

COMPTE RENDU D'ÉTUDE

CAZAUX (33) | BA120 Rénovation des aires aéronautiques

Inspection de chaussée Radar géophysique

Intervention les 28 et 29 juin 2023

CLIENT

ESID de Bordeaux

Date	Type	Numéro	Ind.	Page	Auteur	Contrôle	Validation
7/09/23	NTE	130-2023-011-01	A	25	Bois	Chappaz	Bois
20/10/23	NTE	130-2023-011-01	B	25	Bois	Chappaz	Bois
10/11/23	NTE	130-2023-011-01	C	25	Bois	Chappaz	Bois

ABO-INNOGEO SARL

Siège social : Savoie Technolac | 27, allée du lac d'Aiguebelette 73375 Le Bourget du lac
SARL au capital de 40 000 € | RCS Chambéry 508 761 079 00021 | APE 71.12B

Tél. : +33 (0)4 79 25 01 40 | Fax : +33 (0)4 79 62 51 04

info@innogeo.fr | www.innogeo.fr



SOMMAIRE

1. FICHE RÉCAPITULATIVE DE L'ÉTUDE.....	4
2. CONTEXTE.....	5
3. RÉALISATION DES MESURES	6
4. TRAITEMENT ET ANALYSE DES RÉSULTATS.....	7
4.1 Traitement des données	7
4.2 Résultats.....	8
5. CONCLUSION	26

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Vue aérienne de la zone d'étude.....	5
Figure 2 : Géoradar Matériel de mesure utilisé	6
Figure 3 : Visualisation de la zone d'étude en amplitude	8
Figure 4 : BRAVO - Variation de l'épaisseur de la couche de béton.....	9
Figure 5 : BRAVO - Variation de la profondeur de l'interface 2	10
Figure 6 : BRAVO - Rupture de l'interface 2	10
Figure 7 : BRAVO - Variation de la profondeur des anomalies géoradar	11
Figure 8 : BRAVO – Radargrammes et sondages S1 à S3	11
Figure 9 : BRAVO – Radargrammes et sondages S4 à S6	12
Figure 10 : VC/GB - Variation de l'épaisseur de la couche d'enrobé	13
Figure 11 : VC/GB - Variation de profondeur de l'interface entre la couche de forme et le terrain naturel.....	14
Figure 12 : VC/GB - Variation de la profondeur de l'interface 2	14
Figure 13 : VC/GB - Variation de la profondeur des anomalies géoradar	15
Figure 14 : VC/GB – Radargrammes et sondages S7 et S8	15
Figure 15 : SEUIL 6 - Variation de la limite entre les deux couches de béton	16
Figure 16 : SEUIL 6 - Variation de la profondeur de l'interface 2	17
Figure 17 : SEUIL 6 - Variation de la profondeur des anomalies géoradar.....	18
Figure 18 : SEUIL 6 – Radargrammes et sondages S15 à S17	18
Figure 19 : VC GEP - Variation de l'épaisseur de la couche d'enrobé	19
Figure 20 : VC GEP - Variation de profondeur de l'interface 1.....	20
Figure 21 : VC GEP - Variation de la profondeur de l'interface 2	21
Figure 22 : VC GEP - Variation de la profondeur des anomalies géoradar.....	22
Figure 23 : VC GEP – Radargrammes et sondages S9.....	22
Figure 24 : VC F - Variation de profondeur de l'interface 1	23
Figure 25 : VC F - Variation de la profondeur de l'interface 2.....	24
Figure 26 : VC F - Variation de la profondeur des anomalies géoradar	24
Figure 27 : VC F – Radargrammes et sondages S11 à S14	25

ANNEXE

ANNEXE 1 : PRINCIPE DU RADAR GÉOPHYSIQUE	28
--	----

PIÈCE JOINTE

Fichier topographique sous format informatique intitulé « export_BA120.dxf »

+

1. FICHE RÉCAPITULATIVE DE L'ÉTUDE

Nom de l'étude	CAZAUX (33) BA120 Rénovation des aires aéronautiques
Référence ABO-INNOGEO	NTE 130-2023-011-01A
Offre	2023-130-010-01 indice B en date du 29/02/2023
Projet	130-2023-011
Client	ESID de Bordeaux
Référence marché / commande	Ordre de service daté du 16/06/2023

Dates d'intervention	Les 28 et 29 juin 2023		
Site	BA120		
Objectifs	Localiser les interfaces des structures de chaussée et les éventuelles zones d'anomalies géologiques sous-jacentes.		
Chef de projet	Julien Bois	Chargé d'étude	Julien Bois
Méthode mise en œuvre	Radar Géophysique : système 3D radar, associée à un réseau d'antennes multifréquences.		
Programme réalisé (Quantité, matériel, ...)	Cartographie radar sur une longueur de 37 632 ml environ.		
Commentaires	Les mesures n'ont pu être réalisées intégralement au niveau de VC D car la réception GPS était très mauvaise.		

Résultats	<p>Les mesures géoradar ont permis de mettre en évidence les différentes structures de chaussée (enrobé, béton, couche de forme) en les associant à leurs profondeurs au niveau de différentes zones. Ces interfaces recoupent les résultats des sondages carottés.</p> <p>Elles ont permis également de localiser des interfaces et anomalies au sein du terrain naturel.</p>
-----------	--

2. CONTEXTE

ABO-INNOGEO a réalisé, les 28 et 29 juin 2023 pour le compte de l'ESID de Bordeaux une campagne de reconnaissance géophysique par la méthode radar au droit des aires aéronautiques de la BA120 sur la commune de Cazaux (33).

L'objectif de la reconnaissance géophysique est de localiser les interfaces des structures de chaussée et les éventuelles zones d'anomalies géologiques sous-jacentes.

La prestation d'ABO-INNOGEO est une prestation d'investigation géophysique (ex G0) sans réalisation de missions géotechniques normalisées selon la norme NFP 94500 révisée en 2013.



Figure 1 : Vue aérienne de la zone d'étude

3. RÉALISATION DES MESURES

L'équipe de mesure était composée d'un opérateur géophysicien et d'un aide.

Les mesures radar ont été effectuées à l'aide d'une unité d'acquisition 3D Radar équipée d'un réseau d'antennes DXG1820 multifréquences et d'un GPS Trimble R4S centimétrique pour le positionnement des profils. Cette antenne permet d'acquérir en un passage les données sur une largeur de terrain de 1,40 m.

Ces mesures ont pour but d'avoir une vision en profondeur des structures de chaussée et de détecter les éventuelles anomalies sous-jacentes.

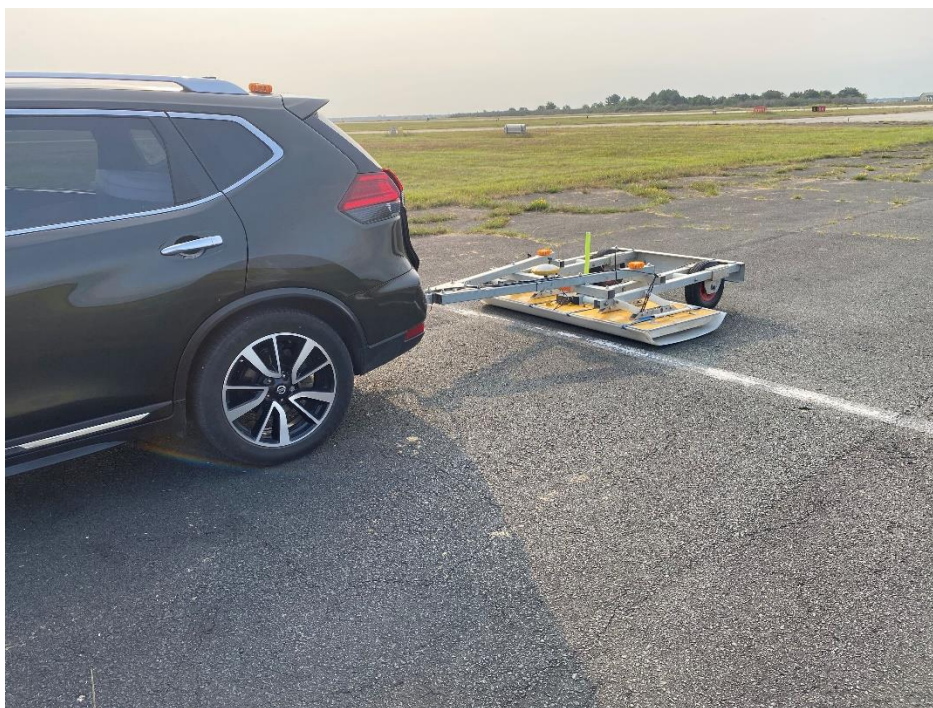


Figure 2 : Géoradar | Matériel de mesure utilisé

Le principe du radar est présenté en annexe 1.

4. TRAITEMENT ET ANALYSE DES RÉSULTATS

4.1 Traitement des données

Un pré-traitement des mesures radar est effectué directement sur site, ce qui permet de vérifier la qualité des mesures et de les interpréter en direct.

Le traitement définitif des mesures a été effectué ensuite en bureau d'études à l'aide du logiciel Examiner 3D-Radar[®] suivant les étapes :

- » Recalage du temps zéro ;
- » Filtrage des mesures ;
- » Estimation de la vitesse de propagation moyenne des ondes dans le sol (Epsilon de 6 dans le béton et 12 dans le terrain naturel) ;
- » Correction de l'atténuation avec la profondeur ;
- » Migration des mesures.

Les profils géoradar sont traités à l'aide du logiciel Examiner 3D-Radar[®] afin d'obtenir un cube 3D des données. Un traitement en amplitude est d'abord réalisé afin de visualiser les plus grosses anomalies. Ensuite chaque profil est analysé individuellement afin de tracer les différentes interfaces de chaussée et de détecter les anomalies plus ponctuelles pouvant correspondre à des zones hétérogènes.

Il est à noter que le pointé des interfaces s'est fait avec un traitement prenant en compte un Epsilon de 12. Afin de caler les profondeurs des structures de chaussée, un second traitement est appliqué avec un Epsilon de 6. Dans ce rapport sont présentés les radargrammes traités avec un Epsilon 6, qui permet de confirmer la profondeur des interfaces avec les résultats des forages. Cependant cela décale visuellement le pointé des couches géologiques. De plus les forages qui ne se situent pas au niveau des passages du géoradar sont décalés pour figurer sur les mesures et sont renommés en point bis (exemple pour S1 qui est recalé sur les mesures en S1bis). Ce décalage des points de forages peut entraîner un léger écart de profondeur entre l'interface pointé et l'interface mesuré sur la carotte.

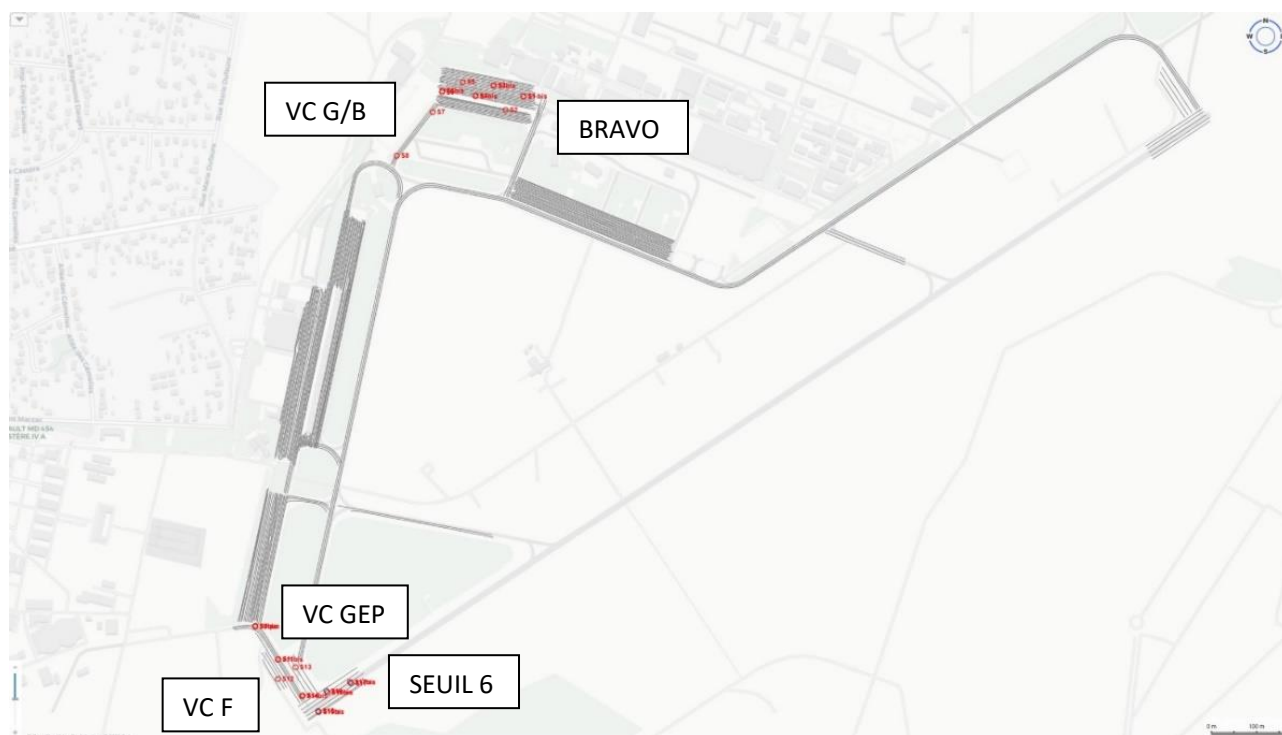


Figure 3 : Visualisation de la zone d'étude en amplitude

L'ensemble de ces marqueurs (interfaces et anomalies sur les radargrammes) est exporté au format Autocad® (export_BA120.dxf) en coordonnées Lambert. Ce fichier ainsi que l'ensemble des figures de ce rapport sont fournis en annexe informatique de ce rapport.

4.2 Résultats

La profondeur d'auscultation est de 3,50 m au maximum sur la zone d'étude. Les profondeurs données sont estimatives et elles peuvent être un peu différentes en réalité.

Nous rappelons que les éléments plus profonds que la profondeur d'auscultation ne peuvent pas être détectés.

Les éléments notables sont répertoriés pour chacune des zones.

Zone BRAVO

Au niveau de la zone Bravo, la structure de chaussée est composée d'une couche de béton d'environ 28 cm en moyenne. Cette couche est repérée au niveau des sondages S1 à S6. Sur les radargrammes cette couche est identifiée en tant qu'interface 1 (limite entre le béton et le terrain naturel). Celle-ci est moins épaisse au centre de la zone et plus épaisse au Nord et à l'extrémité Est.

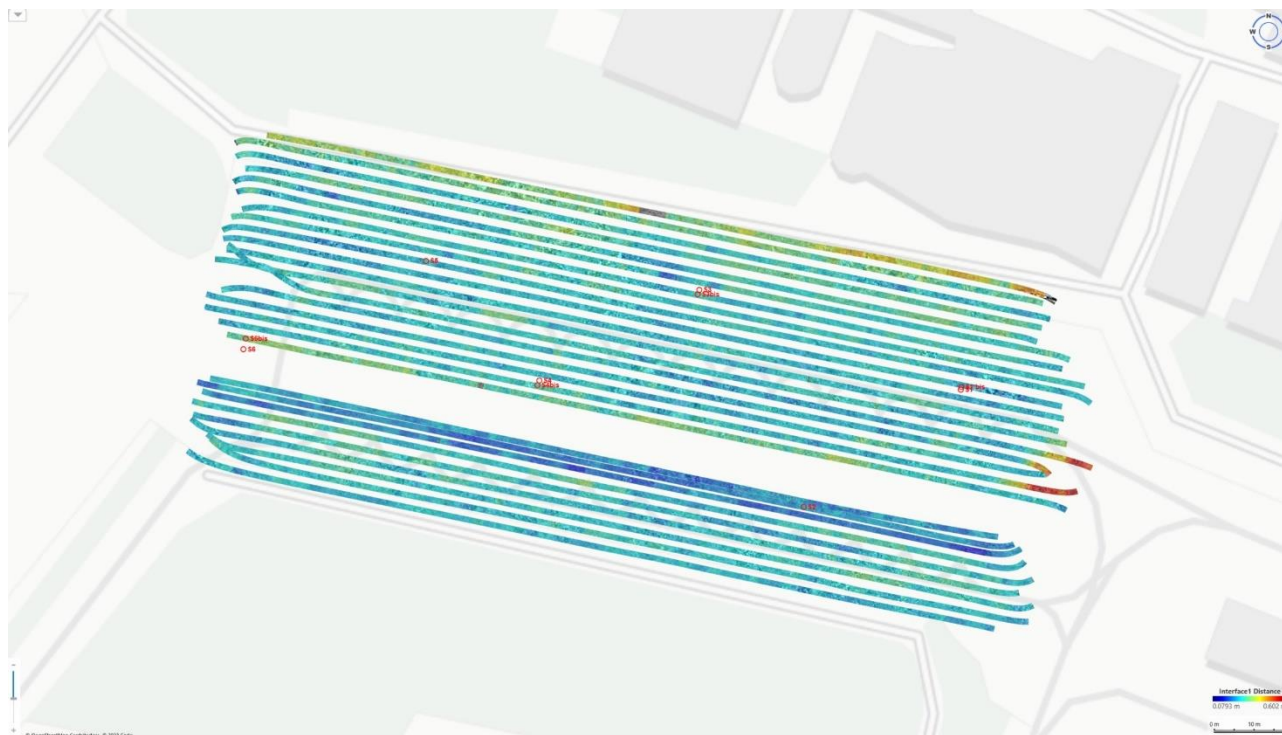


Figure 4 : BRAVO - Variation de l'épaisseur de la couche de béton

L'interface 2 représente une transition dans la couche de sable (caractérisations physiques différentes), que l'on rencontre jusqu'à une profondeur de 0.8 m environ.

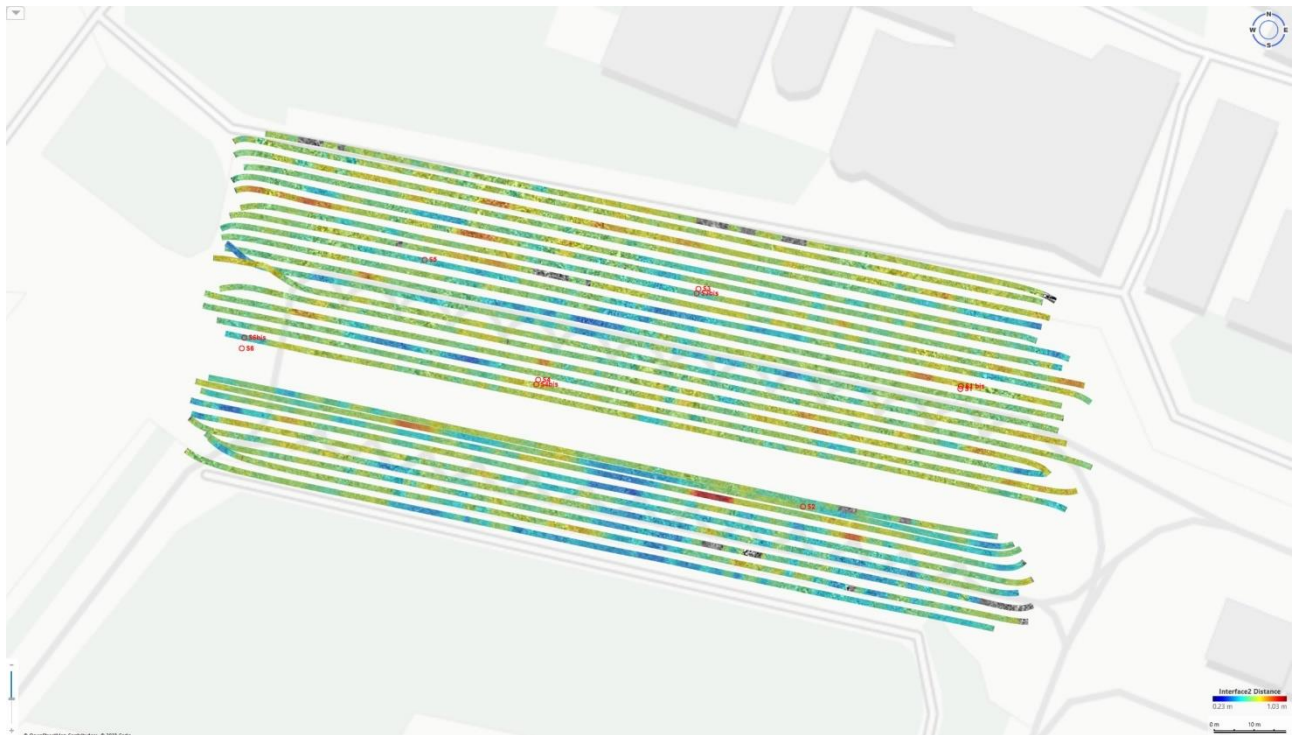


Figure 5 : BRAVO - Variation de la profondeur de l'interface 2

Il est à noter que cette interface présente une rupture visible sur deux profils au niveau du Sud-Est de la zone pouvant correspondre à une zone ponctuelle de changement ou d'accident géologique.

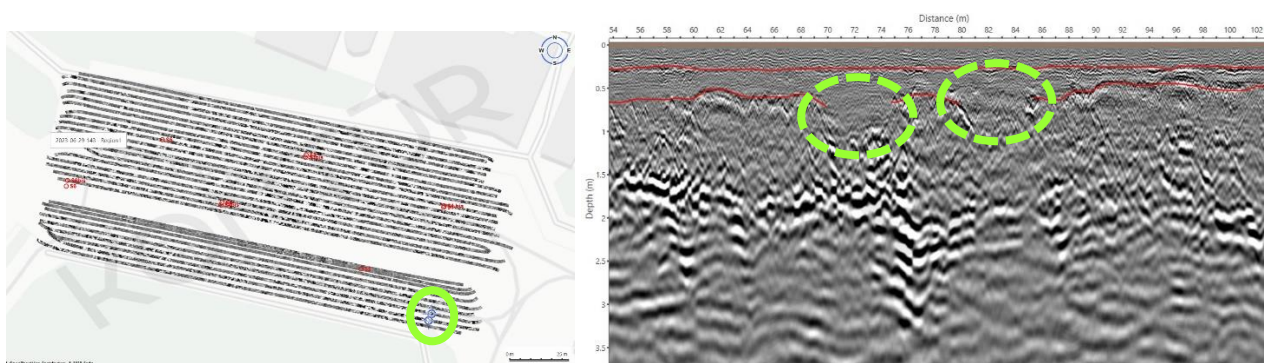


Figure 6 : BRAVO - Rupture de l'interface 2

Les « anomalies » géoradar sous-jacentes représentent des discontinuités géologiques, pouvant être rencontrées jusqu'à une profondeur de 3,3 m environ. Ces « anomalies » sont ponctuelles et de faibles étendues.

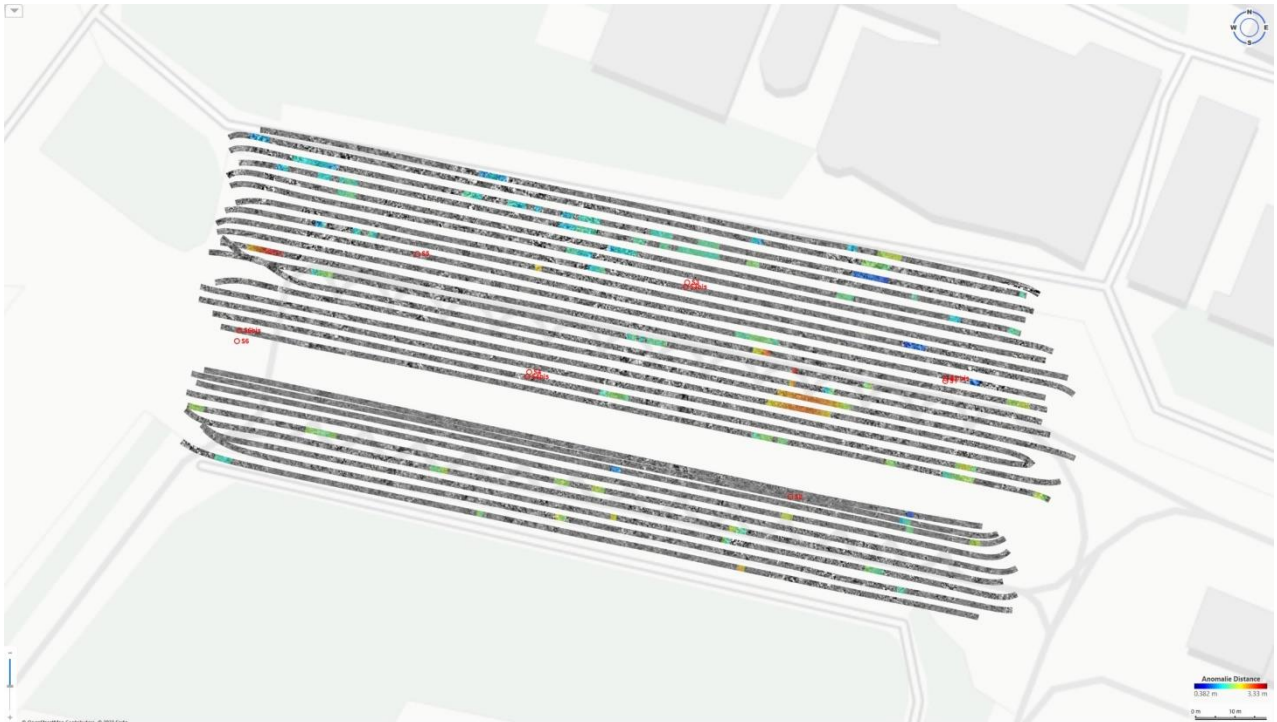


Figure 7 : BRAVO - Variation de la profondeur des anomalies géoradar

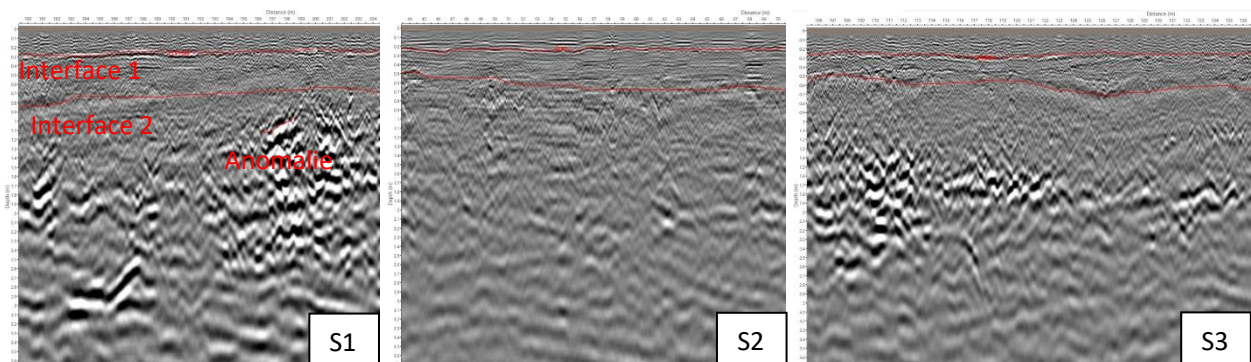


Figure 8 : BRAVO – Radargrammes et sondages S1 à S3

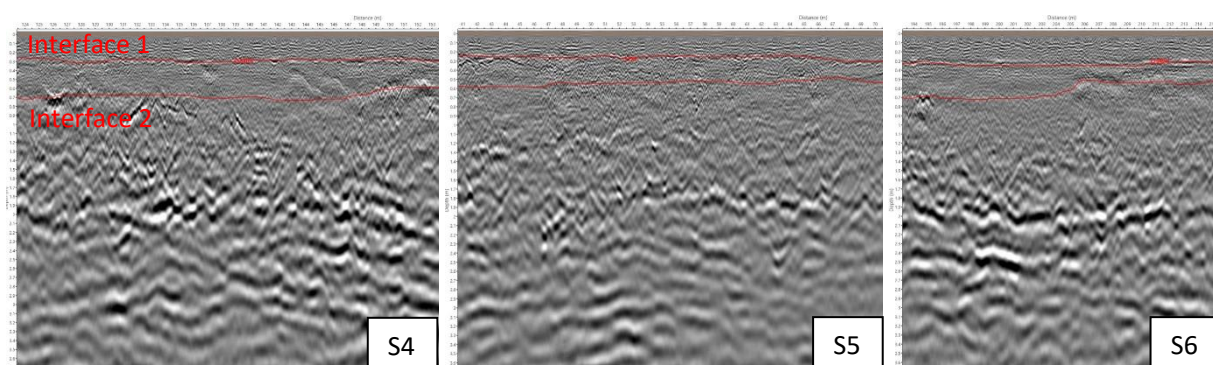


Figure 9 : BRAVO – Radargrammes et sondages S4 à S6

Les variations de ces différentes couches au niveau de la zone BRAVO sont présentées dans le tableau suivant :

Couche	Profondeur minimum	Profondeur maximum	Profondeur moyenne
Interface 1	0.17 m	0.59 m	0.28 m
Interface 2	0.40 m	0.87 m	0.63 m
Anomalies géoradar	0.86 m	3.33 m	1.82 m

Tableau 1 : BRAVO - Variation des profondeurs des couches

Zone VC/GB

Au niveau de la zone VC/GB, la structure de chaussée est composée d'une couche d'enrobé d'environ 7 cm en moyenne. Cette couche est repérée au niveau des sondages S7 et S8. Sur les radargrammes cette couche est identifiée en tant qu'interface 0 (limite entre l'enrobé et la couche de forme). Il y a très peu de variation d'épaisseur de cette couche.



Figure 10 : VC/GB - Variation de l'épaisseur de la couche d'enrobé

L'interface 1 représente la base de la couche de forme sous l'enrobé qui varie entre 20 cm et 60 cm de profondeur environ.

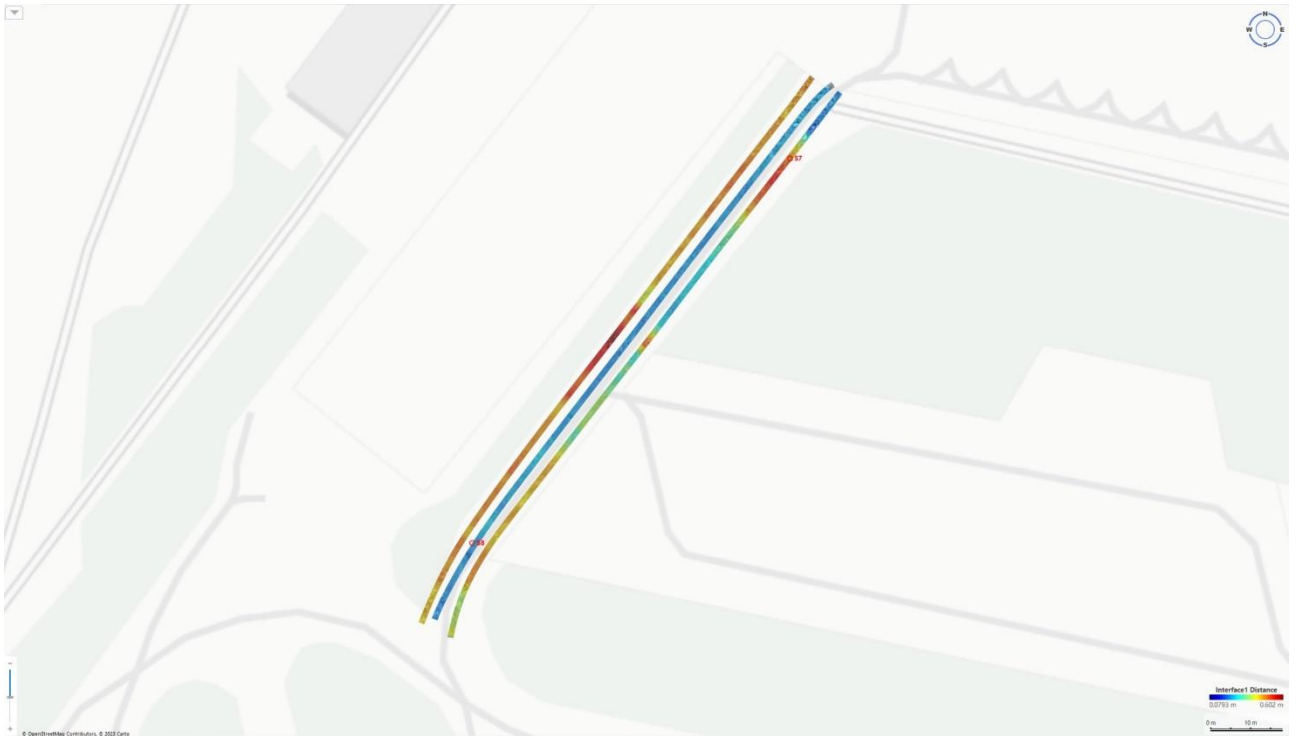


Figure 11 : VC/GB - Variation de profondeur de l'interface entre la couche de forme et le terrain naturel

L'interface 2 représente une transition dans la couche de sable (caractérisations physiques différentes), que l'on rencontre jusqu'à une profondeur de 0,8 m environ.

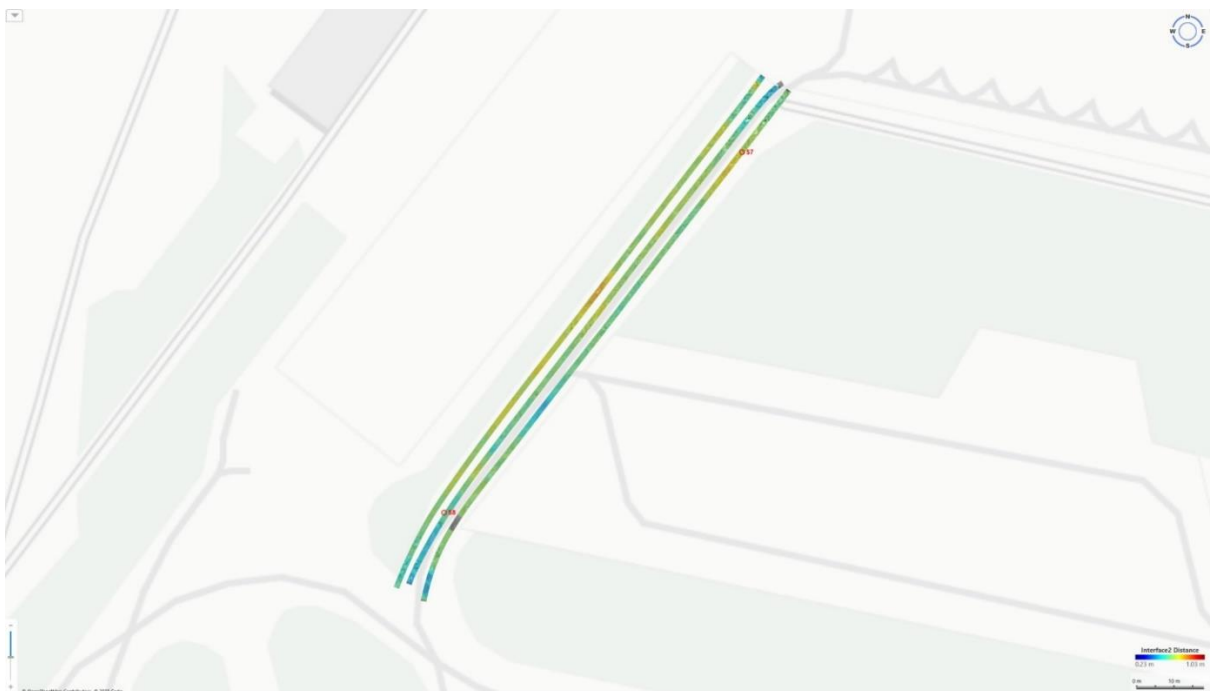


Figure 12 : VC/GB - Variation de la profondeur de l'interface 2

Les « anomalies » géoradar sous-jacentes représentent des discontinuités géologiques ponctuelles et de faibles étendues, pouvant être rencontrées jusqu'à une profondeur de 2 m environ.

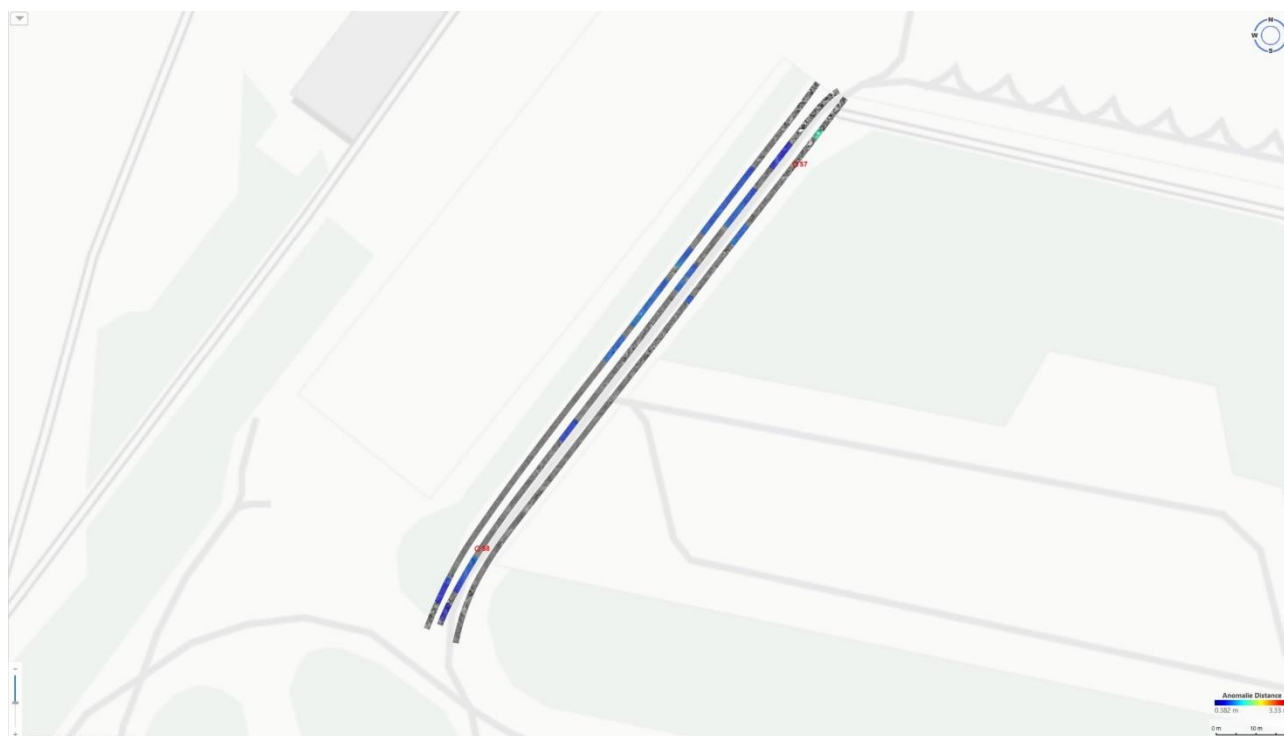


Figure 13 : VC/GB - Variation de la profondeur des anomalies géoradar

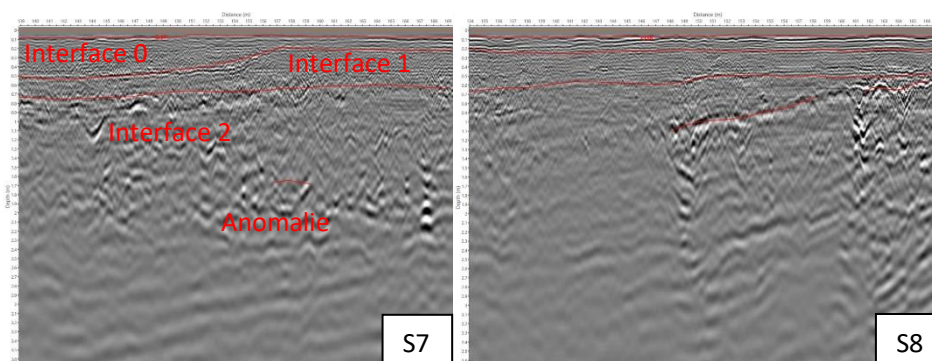


Figure 14 : VC/GB – Radargrammes et sondages S7 et S8

Les variations de ces différentes couches au niveau de la zone VC/GB sont présentées dans le tableau suivant :

Couche	Profondeur minimum	Profondeur maximum	Profondeur moyenne
Interface 0	0.04 m	0.12 m	0.07 m
Interface 1	0.20 m	0.60 m	0.36 m
Interface 2	0.46 m	0.79 m	0.64 m

Tableau 2 : VC/GB - Variation des profondeurs des couches

Zone SEUIL 6

Au niveau de la zone SEUIL 6, la structure de chaussée est composée d'une couche de béton d'environ 50 cm scindée en deux reposant sur une ancienne couche d'enrobé et de sable traité. Cette couche est repérée au niveau des sondages S15 à S17. Sur les radargrammes la limite entre les deux couches de béton (interface décollée) est identifiée en tant qu'interface 1. Celle-ci est homogène sur la zone et oscille entre 11 cm et 29 cm. La limite entre le béton et l'ancien enrobé n'est pas détectable sur les radargrammes car l'interface est collée et leurs caractéristiques physiques sont trop proches.



Figure 15 : SEUIL 6 - Variation de la limite entre les deux couches de béton

L'interface 2 représente la limite entre l'ancien enrobé et le sable traité sous-jacent, que l'on rencontre entre 46 cm et 78 cm de profondeur environ. La profondeur de cette limite est assez homogène sur la zone. La limite entre la couche de forme et le terrain naturel n'est pas détectable sur les radargrammes car leurs caractéristiques physiques sont trop proches.



Figure 16 : SEUIL 6 - Variation de la profondeur de l'interface 2

Les « anomalies » géoradar sous-jacentes représentent des discontinuités géologiques ponctuelles et de faibles étendues, pouvant être rencontrées jusqu'à une profondeur de 1 m environ.



Figure 17 : SEUIL 6 - Variation de la profondeur des anomalies géoradar

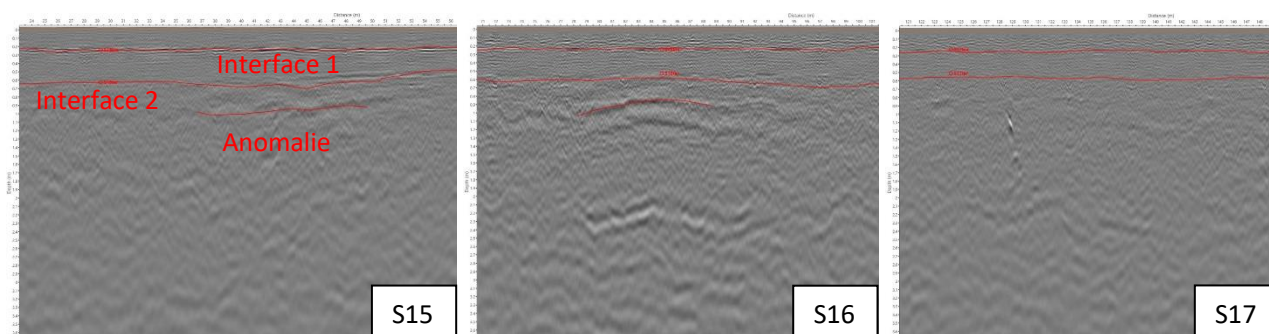


Figure 18 : SEUIL 6 – Radargrammes et sondages S15 à S17

Les variations de ces différentes couches au niveau de la zone SEUIL 6 sont présentées dans le tableau suivant :

Couche	Profondeur minimum	Profondeur maximum	Profondeur moyenne
Interface 1	0.11 m	0.29 m	0.24 m
Interface 2	0.46 m	0.78 m	0.62 m
Anomalies géoradar	0.69 m	2.39 m	1.03 m

Tableau 3 : SEUIL 6 - Variation des profondeurs des couches

Zone VC GEP

Au niveau de la zone VC GEP, la structure de chaussée est composée d'une couche d'enrobé d'environ 5 cm en moyenne surmontant une couche de béton.

La couche d'enrobée est repérée au niveau du sondage S9. Sur les radargrammes la couche d'enrobée est identifiée en tant qu'interface 0 (limite entre l'enrobé et le béton). Il y a très peu de variation d'épaisseur de cette couche.

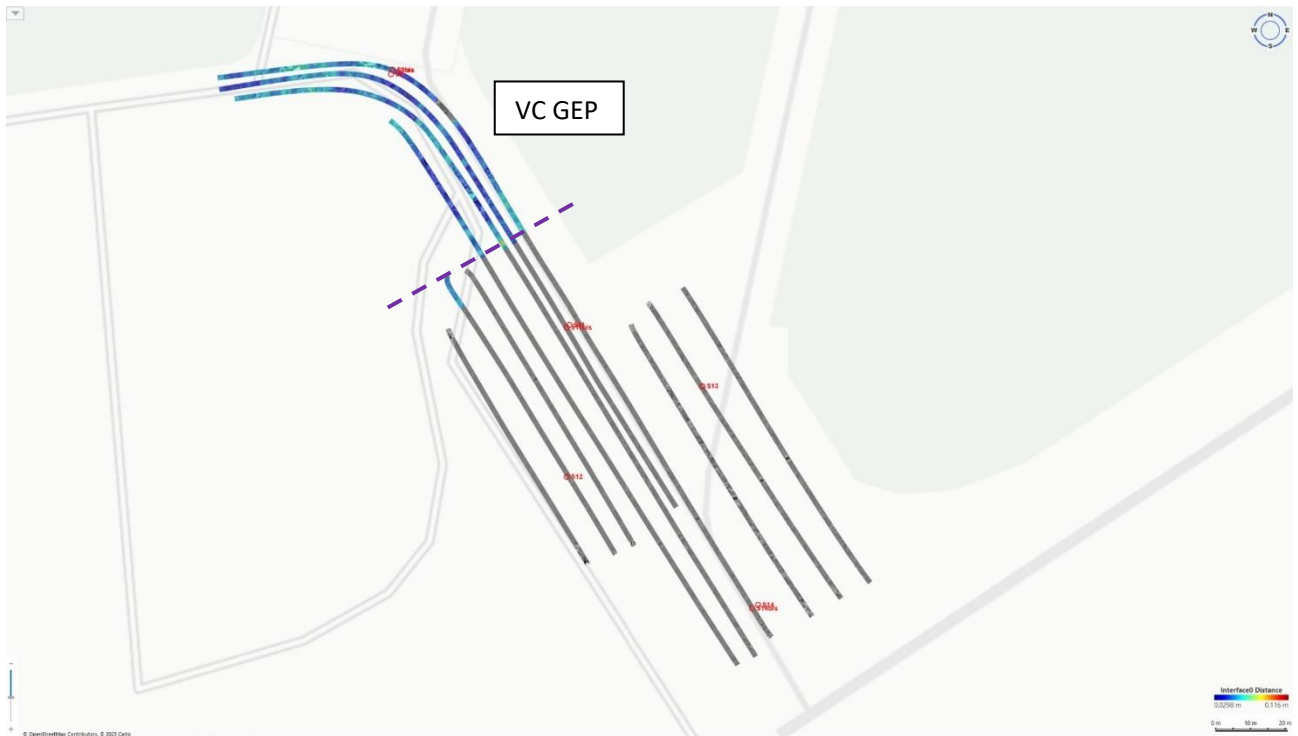


Figure 19 : VC GEP - Variation de l'épaisseur de la couche d'enrobé

L'interface 1 au niveau de la zone VC GEP représente la sous-face de la couche de béton non déstructurée (à 14 cm comme observé sur S9). La profondeur de cette interface est assez homogène sur la zone.

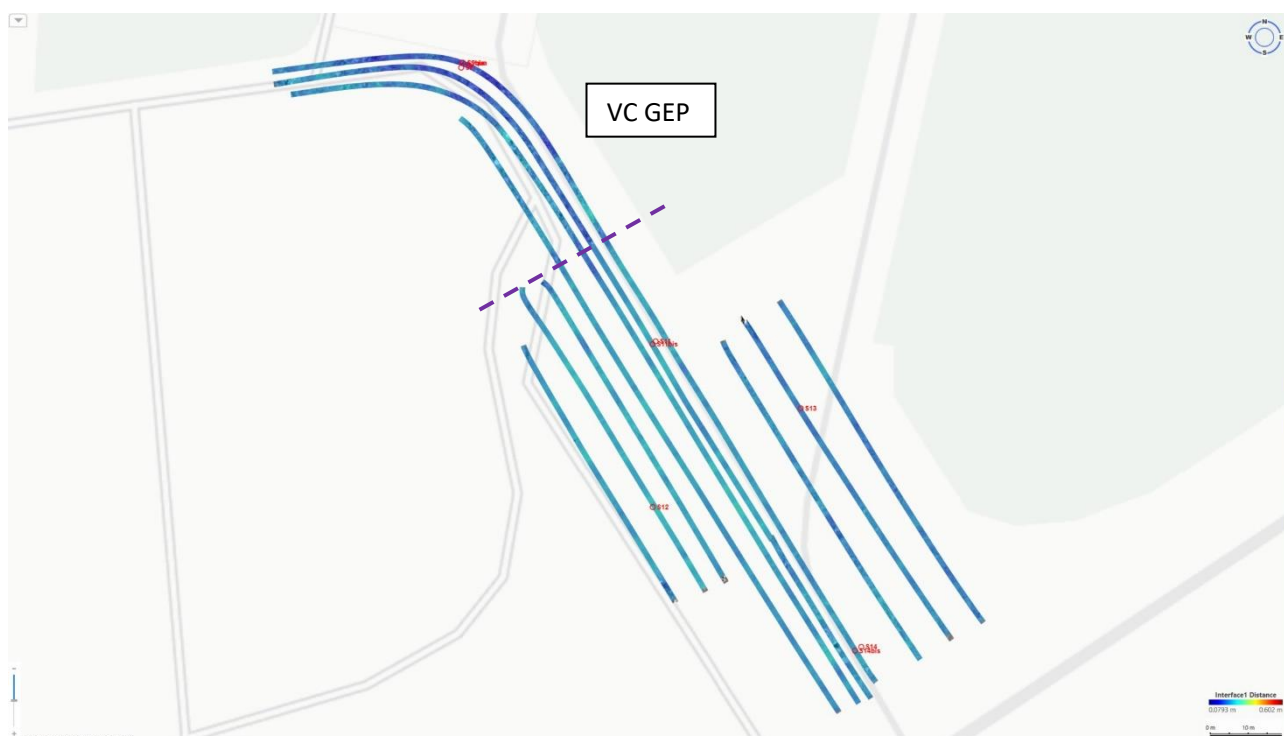


Figure 20 : VC GEP - Variation de profondeur de l'interface 1

L'interface 2 au niveau de la zone VC GEP représente la limite entre le béton et la couche de forme (la couche de forme étant très déstructurée on ne voit pas la limite avec le terrain naturel), que l'on rencontre entre 14 cm et 20 cm environ de profondeur.

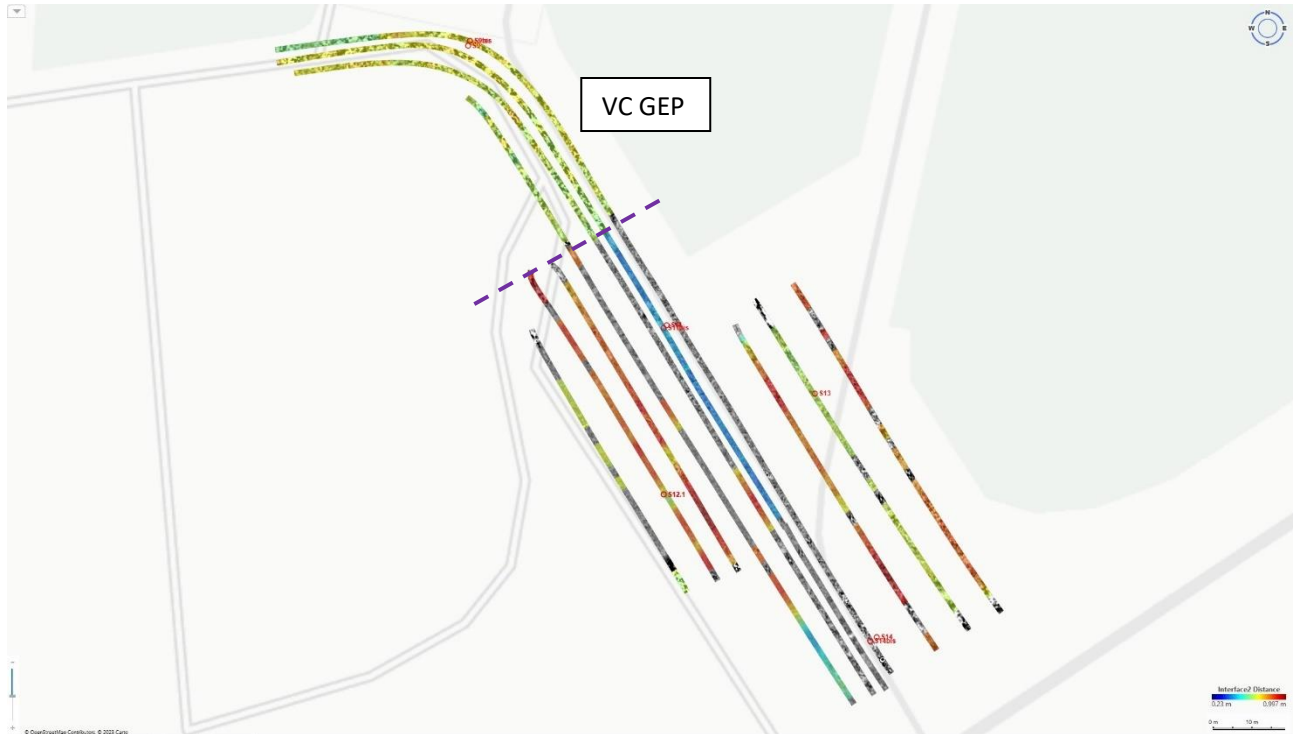


Figure 21 : VC GEP - Variation de la profondeur de l'interface 2

Les « anomalies » géoradar sous-jacentes représentent des discontinuités géologiques ponctuelles et de faibles étendues, rencontrées jusqu'à une profondeur de 2,2 m environ.

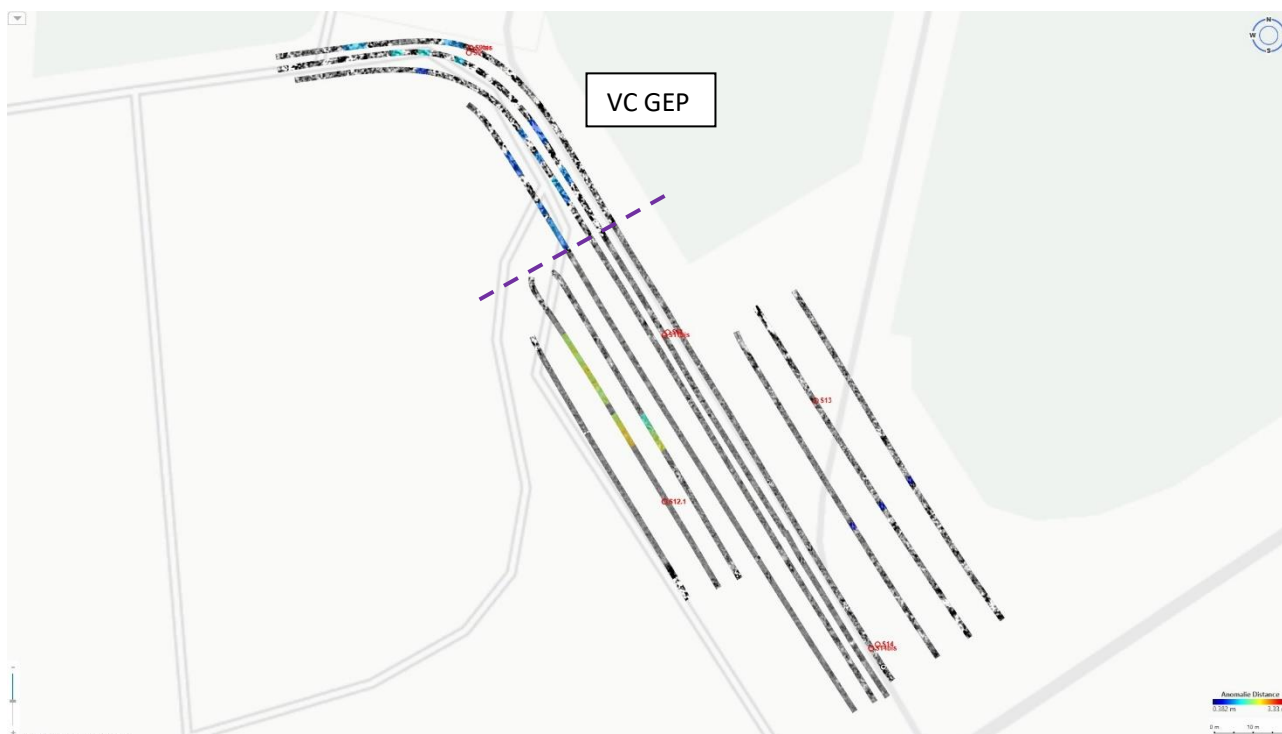


Figure 22 : VC GEP - Variation de la profondeur des anomalies géoradar

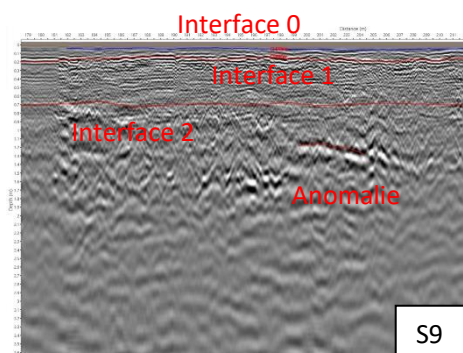


Figure 23 : VC GEP – Radargrammes et sondages S9

Les variations de ces différentes couches au niveau des zones VC GEP/VC F (indissociables pour le calcul) sont présentées dans le tableau suivant :

Couche	Profondeur minimum	Profondeur maximum	Profondeur moyenne
Interface 0	0.03 m	0.08 m	0.05 m
Interface 1	0.14 m	0.29 m	0.23 m
Interface 2	0.53 m	1.03 m	0.73 m
Anomalies géoradar	0.61 m	2.22 m	1.23 m

Tableau 3 : VC GEP/VC F - Variation des profondeurs des couches

Zone VC F

Au niveau de la zone VC F, la structure de chaussée est composée juste de deux couches de béton surmontant des sols traités au liant hydraulique.

La couche de béton est repérée au niveau des sondages S11 à S14.

L'interface 1 au niveau de la zone VC F représente la limite entre les deux couches de béton vers environ 24 cm de profondeur. La profondeur de cette interface est assez homogène sur la zone.



Figure 24 : VC F - Variation de profondeur de l'interface 1

L'interface 2 au niveau de la zone VC F représente la limite entre la couche de forme (matériaux traités au liant hydraulique) et le terrain naturel. On rencontre cette interface entre 60 cm et 80 cm environ de profondeur. Il est à noter que cette limite n'est pas visible sur toute la zone et que la profondeur est variable. Elle correspond soit à la transition entre la deuxième couche de béton et les sols traités, soit une rupture au sein de la couche traitée, soit la transition entre la couche traitée et le sol en place.

La détection n'est pas évidente et dépend de la qualité du « collage » entre les différentes couches et/ou l'intégrité de la couche de sol traité.

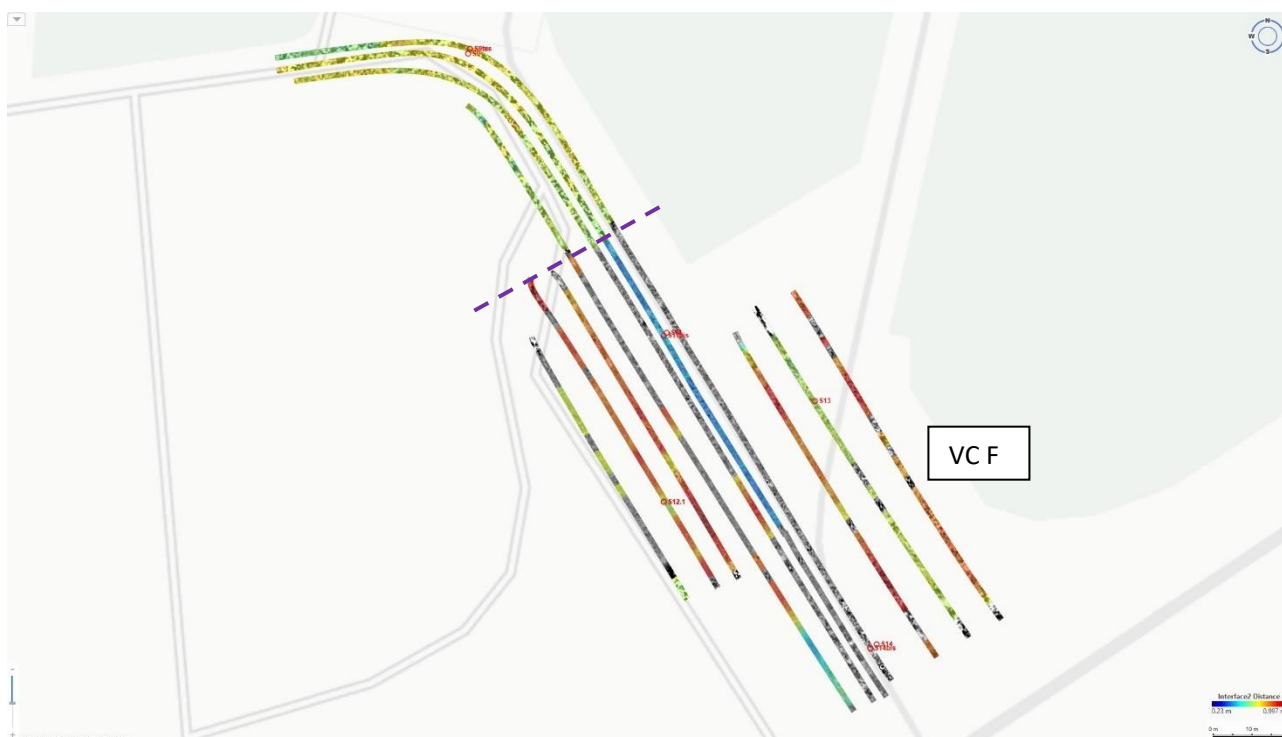


Figure 25 : VC F - Variation de la profondeur de l'interface 2

Les « anomalies » géoradar sous-jacentes représentent des discontinuités géologiques ponctuelles et de faibles étendues, rencontrées jusqu'à une profondeur de 2,2 m environ.

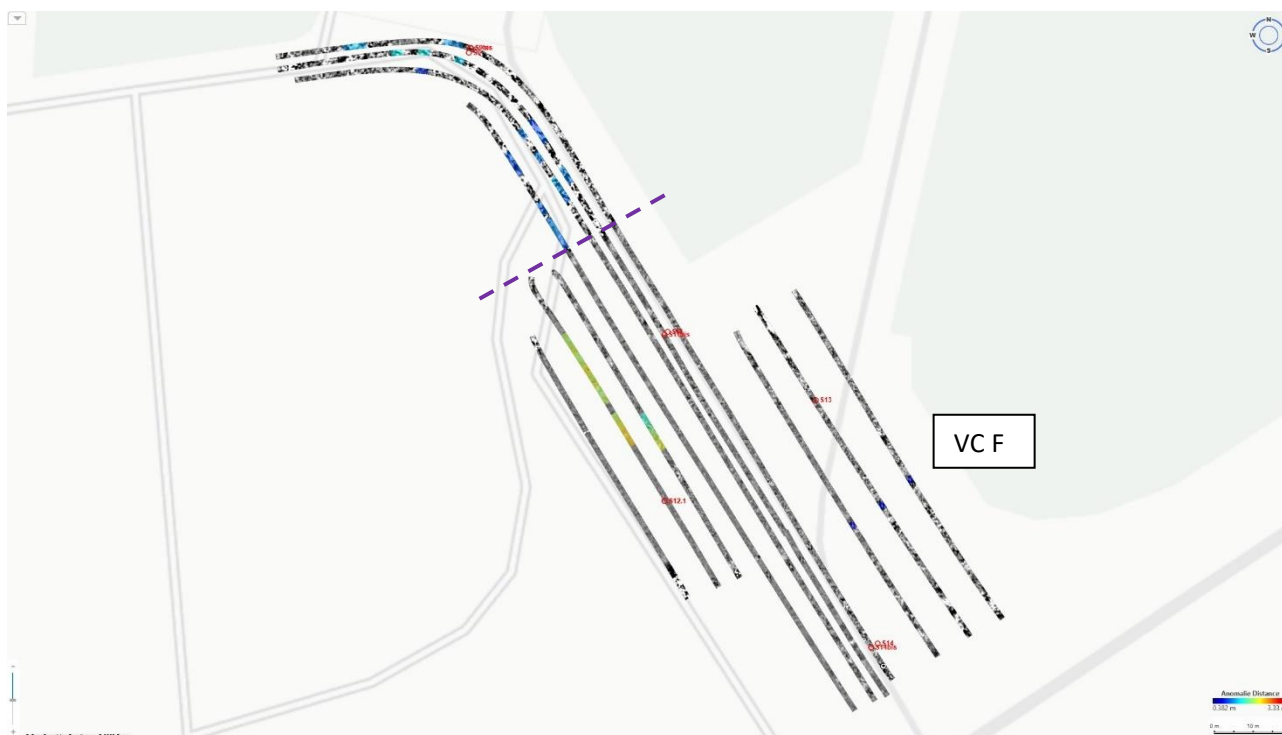


Figure 26 : VC F - Variation de la profondeur des anomalies géoradar

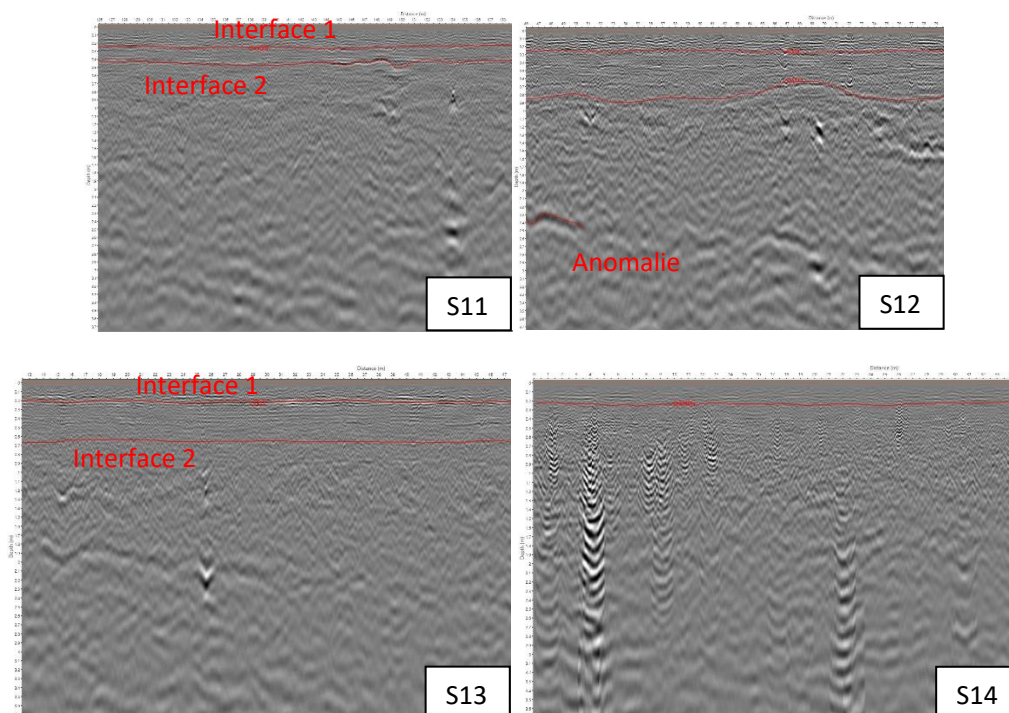


Figure 27 : VC F – Radargrammes et sondages S11 à S14

Les variations de ces différentes couches au niveau des zones VC GEP/VC F (indissociables pour le calcul) sont présentées dans le tableau suivant :

Couche	Profondeur minimum	Profondeur maximum	Profondeur moyenne
Interface 0	0.03 m	0.08 m	0.05 m
Interface 1	0.14 m	0.29 m	0.23 m
Interface 2	0.53 m	1.03 m	0.73 m
Anomalies géoradar	0.61 m	2.22 m	1.23 m

Tableau 4 : VC GEP/VC F - Variation des profondeurs des couches

Ces différentes catégories d'interfaces se retrouvent sur le fichier Autocad® synthétique fourni en annexe informatique et sont associées à leurs profondeurs respectives.

5. CONCLUSION

ABO-INNOGEO a réalisé, les 28 et 29 juin 2023 pour le compte de l'ESID de Bordeaux une campagne de reconnaissance géophysique par la méthode radar au droit des aires aéronautiques de la BA120 sur la commune de Cazaux (33).

Les mesures géoradar ont permis de mettre en évidence les différentes structures de chaussée (enrobé, béton, couche de forme) en les associant à leurs profondeurs au niveau de différentes zones. Ces interfaces recoupent les résultats des sondages carottés.

Elles ont permis également de localiser des interfaces et « anomalies » au sein du terrain naturel.

Il est à noter que dans ce rapport le terme « anomalie » fait référence à des marqueurs géophysiques plus ponctuels et plus marqués que des interfaces.

Ces variations peuvent être liées à la présence de sols plus ou moins indurés et/ou plus ou moins humide au regard de son environnement.

La distribution spatiale de ces zones est présentée sur l'annexe informatique.

La prestation d'ABO-INNOGEO est une prestation d'investigation géophysique (ex G0) sans réalisation de missions géotechniques normalisées selon la norme NFP 94500 révisée en 2013.

Avertissement : Les auscultations ou investigations mises en œuvre pour la présente étude ne se substituent pas aux autres auscultations ou investigations nécessaires à la solution du problème posé. En effet les techniques géophysiques présentent des limites liées aux principes physiques et procédés métrologiques mis en œuvre. Ceux-ci ne peuvent décrire de façon exhaustive et certaine les caractéristiques du sous-sol et des structures. Il peut subsister de ce fait une part d'incertitude et un facteur de risque découlant de l'éventualité de la présence d'anomalies non détectables à l'aide des techniques déployées ou d'une description imprécise et/ou incertaine d'une caractéristique ou d'une anomalie détectée.



ANNEXE

ANNEXE 1 : PRINCIPE DU RADAR GÉOPHYSIQUE

Synthèse méthode	
Principe technique	Mesure de la réflexion des ondes électromagnétiques dans le sol
Objectifs	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Détection des hétérogénéités géologiques ; ➤ Détection des éléments enterrés ;
Limitation	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Terrains électriquement conducteurs (argile) ; ➤ Présence d'éléments métalliques en surface ; ➤ Présence d'eau ;

Principe théorique

Le radar géologique est un outil d'auscultation du sous-sol et des structures qui utilise la réflectométrie d'impulsions électromagnétiques de fréquence radar. L'onde radar est émise et réceptionnée par une antenne de mesure déplacée sur le sol ou sur la structure à ausculter. Les réflexions sur les interfaces, les réseaux et les objets présents dans le terrain ausculté forment une image qui est visualisée sur l'écran de contrôle, au fur et à mesure du déplacement de l'antenne. Les utilisations les plus fréquentes du radar concernent la détection d'objets, de structures ou de défauts enfouis dans le sol, le béton ou la maçonnerie, la cartographie des réseaux souterrains de concessionnaires (eau, gaz, électricité, communication, assainissement, fluides divers ...).

- Recherche de cave, galerie, conduit, vide, carrière souterraine... ;
- Conduites visitables : auscultation du béton, de la maçonnerie, de l'extrados... ;
- Recherche de cuve, fût métallique, munitions... dans le cadre d'étude environnementale ;
- Recherche d'armatures dans le béton ;
- Auscultation des chaussées et des couches de forme (route, piste d'aviation, ballast ferroviaire, ...)
- Recherche d'anciennes fondations en béton ou maçonnerie, recherche archéologique...

Réalisation sur site

Les mesures sont réalisées en continu en déplaçant une antenne de mesure sur la zone à ausculter selon des profils parallèles régulièrement espacés.

La fréquence de l'antenne est adaptée aux objectifs de l'étude et, selon la fréquence, la profondeur d'acquisition peut aller de quelques dizaines de centimètres à plusieurs dizaines de mètres. Il est à noter que la profondeur réelle d'investigation peut dévier fortement de la profondeur théorique et est liée à la permittivité électrique des terrains en présence

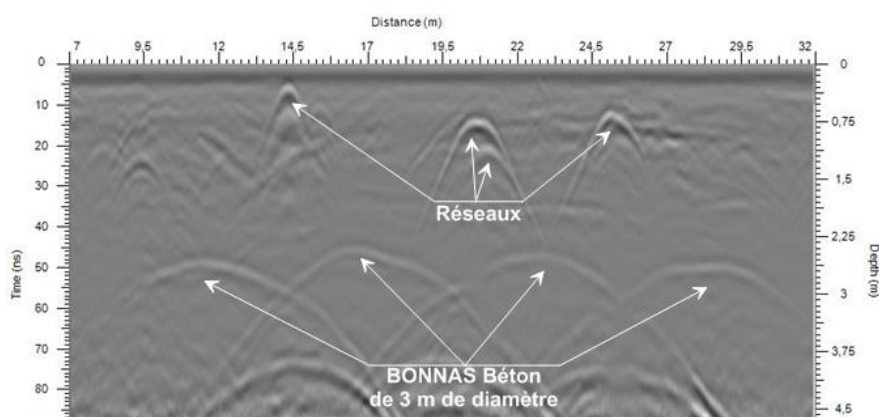
RADAR GEOPHYSIQUE | MISE EN ŒUVRE DES MESURES



Traitement et interprétation

Les données acquises sont traitées en bureau d'étude à l'aide de logiciels de traitement dédié permettant de filtrer et de corriger les mesures de terrain appelées radargrammes.

Les radargrammes traités sont ensuite interprétés sur la base des objectifs de l'étude et des données d'entrée (géologie, plan de réseau, ...). Les résultats sont présentés sous la forme de cartes de localisation des hétérogénéités détectées.



RADAR GEOPHYSIQUE | RADARGRAMME INTERPRETE



RADAR GEOPHYSIQUE | VISUALISATIONS 3D DES DONNEES RADAR