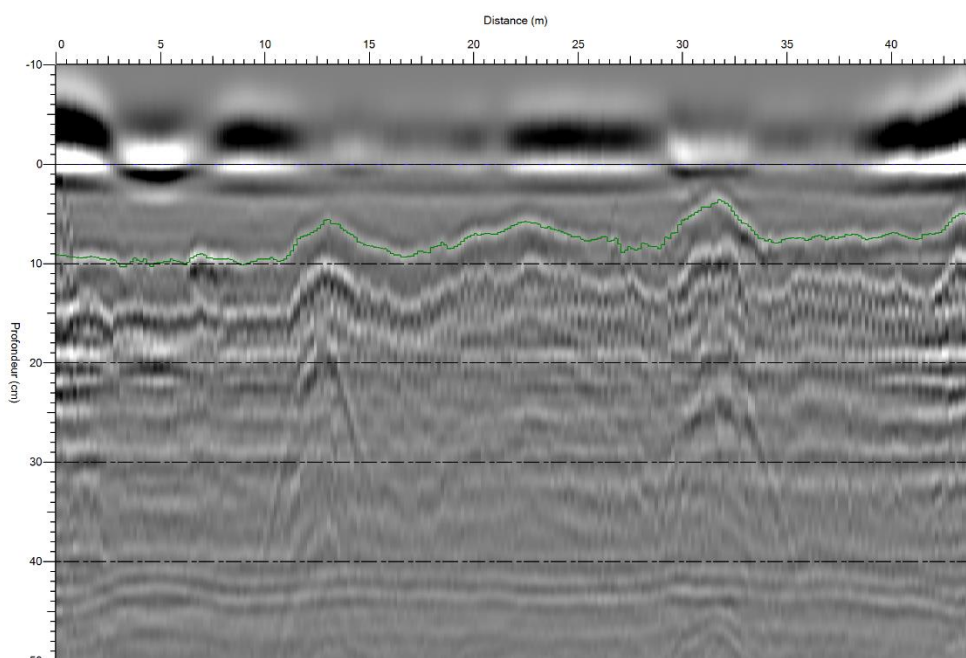


Figure 30 : Voie rapide en direction de Sedan (ouvrage PI0)

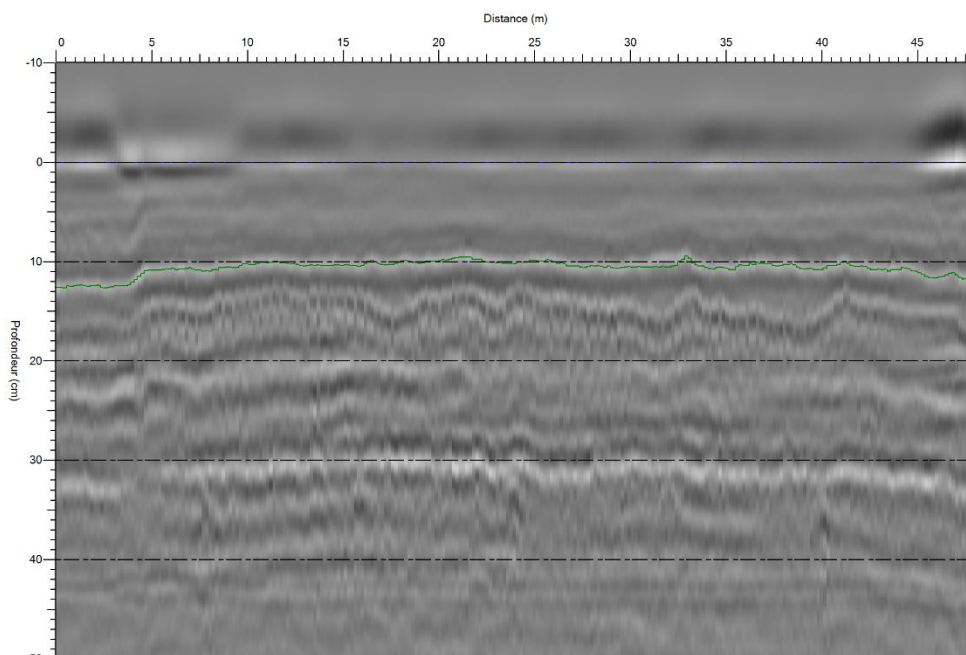


Figure 31 : Voie lente en direction de Charleville-Mézières (ouvrage PI1)

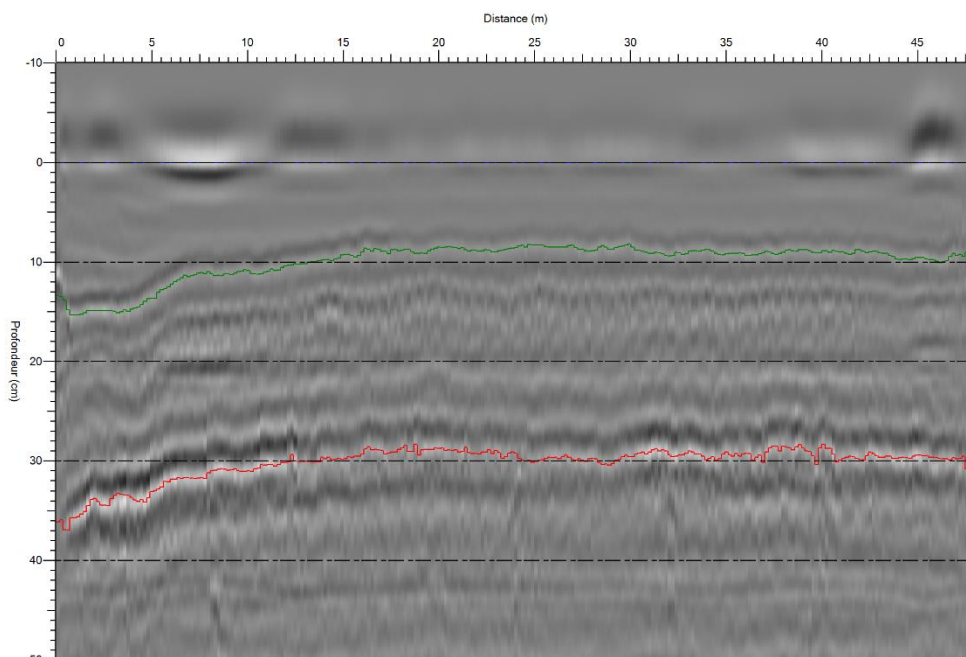


Figure 32 : Voie lente en direction de Sedan (ouvrage PI1), l'interface verte correspond à la base de l'enrobé, l'interface rouge correspond à la base de la dalle béton.

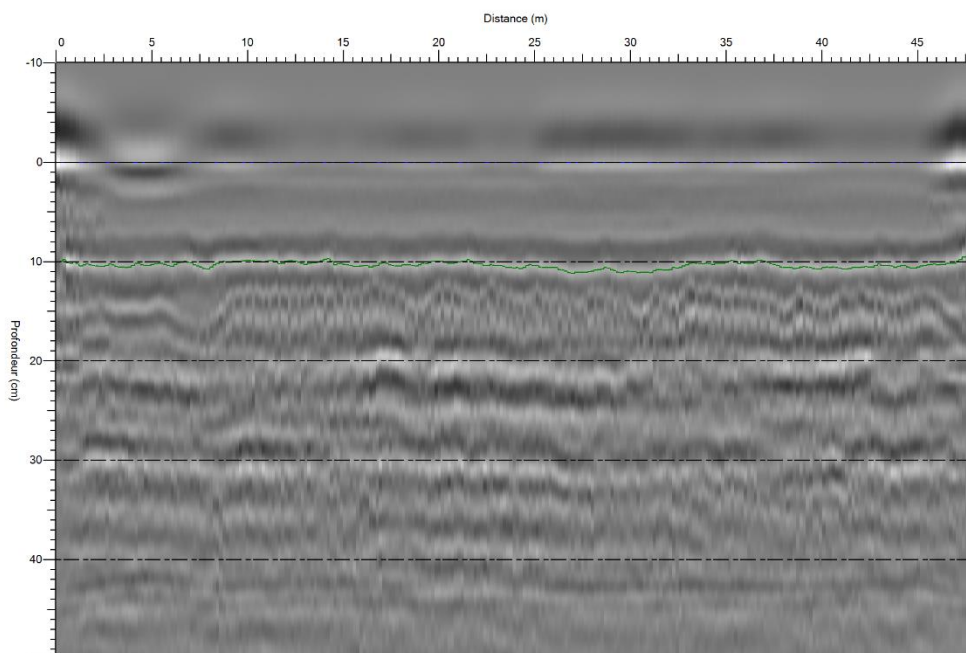


Figure 33 : Voie rapide en direction de Charleville-Mézières (ouvrage PI1)

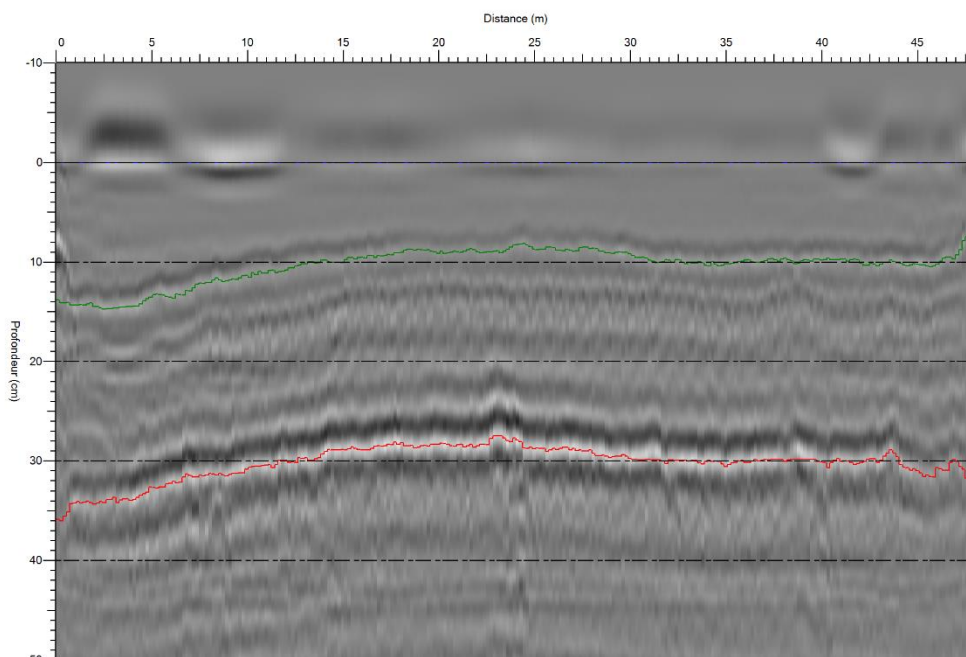


Figure 34 : Voie rapide en direction de Sedan (ouvrage PI1), l'interface verte correspond à la base de l'enrobé, l'interface rouge correspond à la base de la dalle béton.

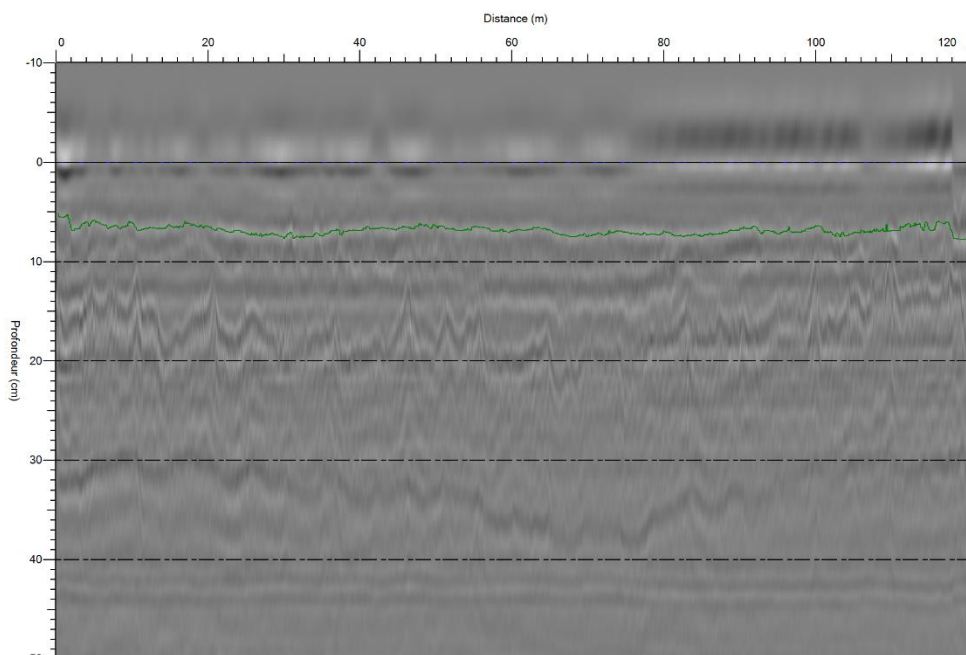


Figure 35 : Voie lente en direction de Charleville-Mézières (ouvrage PI2)

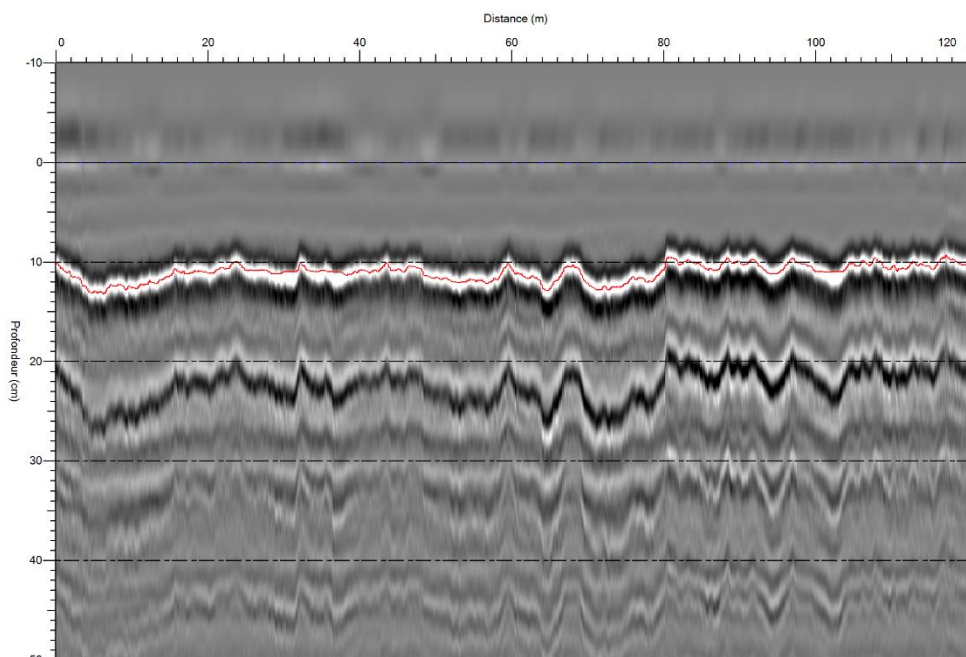


Figure 36 : Voie lente en direction de Sedan (ouvrage PI2), ici la base de l'enrobé est représentée par la limite rouge

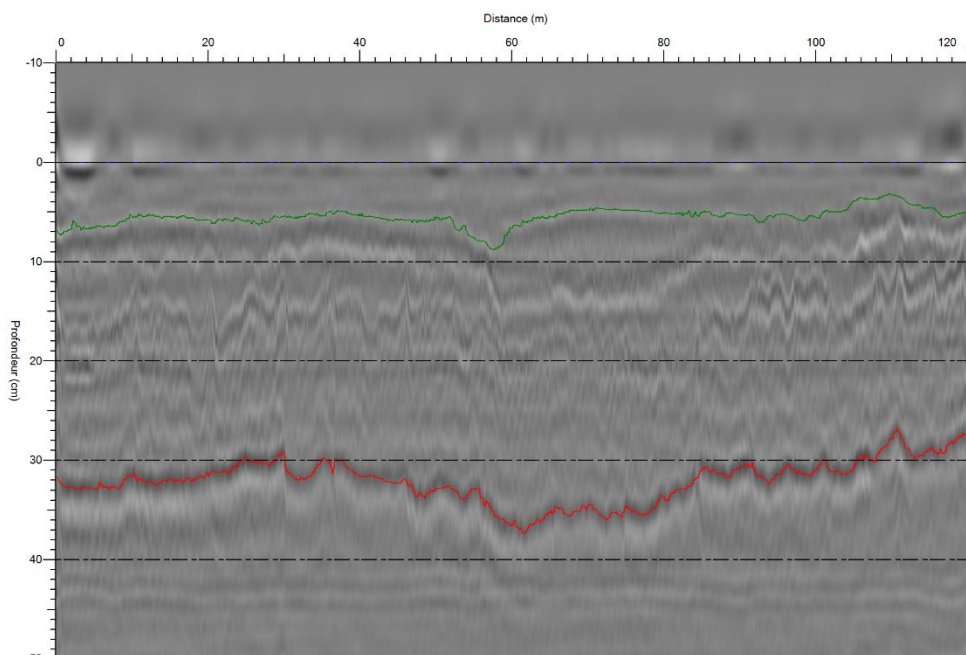


Figure 37 : Voie rapide en direction de Charleville-Mézières (ouvrage PI2), l'interface verte correspond à la base de l'enrobé, l'interface rouge correspond à la base de la dalle béton.

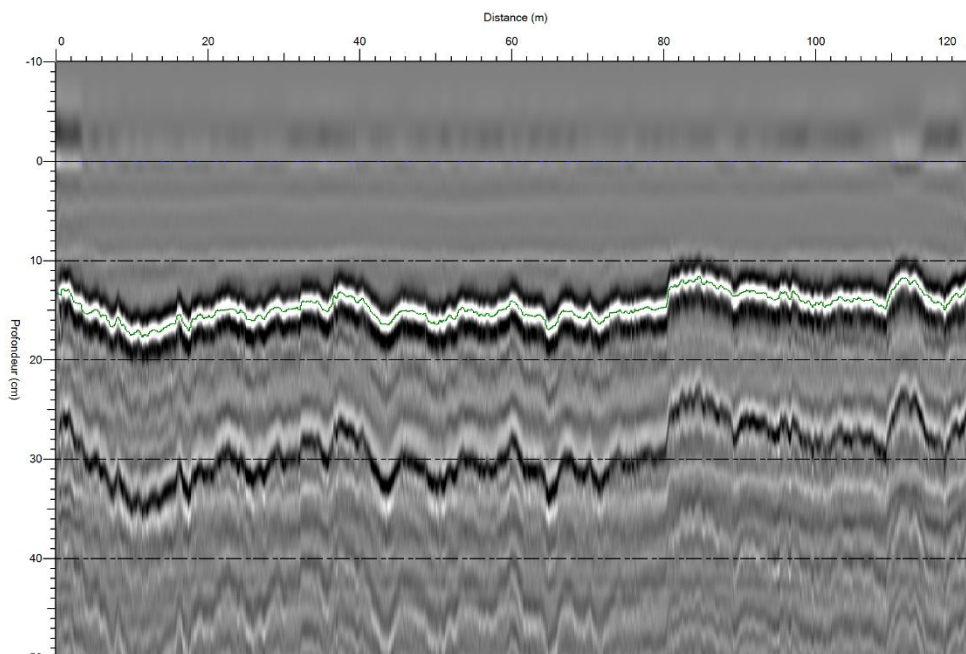


Figure 38 : Voie rapide en direction de Sedan(ouvrage PI2)

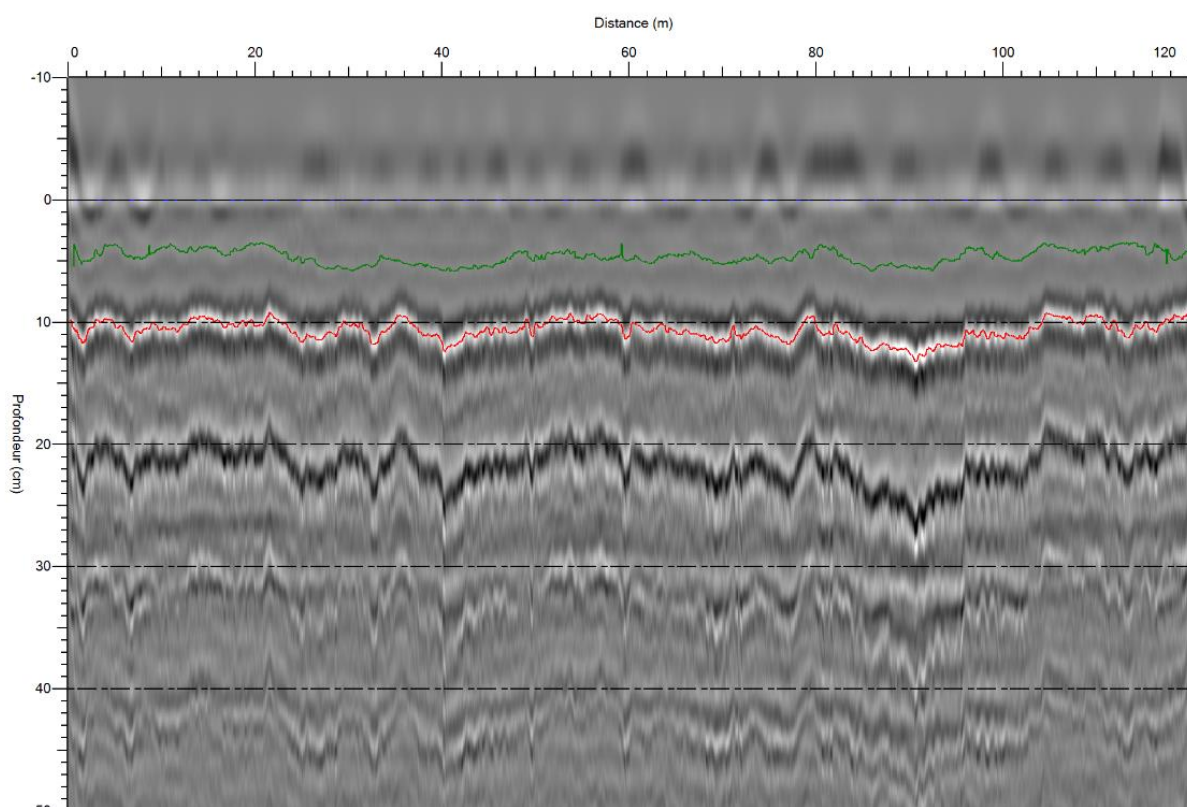


Figure 39 : Ouvrage RD34, l'interface verte correspond à la base de la deuxième couche d'enrobé, l'interface rouge correspond à la base de la première couche d'enrobé.

