



L'Hôtel de Matignon, Du XVIIIe siècle à nos jours, La Documentation Française, 2018, Paris

57, RUE DE VARENNE - HÔTEL DE MATIGNON

Restauration de la glacière et assainissement de l'édifice voisin

PRO-DCE

D.1 - ETUDE RADAR GÉOPHYSIQUE

Maîtrise d'ouvrage :

Premier Ministre - Direction
des services administratifs
et financiers

Avril 2025

Maîtrise d'œuvre :

Eugène Architectes du Patrimoine - Charlotte
Hubert, Architecte en Chef des Monuments
Historiques, architecte mandataire
Equilibre Structure, bureau d'études
structure

OGI, bureau d'étude VRD

Cabinet Pilté, économistes de la construction

**Direction des services administratifs et financiers
du premier ministre**
20 avenue de Ségur
75007 Paris

RAPPORT D'ETUDE

Diagnostic géophysique de la glacière des jardins de l'hôtel de Matignon



36 rue de Babylone – Paris (75)

<u>Client</u>	<u>Direction des services administratifs et financiers du premier ministre</u>		
Mission	Diagnostic géophysique		
Lieu	Glacière des jardins de l'hôtel de Matignon		
Réf offre	DV23-550.A		
Réf commande	Numéro d'engagement 1512210658 du 20/10/2023		
Réf rapport	R23-0271.A		
Rédacteur	A. THERASSE	Vérificateur	T. SEVENET
Diffusion	Mme Julie Seyler	julie.seyler@pm.gouv.fr	

Responsable d'affaire

A. THERASSE

GEOPAT

3 rue Rouget de Lisle

13 200 ARLES

Tel : 06 27 49 69 72

a.therasse@geopat.pro

N° rapport	Indice	Date	Motif révision	Nb page	Nb annexes
R23-0271.A	A	22/12/2023	1ère émission	37	3

SOMMAIRE

1.Contexte et objectif de l'étude	4
2.Programme technique et localisation	4
2.1. Programme technique	4
2.2. Localisation des zones de mesures	5
2.3. Auscultation par géoradar	7
2.3.1. Principe de la méthode radar	7
2.3.2. Matériel de mesure	8
2.3.3. Traitement des résultats radar	8
2.4. Percements traversants	10
2.5. Exploration endoscopique	10
3.Résultats des investigations in situ	12
4.Conclusions	31
5.Annexes	33

1. Contexte et objectif de l'étude

GEOPAT est intervenu à la demande de Madame Seyler, cheffe de projet en conduite d'opération immobilières et pour le compte de la direction des services administratifs et financiers du premier ministre, au niveau de la glacière située dans les jardins de l'hôtel de Matignon à Paris (75).

L'objectif de l'étude est de réaliser, sur la base du cahier des charges rédigé par le bureau d'Etude Equilibre Structures, une reconnaissance structurelle des murs et des voûtes enterrés, du sol de la glacière et les dimensions d'une éventuelle cuve enterrée présente devant la glacière.

2. Programme technique et localisation

2.1. Programme technique

GEOPAT est intervenu du 21 au 22 novembre 2023 pour réaliser les investigations sur site.

Le programme technique est décrit ci-dessous :

- Auscultation par géoradar (antenne 900 Mhz) des murs de la glacière ;
- Auscultation par géoradar (antenne 350 Mhz intégrant la technologie hyperstacking) des sols ;
- Test et réglages des paramètres radar ;
- Profils régulièrement espacés de 20 cm au niveau des murs et de 50 cm, dans les deux directions, pour caractérisation des terrains ;
- Recherche d'anomalie.
- Réalisation de trois percements dans la maçonnerie de la voûte ;
- Vidéo endoscopie de l'intérieur des trois percements ;
- Fouille manuelle dans le talus afin d'identifier l'épaisseur et de vérifier la présence d'un système d'étanchéité.

2.2. Localisation des zones de mesures

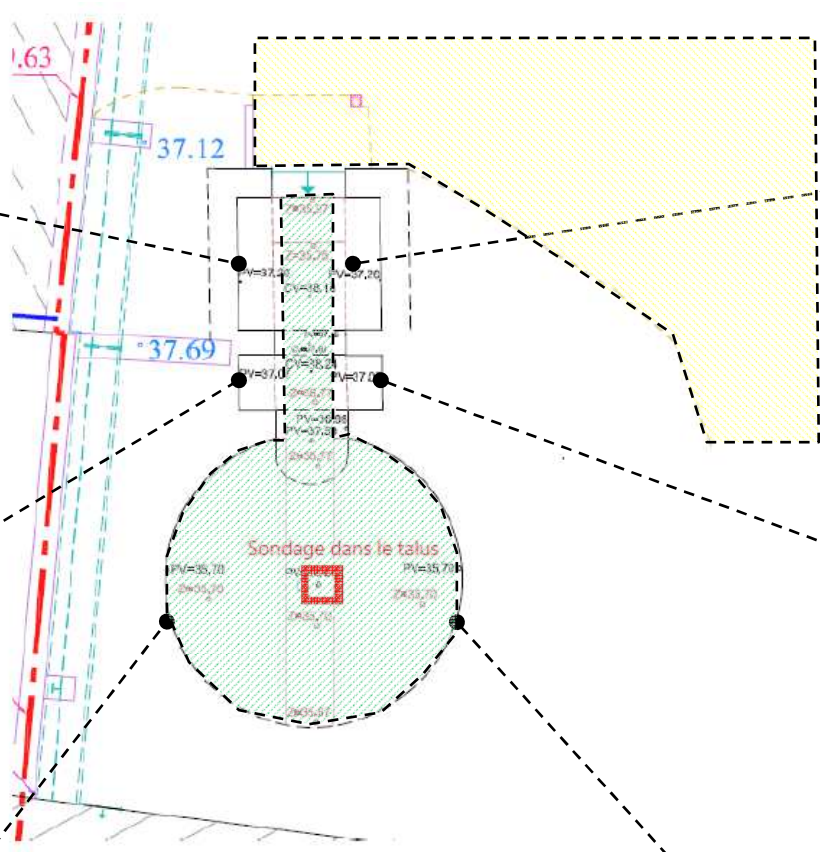
Les zones de mesures sont présentées sur la figure suivante.



Mur ouest 1^{er} SAS



Mur ouest 2nd SAS



Mur est 1^{er} SAS



Mur est 2nd SAS



Zone de radar à l'extérieur



Zone de radar à l'intérieur



Sondage au niveau du talus



Mur ouest glacière



Mur est glacière



Vue générale du mur de la glacière

Figure 1 : position des zones de mesures

2.3. Auscultation par géoradar

Afin de répondre à la problématique, l'inspection radar a été réalisée au sol avec un maillage de 50 centimètres dans les deux directions pour obtenir une résolution précise et adaptée à la recherche d'anomalies et d'ouvrages enterrés et de 30 centimètres au niveau des murs.

Les auscultations ont été effectuées au moyen d'un chariot et d'une antenne équipée d'une roue codeuse.

2.3.1. Principe de la méthode radar

Le radar géologique, technique d'auscultation non destructive, utilise la réflexion d'ondes électromagnétiques sur les interfaces des couches dans le matériau étudié afin d'obtenir une image continue des structures auscultées (Figure 2) :

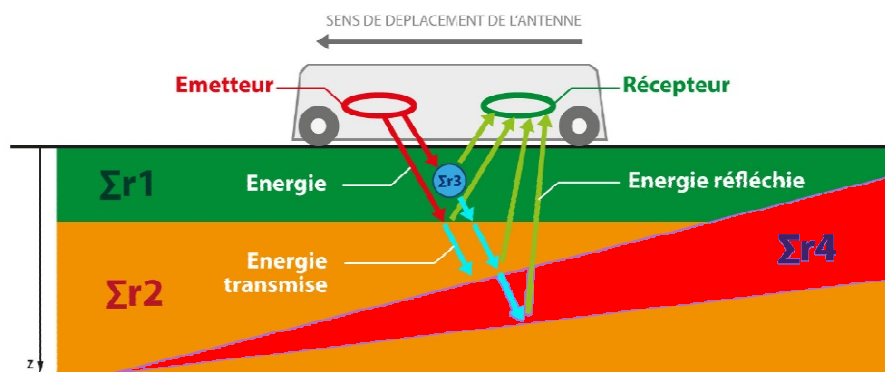


Figure 2 : schéma de principe de la méthode radar

Une antenne radar est disposée sur la surface auscultée pour enregistrer des « lignes de mesures ». L'antenne émet un champ électromagnétique à impulsions dans le matériau étudié.

Ce sont le cheminement et l'énergie résultante des ondes de ce champ ainsi que le temps de parcours qui sont analysés pour fournir un résultat sous forme de coupe radar.

L'image obtenue (coupe radar cf. Figure 5) traduit les variations de matériaux, les hétérogénéités voire les vides rencontrés par l'onde lors de ce parcours au sein des matériaux étudiés.

L'appareillage composé d'une antenne, un terminal informatique d'acquisition ainsi que d'une roue codeuse permet l'enregistrement numérique en direct des coupes radar associées aux distances parcourues.

2.3.2. Matériel de mesure

Le matériel utilisé est un géoradar modèle IDS avec une antenne 900 MHz adaptée à la problématique.



Figure 3: illustration de la mise en œuvre de l'antenne 900Mhz sur les murs et la voûte de la glacière



Figure 4: illustration de la mise en œuvre du radar GSSI avec l'antenne 350Mhz au niveau du sol

2.3.3. Traitement des résultats radar

Les résultats sont présentés sous forme de radargrammes (coupes d'anomalies) et/ou de cartographies repérant les anomalies géophysiques détectées pouvant correspondre à des désordres.

Le traitement du signal radar par filtrage numérique permet d'améliorer les coupes radar pour faciliter l'interprétation.

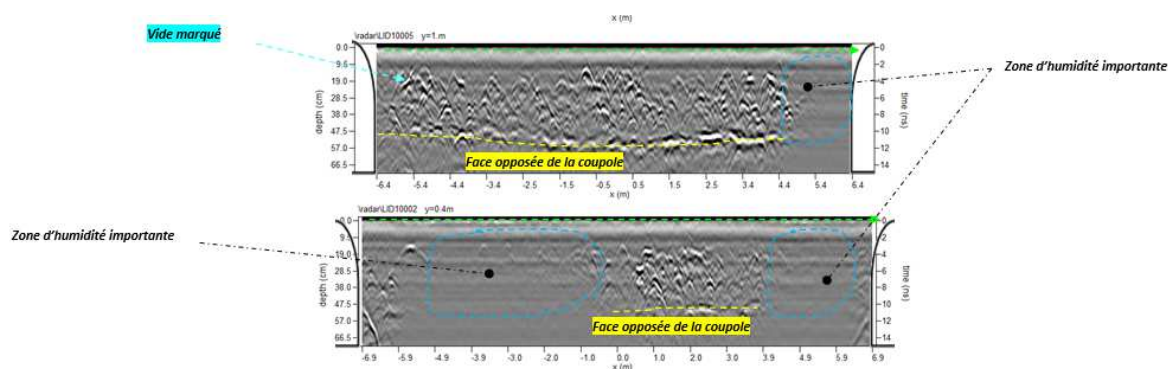


Figure 5 : Exemple de coupe radar (après traitement) illustrant la détection d'anomalies au niveau de l'épaisseur de l'appareillage de la coupole

Le logiciel GPR Slice (D. Goodman) permet de traiter les radargrammes et extraire les énergies selon leur profondeur pour réaliser une cartographie correspondant à une profondeur choisie.

C'est la combinaison de ces énergies pour chaque coupe radar juxtaposée qui permet d'obtenir une cartographie des énergies radar et donc indirectement, des anomalies de la maçonnerie.

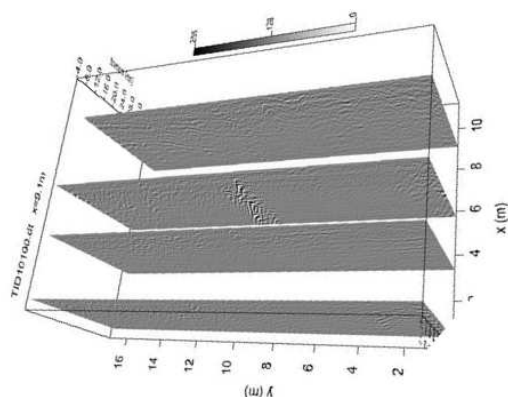


Figure 6 : Ensemble de coupes radar parallèles

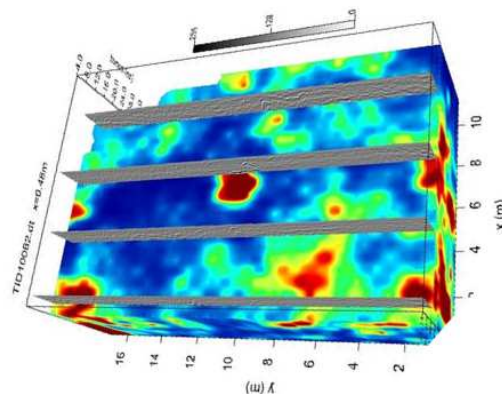
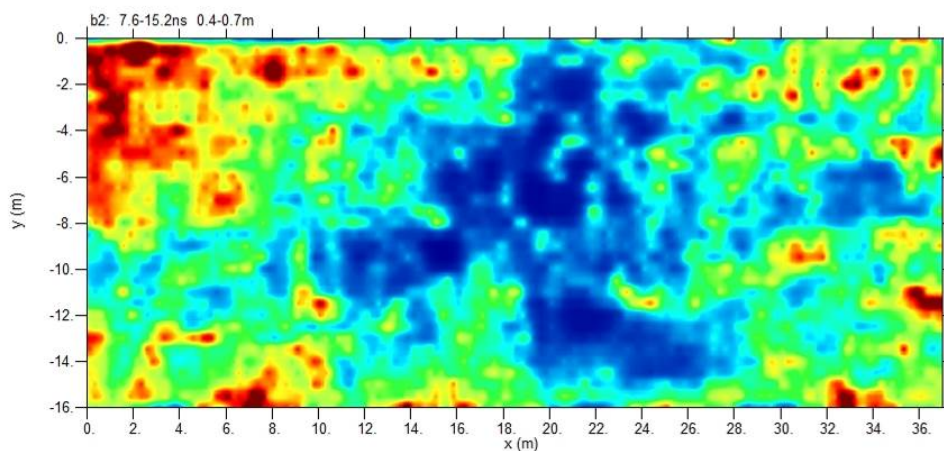


Figure 7 : Cartographies d'énergie juxtaposées sur les coupes radar (modèle 3D)



Matériaux homogènes
et/ou humides



Matériaux hétérogènes (terrain décomprimé,
vides, objets enterrés, métaux...)

Figure 8 : Exemple de cartographie d'énergie radar (vue de dessus) pour une tranche de profondeur définie

Cet outil permet une excellente analyse de la position des anomalies radar et du classement de leur gravité.

2.4. Percements traversants

Au total, 3 percements traversants ont été réalisés au niveau de la voûte de la glacière à trois hauteurs différentes, un à 45 centimètres de hauteur, un second à 145 centimètres et enfin un troisième en clé, à 220 centimètres, au niveau du sondage dans le talus. Ces derniers ont été réalisés du côté ouest de la glacière et sont présentés sur la figure suivante.

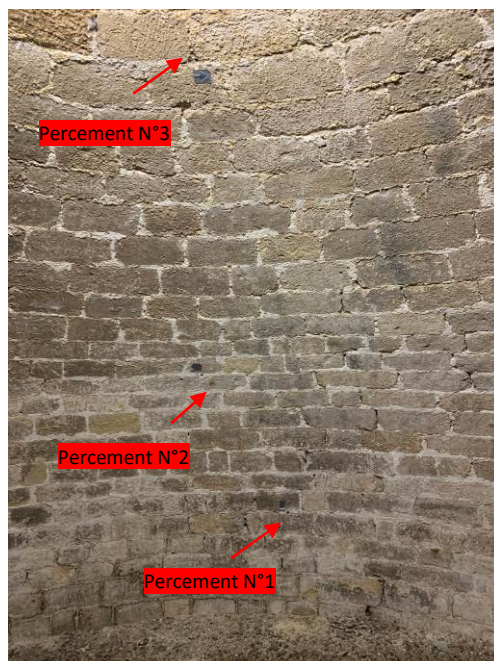


Figure 9: Emplacement des percements traversants au niveau de la voûte côté ouest

2.5. Exploration endoscopique

En complément des mesures non destructives radar, des étalonnages ont été effectués avec observation endoscopique des matériaux constituant le remplissage. Ils ont été réalisés au travers des deux carottages réalisés sur les murs est et ouest du sous-sol.



Figure 10 : Exemple d'observation endoscopique dans un matériau rocailleux



Figure 11 : Exemple d'observation endoscopique dans un matériau plein (type pierre pleine)



Figure 12 : Exemple d'observation endoscopique d'un acier corrodé dans un béton

Le résultat des inspections est un film afin d'enregistrer des images des anomalies, fracturations ou changement de matériaux au sein du forage de petit diamètre.

Le matériel utilisé pour cette mission est un endoscope autonome avec une sonde de 3 mètres de longueur.



Figure 13: Illustration de l'endoscope iLed (IT Concept) prévu pour ausculter les grands vides (sonde de 3 mètres avec tête pivotante)



Figure 14: Mise en œuvre de l'endoscope iLed pour observation dans le socle d'une œuvre (sonde de 3 mètres béquillable)



Figure 17: Aperçu de la hauteur de la terre végétale en
clé de coupole

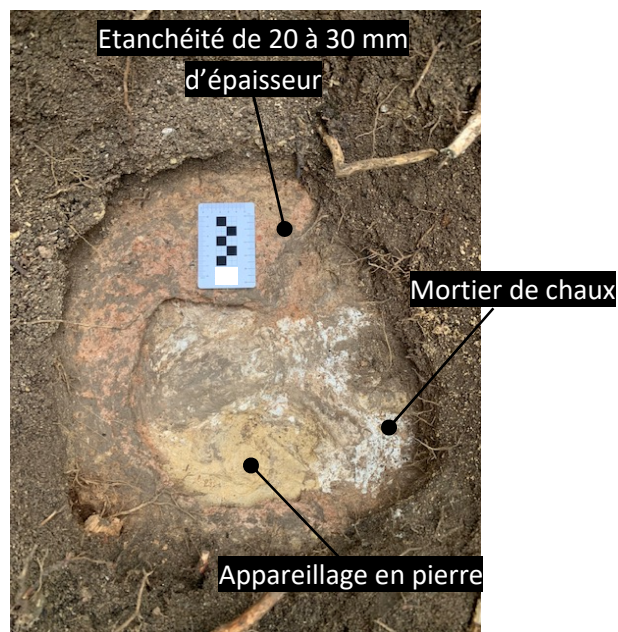


Figure 18: Aperçu de la structure mise en évidence lors du
sondage



Figure 19: Détail de l'étanchéité en surface externe de la
coupole



Figure 20 : Rebouchage du sondage avec un mortier
hydrofuge de masse

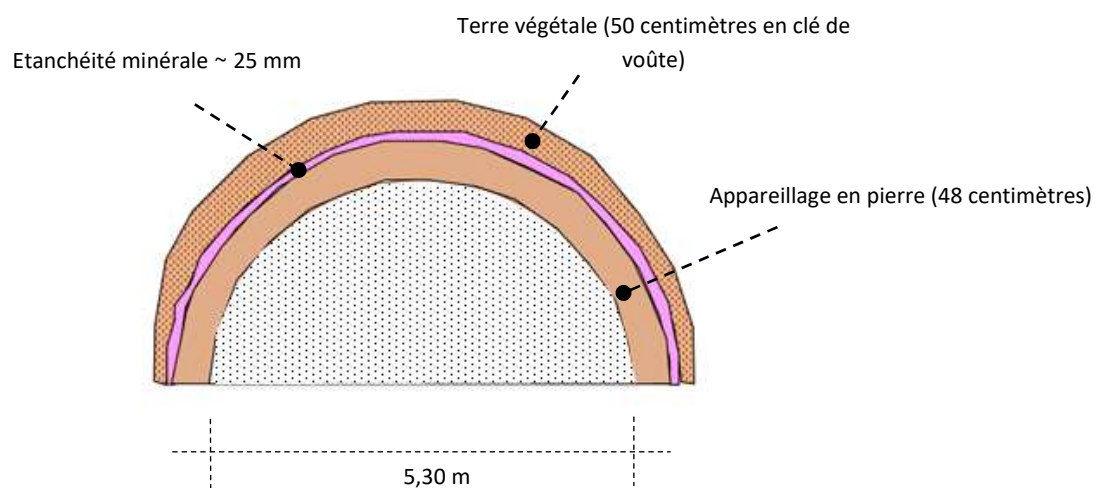


Figure 21: mis en évidence des différents matériaux repérés au niveau de la coupole

Pour la coupole

Les enregistrements radar ont été réalisés sur l'ensemble de la coupole avec des profils horizontaux espacés de 20 centimètres. Cela a permis d'obtenir une image très complète de l'état de la structure composant la coupole. La constante diélectrique utilisée et étalonnée sur site avec l'épaisseur connue des murs intérieurs et de 9.

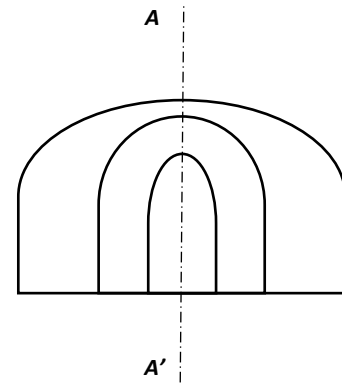
Les mesures ont permis de mettre en évidence une épaisseur de structure moyenne de 50 centimètres.

L'appareillage de la coupole est composé de deux lits de pierres positionnées pour certaines en boutisse d'environ 30 centimètres de long et des moellons de 15 centimètres.

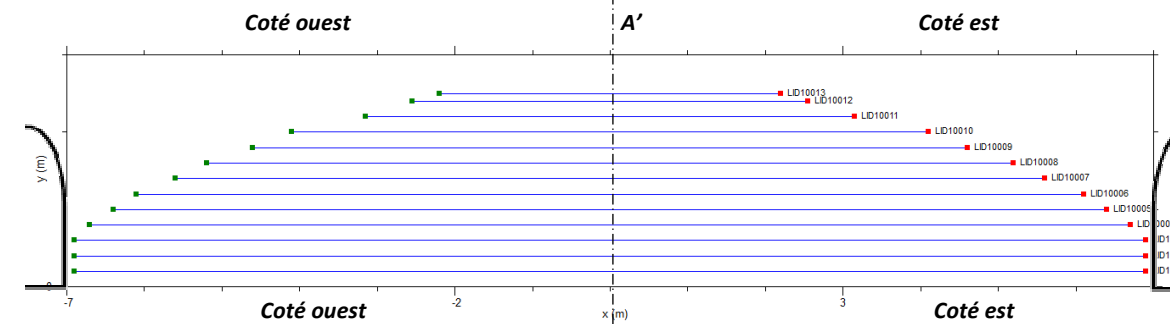
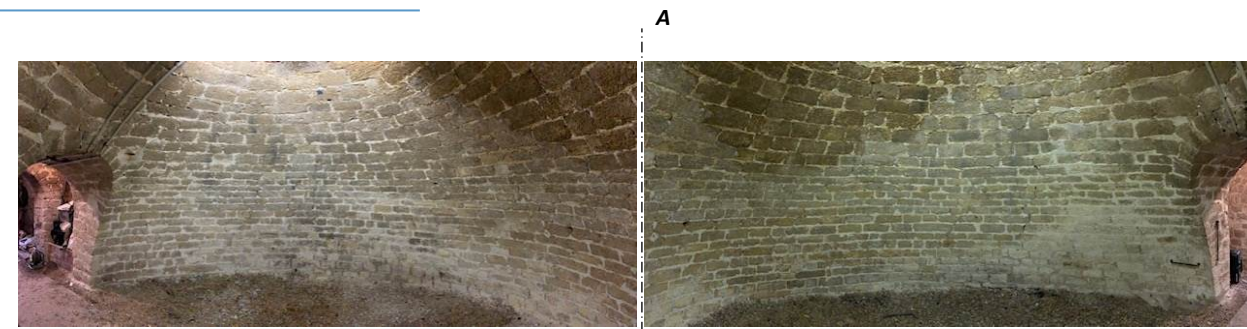
Entre les deux lits de pierre, une fourrure, de 5 à 8 centimètres d'épaisseur, hétérogène avec des vides marqués a été mis en évidence.

Des zones d'humidité marquées sont repérées en partie basse du côté ouest de la coupole et sur les trois derniers mètres du côté est.

Ces résultats sont illustrés sur les planches de résultats suivantes.

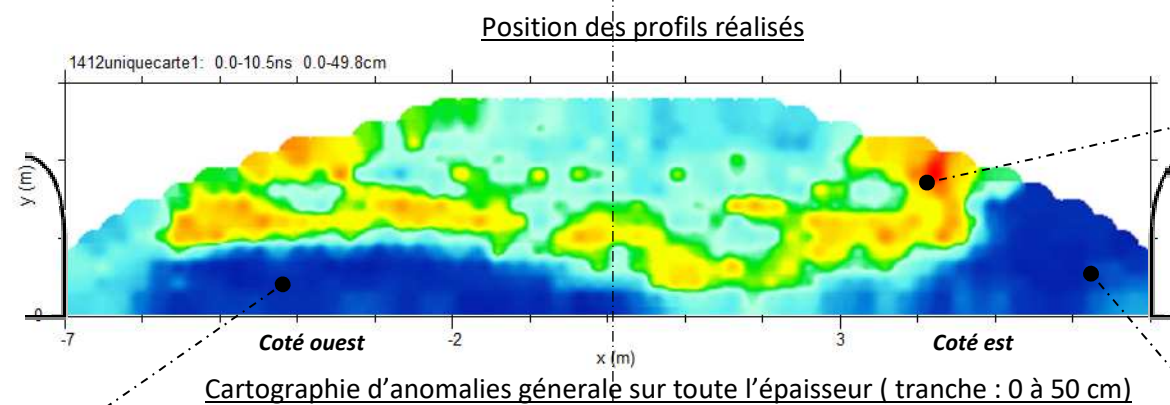


Entrée de la glacière
– côté nord

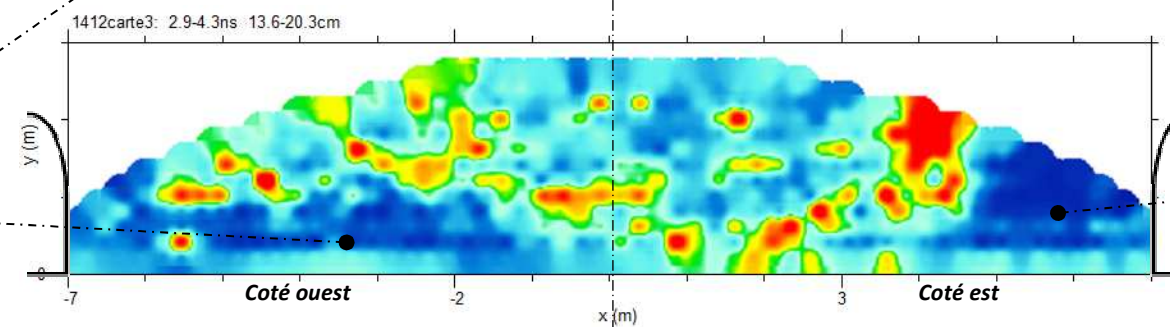


Matériaux homogènes, compacts et/ou humides

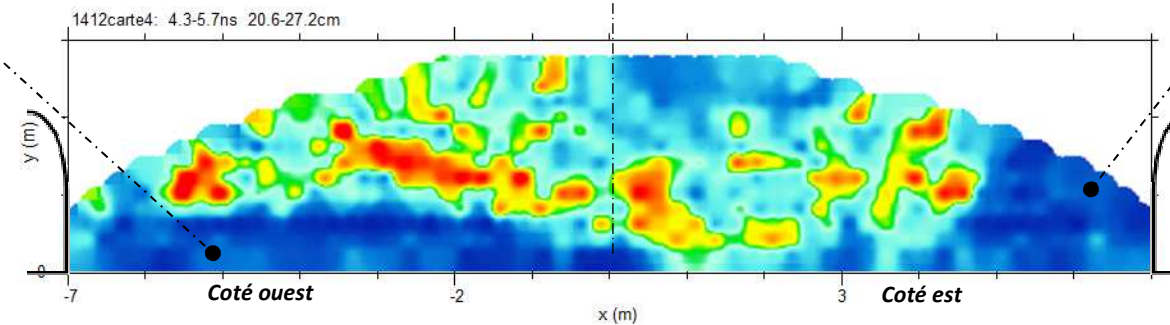
Matériaux hétérogènes (terrain décomprimé, vides, joints désagrégés...)



Cartographie d'anomalies générale sur toute l'épaisseur (tranche : 0 à 50 cm)



Cartographie d'anomalies (tranche : 10 à 20 cm)

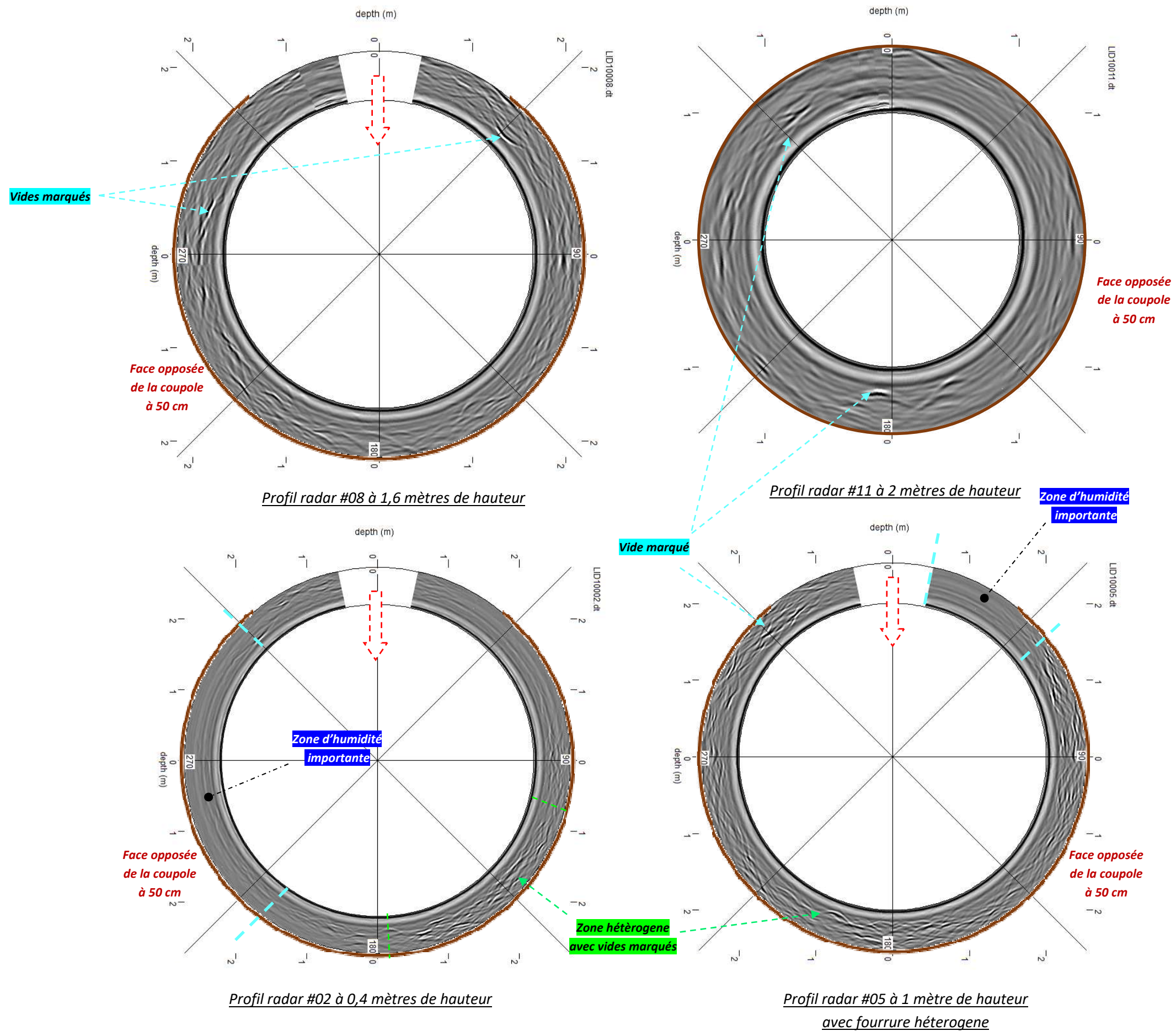


Cartographie d'anomalies (tranche : 20 à 30 cm)

Zone d'humidité importante

Zone hétérogène au niveau de la fourrure (vides, joints désagrégés...)

Zone d'humidité importante



Sondages traversants au niveau de la coupole :

Les 3 sondages traversants réalisés à différentes hauteurs (45 cm, 145 cm et 220 cm) du côté ouest de la coupole ont permis de confirmer l'épaisseur moyenne de 50 centimètres de la structure.

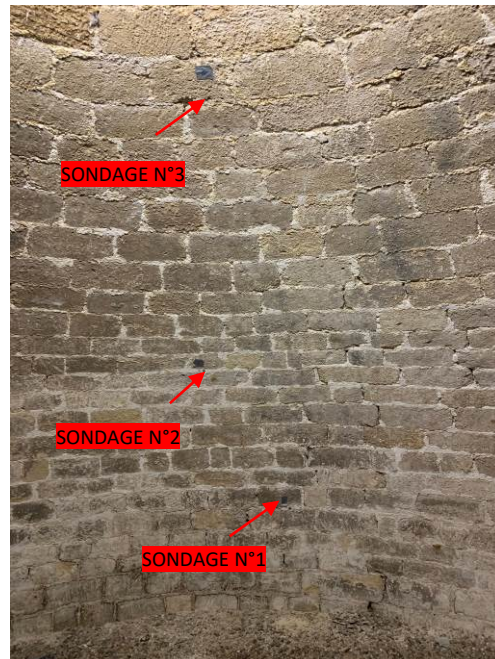


Figure 22: Emplacement des sondages traversants au niveau de la voûte côté ouest

Les caractéristiques de ces trois sondages sont présentées par le tableau suivant (Tableau 1).




N° de sondage	Hauteur du sondage/ sol	Caractéristiques	Epaisseur totale cm	Photographies de la fourrure
1	45 cm	Pierre de parement : 14 cm	50 cm	
		Fourrure : 6 cm		
		<i>Présence de vide</i> Pierre + étanchéité : 30 cm		
2	145 cm	Pierre de parement : 20 cm	50 cm	
		Fourrure : 5 cm		
		<i>Remplissage app. homogène</i> Pierre + étanchéité : 25 cm		
3	220 cm	Pierre de parement : 14 cm	48 cm	
		Fourrure : 6 cm		
		<i>Présence de vide</i> Pierre + étanchéité : 28 cm		

Tableau 1 : caractéristiques des sondages traversants

Pour les murs enterrés des deux sas

Les enregistrements radar ont été réalisés sur l'ensemble des murs et des voûtes des deux sas avec des profils horizontaux espacés de 30 centimètres. Cela a permis d'obtenir une image très complète de l'état de la maçonnerie. La constante diélectrique utilisée et étalonnée sur site avec l'épaisseur connue des murs intérieurs et de 9.

Les mesures au niveau des murs enterrés du premier et second sas ont permis de mettre en évidence le même type de construction rencontré au niveau de la coupole.

L'épaisseur totale estimée de cette structure, constituée de 2 lits de pierre, est d'environ 50 centimètres au niveau des piédroits et reins de voûte et semble être moins épaisse en clé de voûte autour de 35 à 40 centimètres.

La fourrure entre les deux lits de pierres présente ici aussi des irrégularités avec des vides bien marqués.

Au contact des piédroits et des voûtes (niveau de la ligne de naissance), une surépaisseur ou une structure maçonnée est repérée à environ 1 mètre du sol. Cette structure, de 60 à 80 centimètres de hauteur et d'une vingtaine de centimètre d'épaisseur minimum, pourrait correspondre à un drain ou à un contrefort.

On note aussi ici la présence de fortes zones d'humidités au niveau des deux piédroits du premier sas et du piédroit est du second sas.

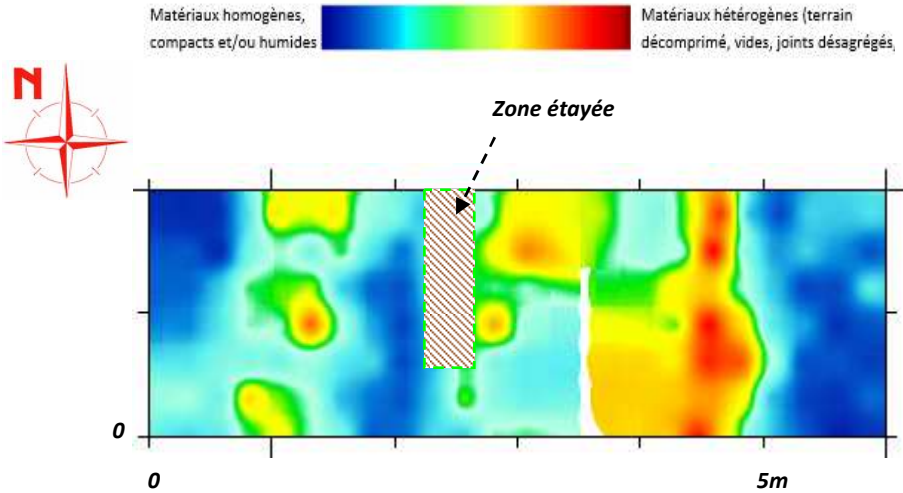
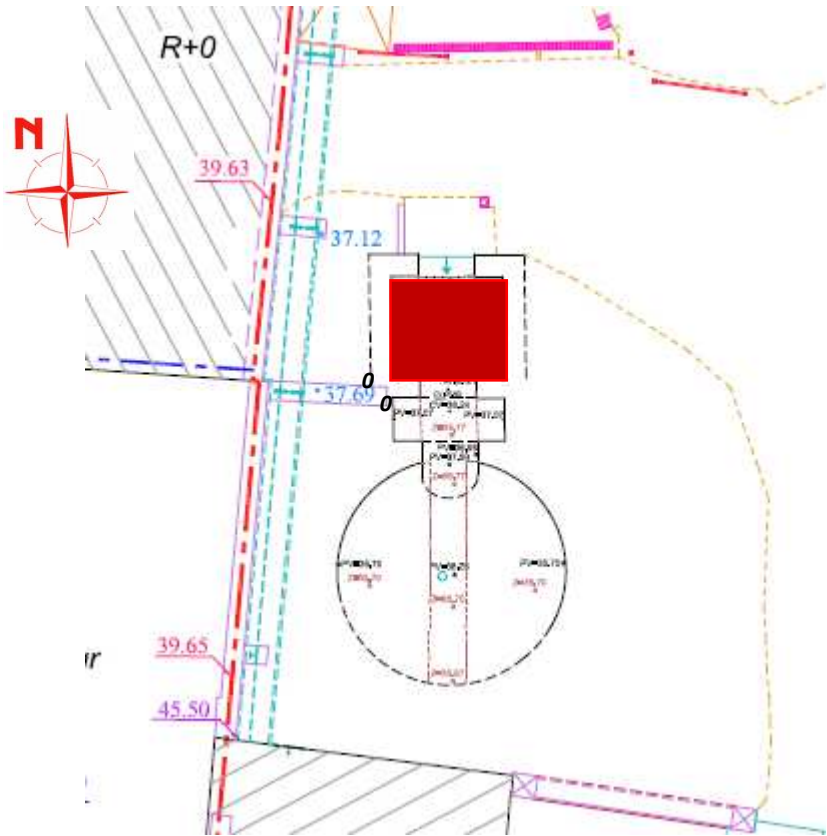
Ces résultats sont présentés par les figures suivantes.

Mesure au niveau des murs enterrés du premier Sas

Coté est

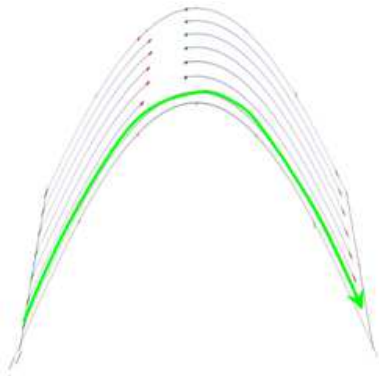


Coté ouest

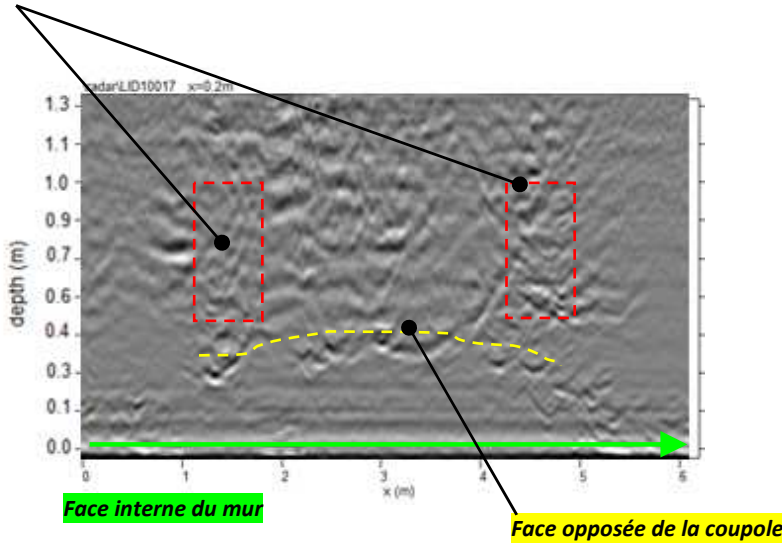


Carte d'anomalies sur l'épaisseur totale entre 0 et 50 centimètres au niveau des murs du 2nd SAS (vue en sous-face)

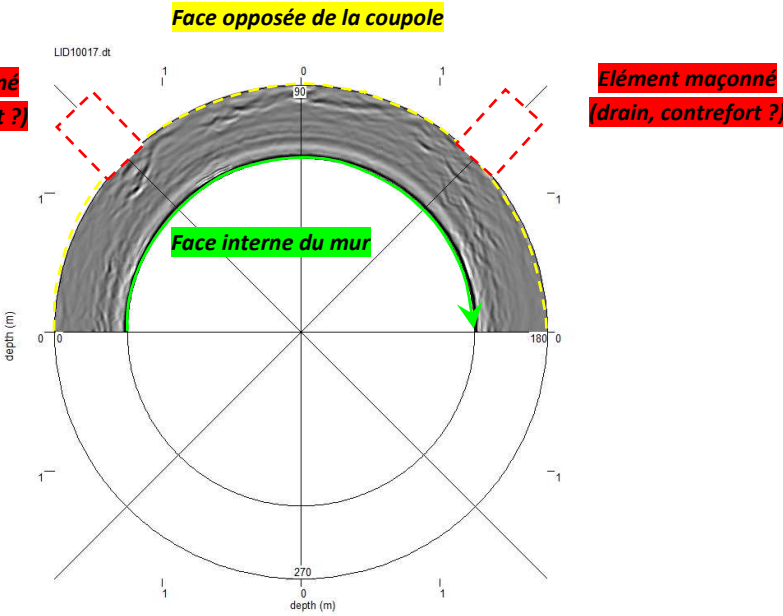
Elément maçonné (drain, contrefort ?)

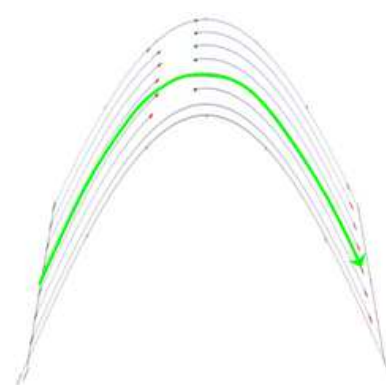


Position du profil #17



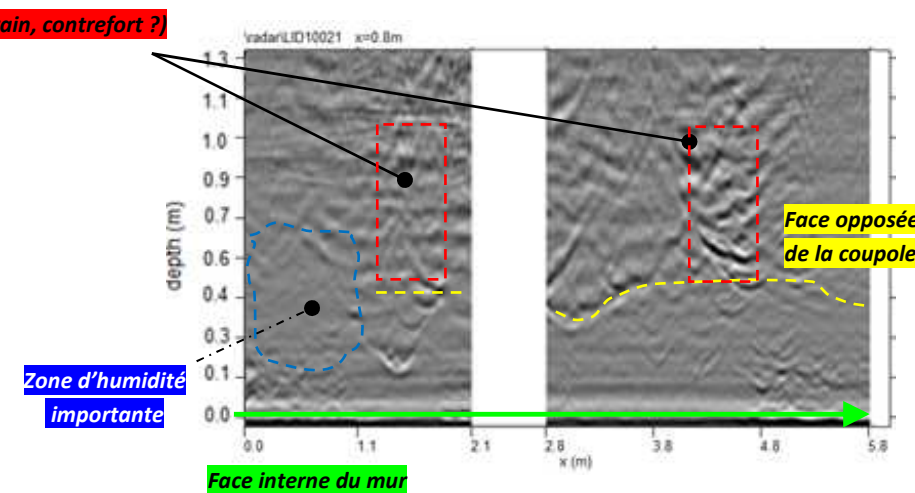
Coupes du profil #17





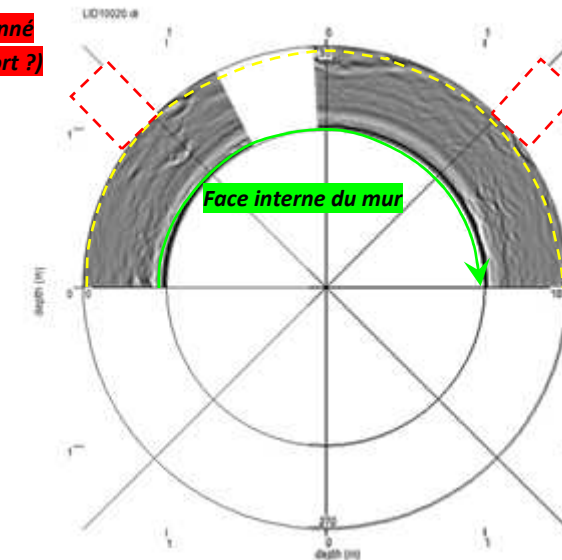
Position du profil #21

Element maçonné (drain, contrefort ?)

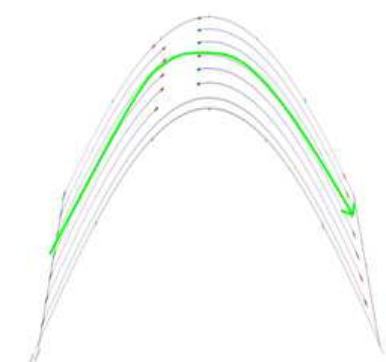


Coupes du profil #21

Element maçonné (drain, contrefort ?)

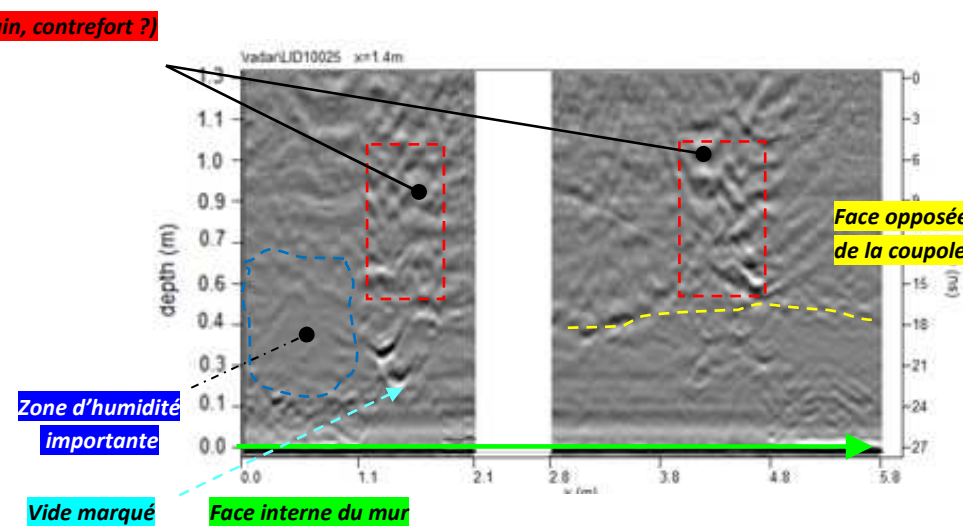


Element maçonné (drain, contrefort ?)



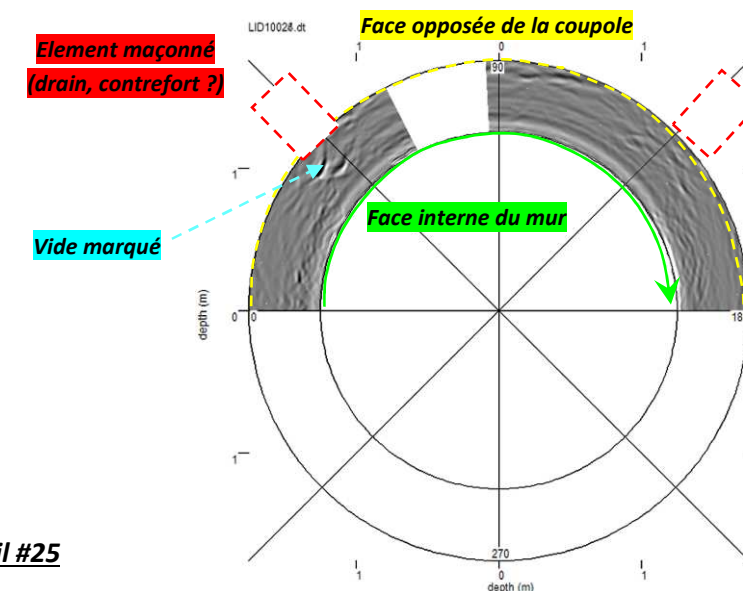
Position du profil #25

Element maçonné (drain, contrefort ?)

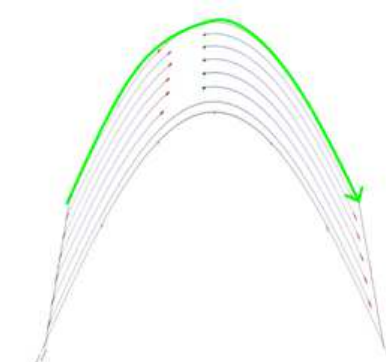


Coupes du profil #25

Element maçonné (drain, contrefort ?)

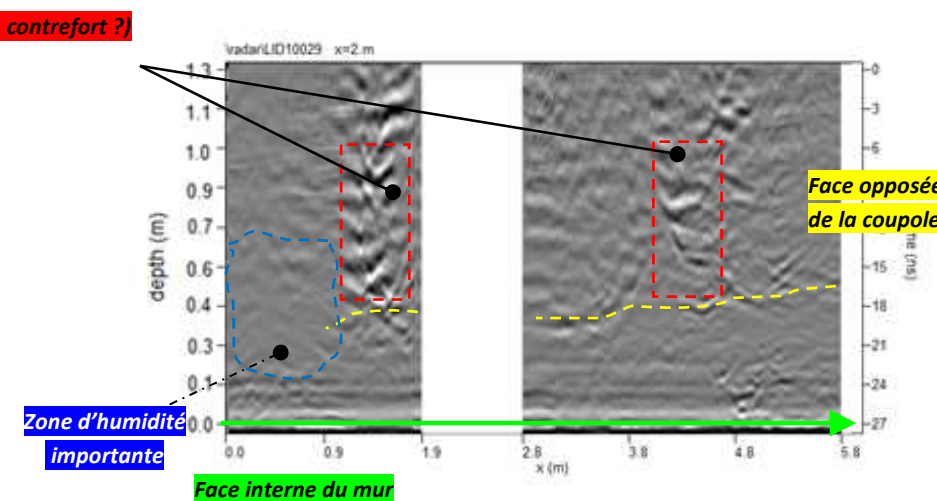


Element maçonné (drain, contrefort ?)



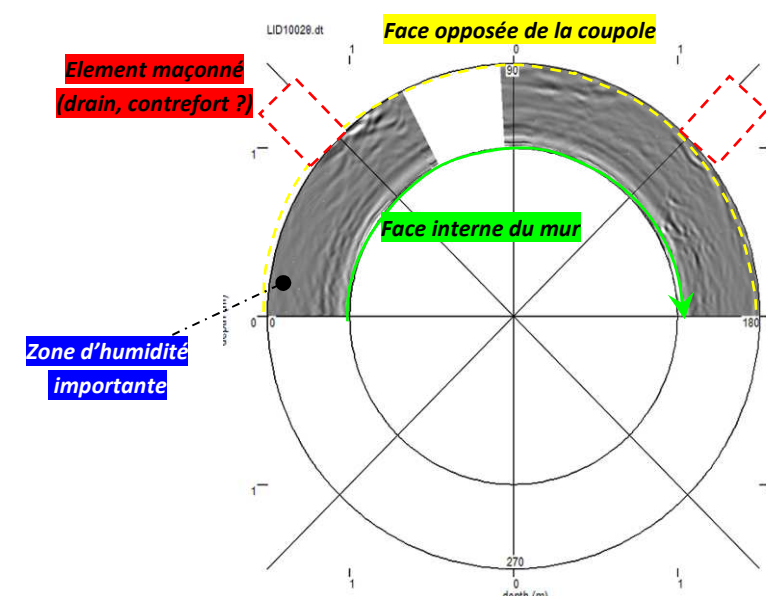
Position du profil #29

Element maçonné (drain, contrefort ?)



Coupes du profil #29

Element maçonné (drain, contrefort ?)



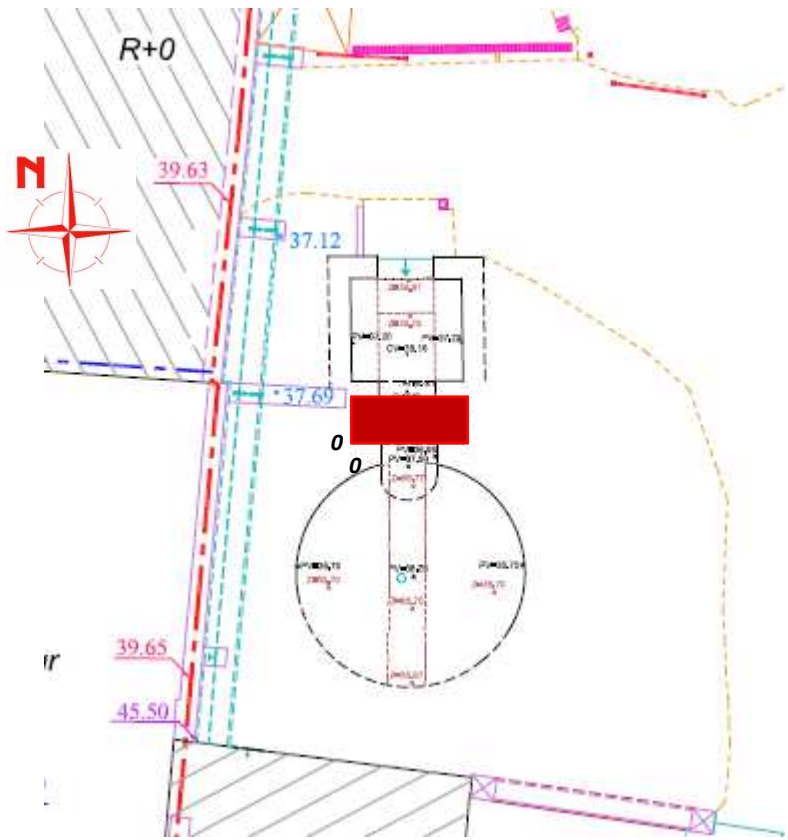
Element maçonné (drain, contrefort ?)

Mesure au niveau des murs enterrés du second Sas

Coté est



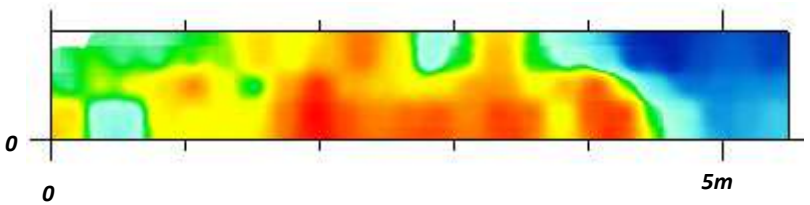
Coté ouest



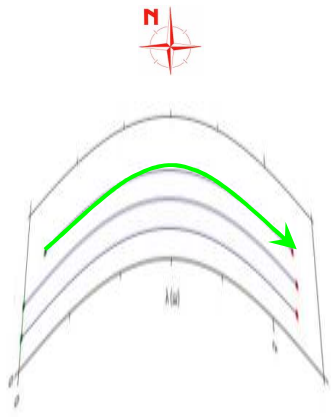
Matériaux homogènes, compacts et/ou humides



Matériaux hétérogènes (terrain décomprimé, vides, joints désagrégés)

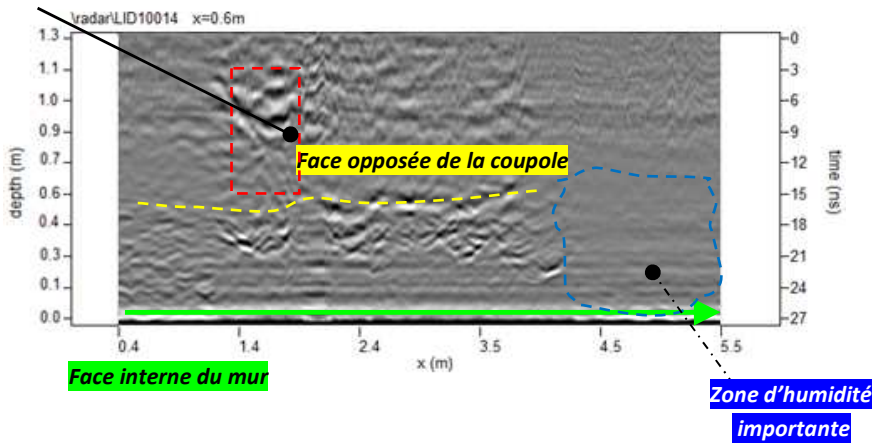


Carte d'anomalies sur l'épaisseur totale entre 0 et 50 centimètres au niveau des murs du 2nd SAS

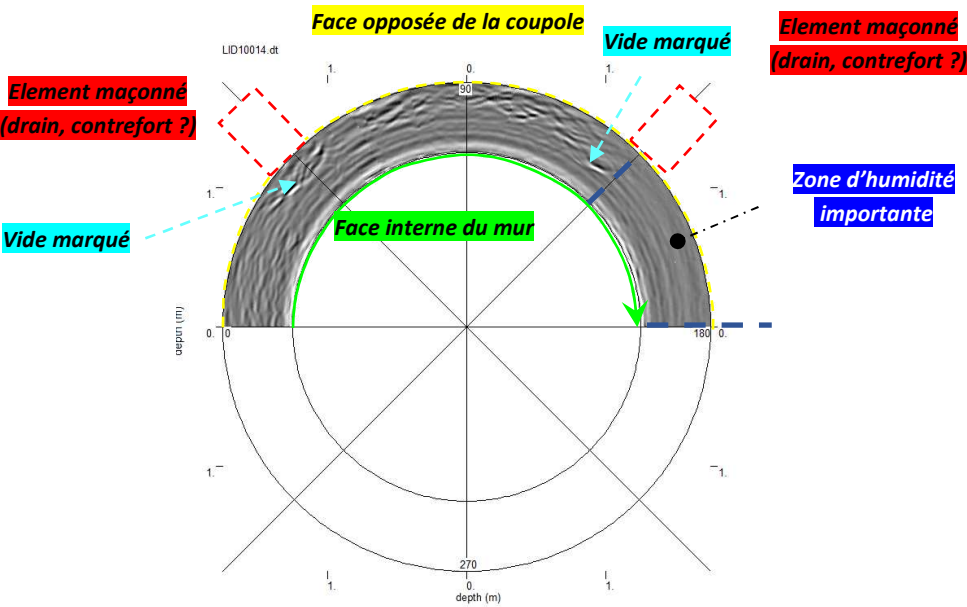


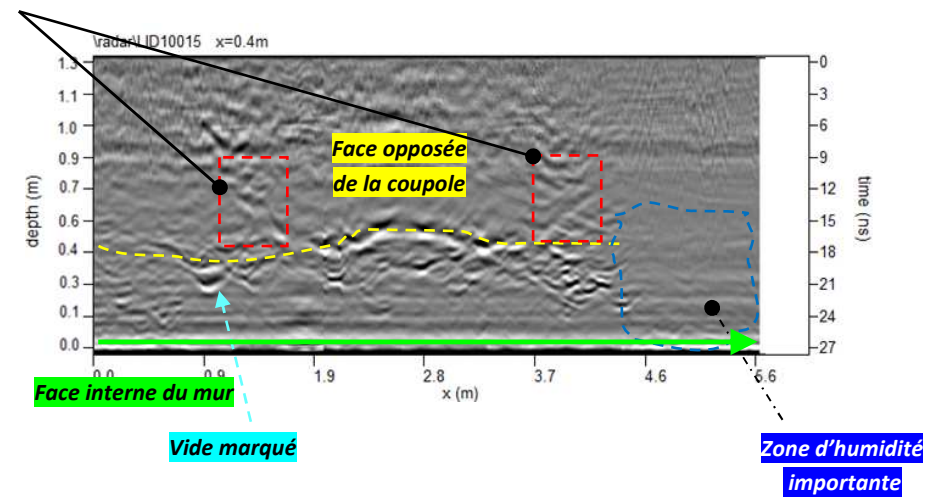
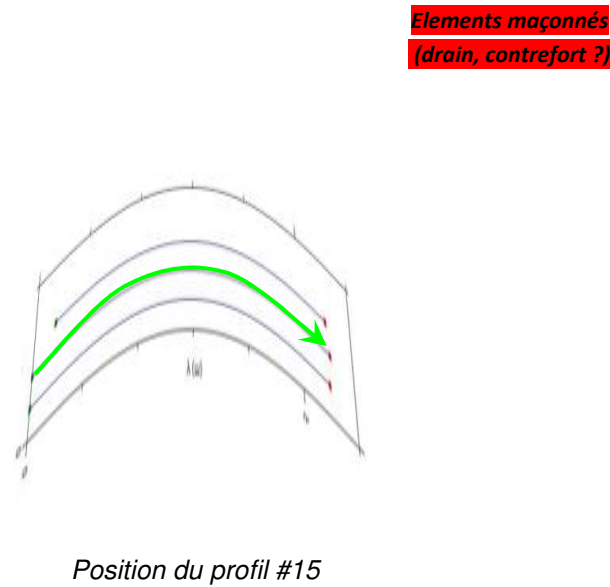
Position du profil #14

Elements maçonnés (drain, contrefort ?)

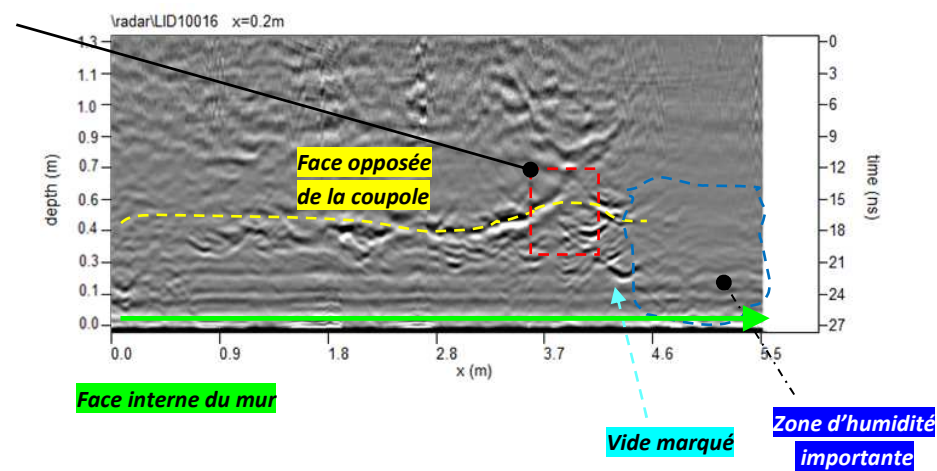
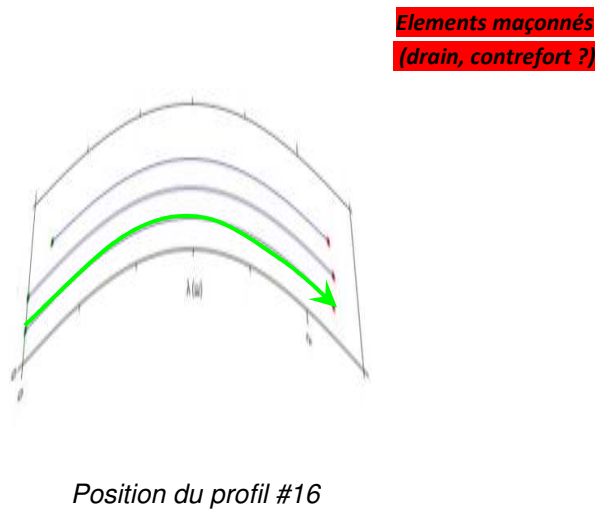
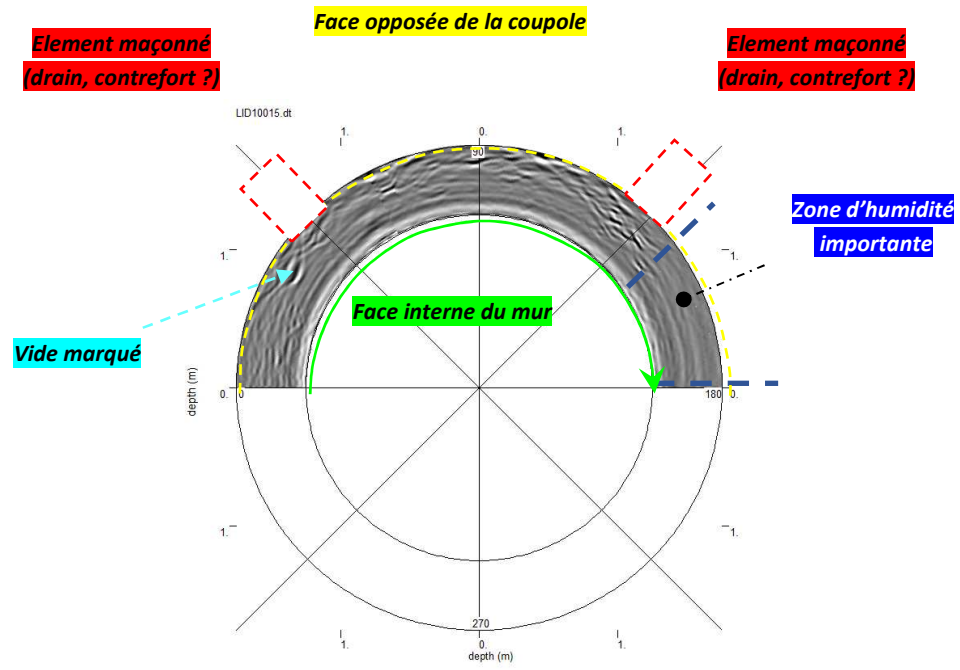


Coupes du profil #14

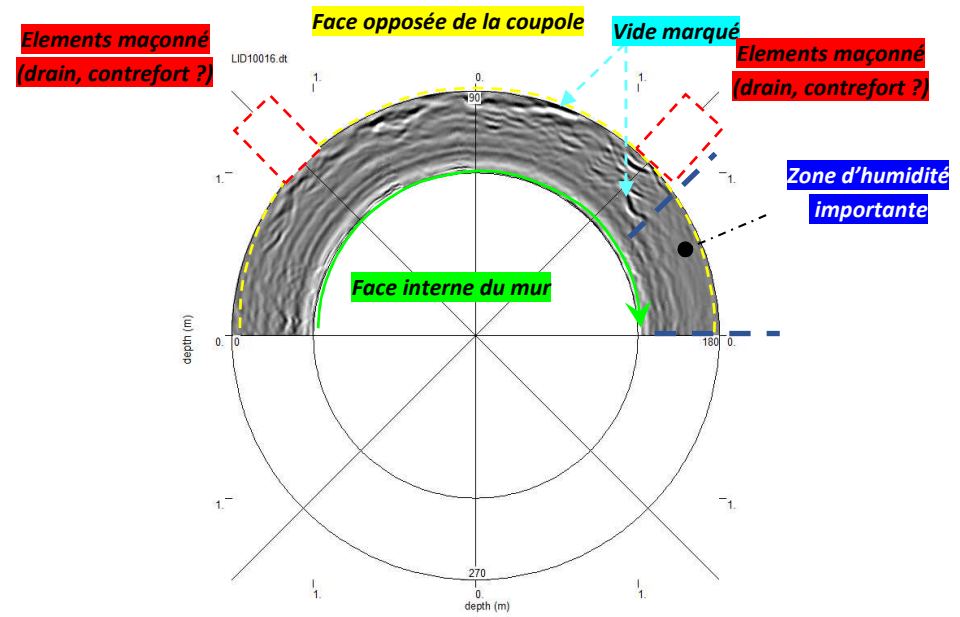




Coupes du profil #15



Coupes du profil #16



Concernant les mesures réalisées à l'intérieur de la glacière.

Les enregistrements radar ont été réalisés sur l'ensemble du sol de la glacière selon deux directions perpendiculaires comme présenté sur la planche de résultats suivante.

Cela a permis d'obtenir une image très complète de l'état des terrains constituant les sols.

La constante diélectrique utilisée et étalonnée sur site avec l'épaisseur connue des murs intérieurs est de 11.

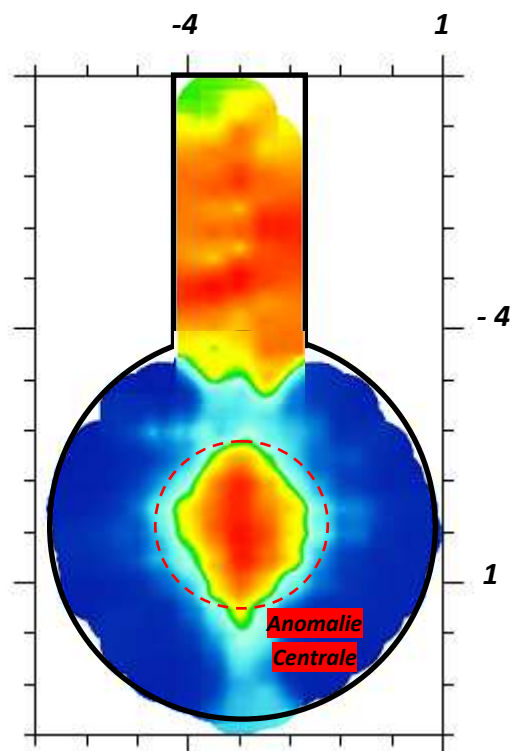
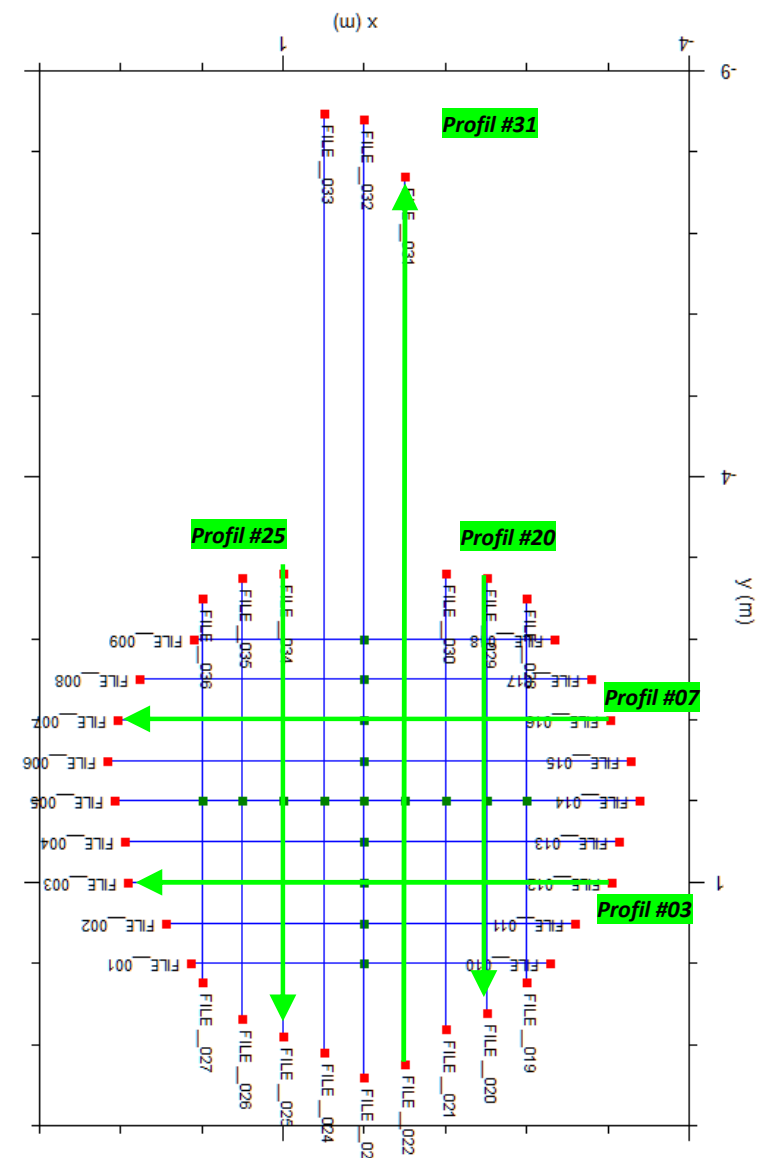
L'interprétation des radargrammes a permis de mettre en évidence une humidité très forte du sol et des cibles géophysiques marquée pouvant correspondre à un horizon. La constante diélectrique utilisée dans le traitement est égale à 11. Cela nous permet de visualiser des signaux radar interprétables jusqu'à 5 mètres de profondeur

Les mesures ont permis de mettre en évidence :

- Un horizon marqué entre 180 et 200 centimètres de profondeur. Cet horizon pourrait correspondre à un contact entre deux types différents de remblai ;
- Une anomalie centrale d'environ deux mètres de large, pouvant correspondre à l'emplacement d'un ancien élément de structure.

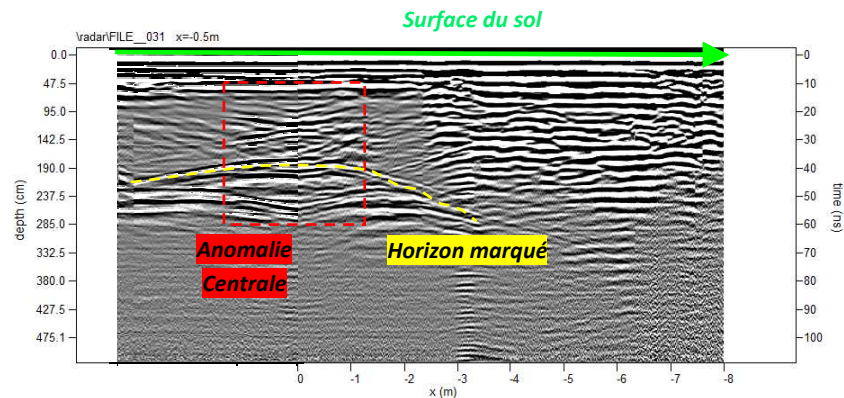
Ces résultats sont présentés par la planche de résultats ci-après.

Mesure au niveau des sols intérieurs

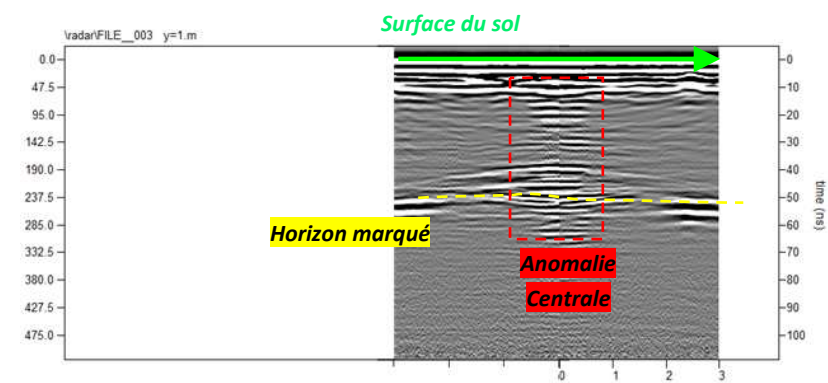


Carte d'énergie - Tranche 150 à 220 centimètres

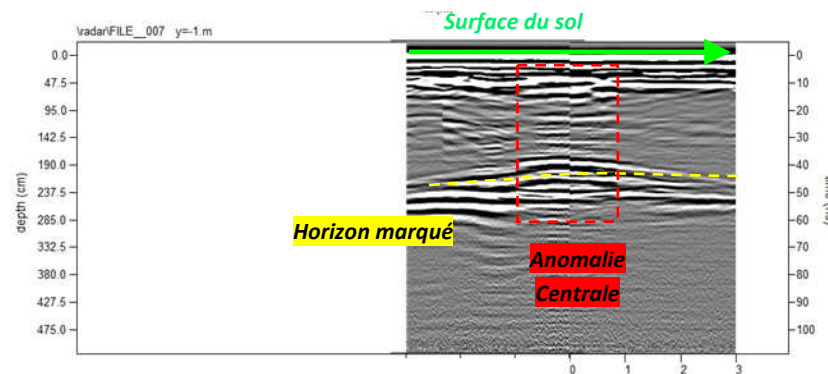
Matériaux homogènes, compacts et/ou humides Matériaux hétérogènes (terrain décomprimé, vides, joints désagrégés)



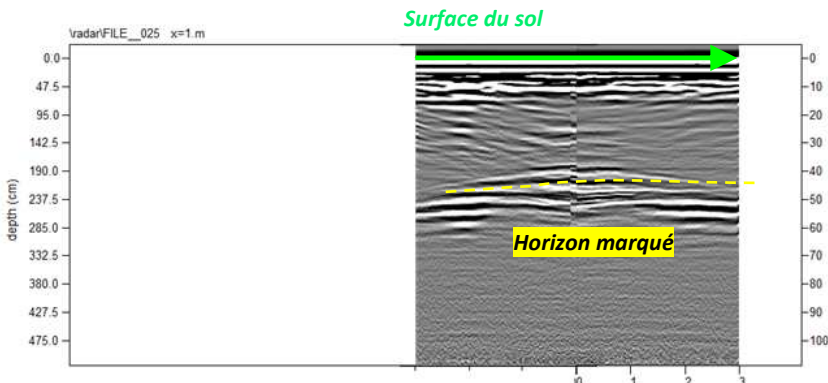
Coupe radar du profil #31



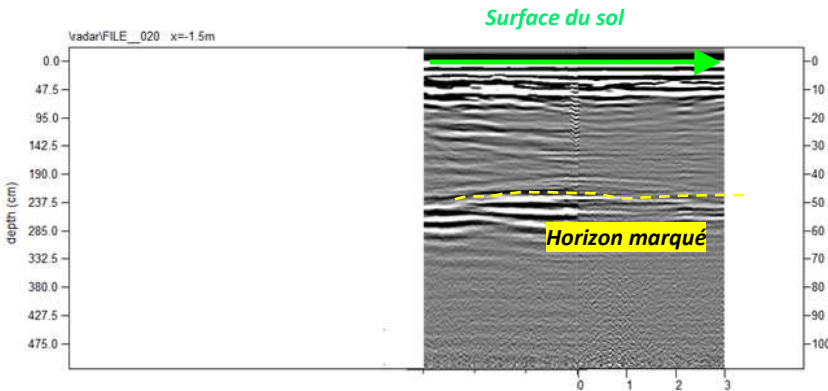
Coupe radar du profil #03



Coupe radar du profil #07



Coupe radar du profil #25



Coupe du profil #20

Concernant les mesures réalisées à l'extérieur de la glacière.

Les enregistrements radar ont été réalisés sur l'ensemble du sol selon deux directions perpendiculaires comme présenté sur la planche de résultats suivante.

Cela a permis d'obtenir une image très complète de l'état des terrains constituant les sols.

La constante diélectrique utilisée et étalonnée sur site avec l'épaisseur connue des murs intérieurs et de 11.

Les mesures ont mis en évidence des anomalies pouvant correspondre à des ouvrages anthropiques enterrés, présentées ci-après :

- Une première anomalie, notée A, est repérée dès 40 centimètres de profondeur. Cette anomalie, de 4,5 m x 1 m orientée nord-ouest/ sud-est pourrait correspondre à un ouvrage anthropique enterré (cuve ?) ;
- Une seconde anomalie, proche de l'anomalie A et notée B, est repérée à partir de 50 centimètres de profondeur est pourrait correspondre à un ouvrage anthropique de 1,5m * 1m ;
- Enfin, une troisième anomalie, notée C, est repérée à gauche de l'entrée de la glacière. Cette anomalie, d'un mètre de côté et repérée à partir de 160 centimètres de profondeur, pourrait correspondre à un ouvrage anthropique enterré (puits ?).

Mesure au niveau des sols extérieurs

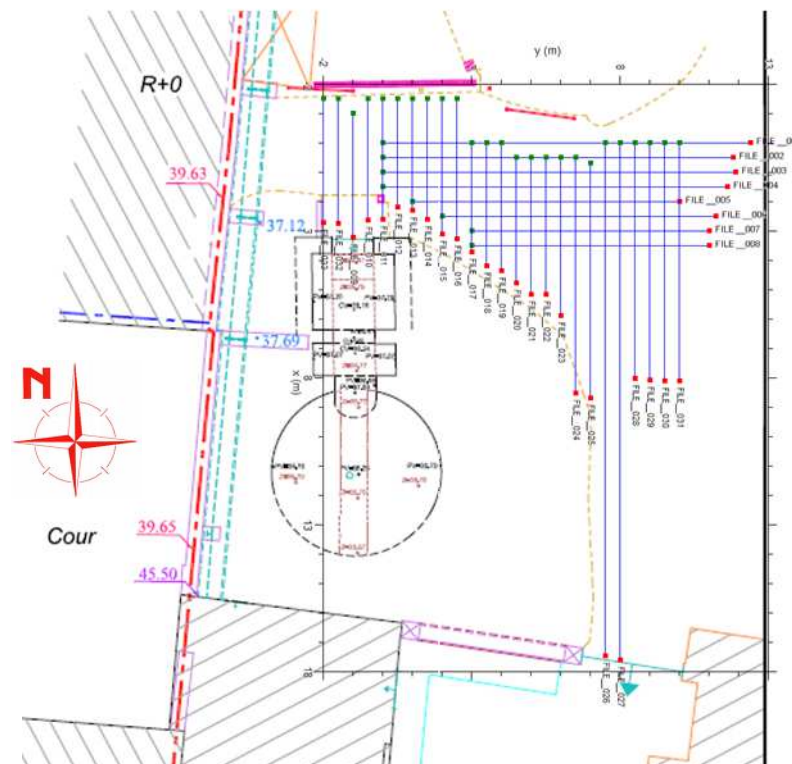


Figure 23: cartographies d'anomalies entre 15 et 25 centimètres

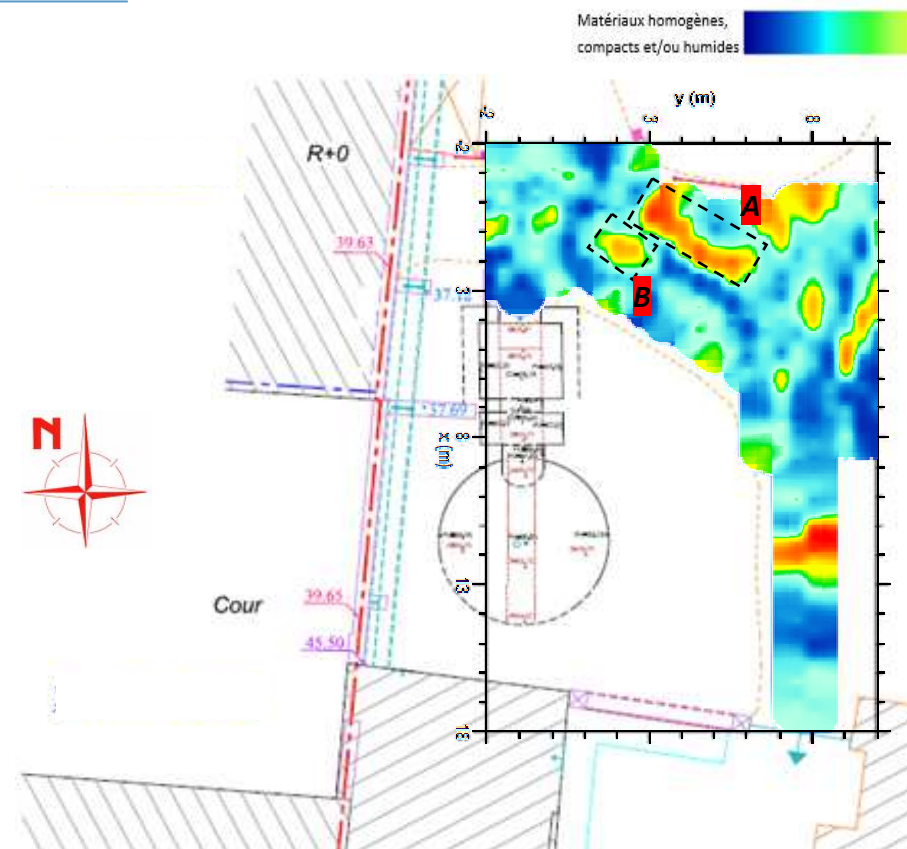


Figure 24: cartographies d'anomalies entre 45 et 80 centimètres

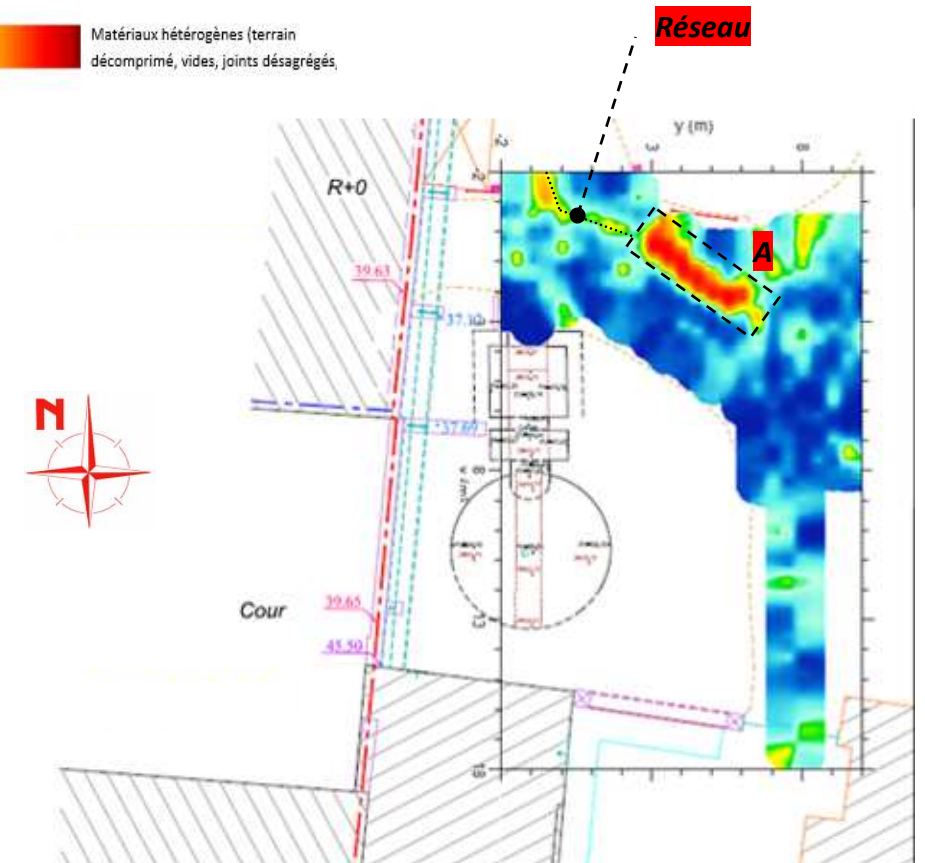


Figure 25: cartographies d'anomalies entre 85 et 110 centimètres

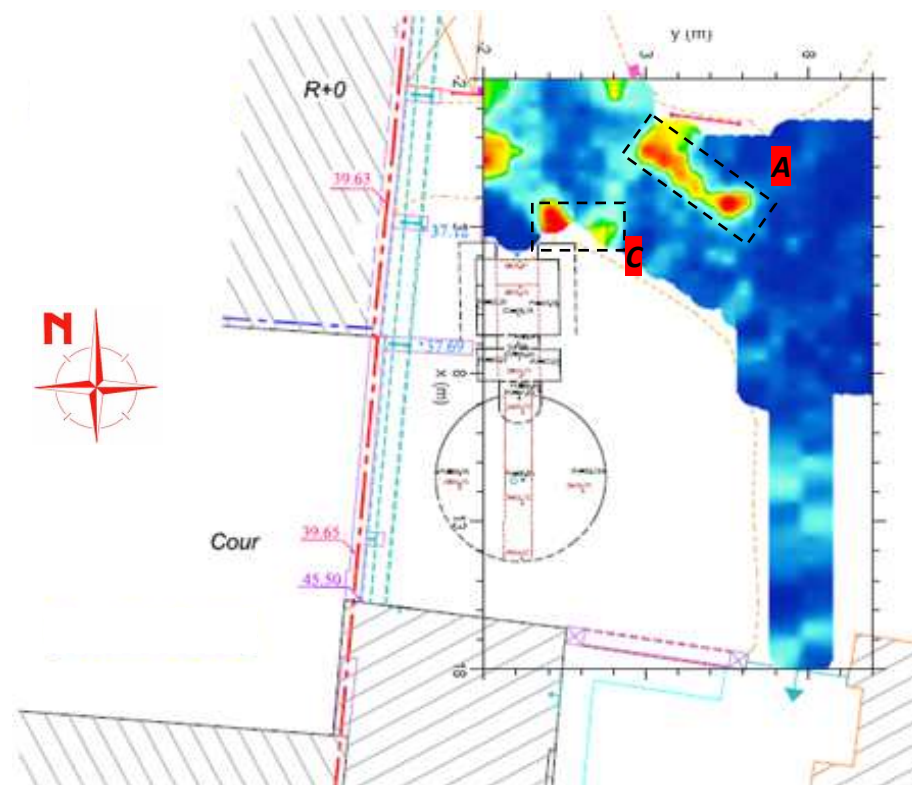
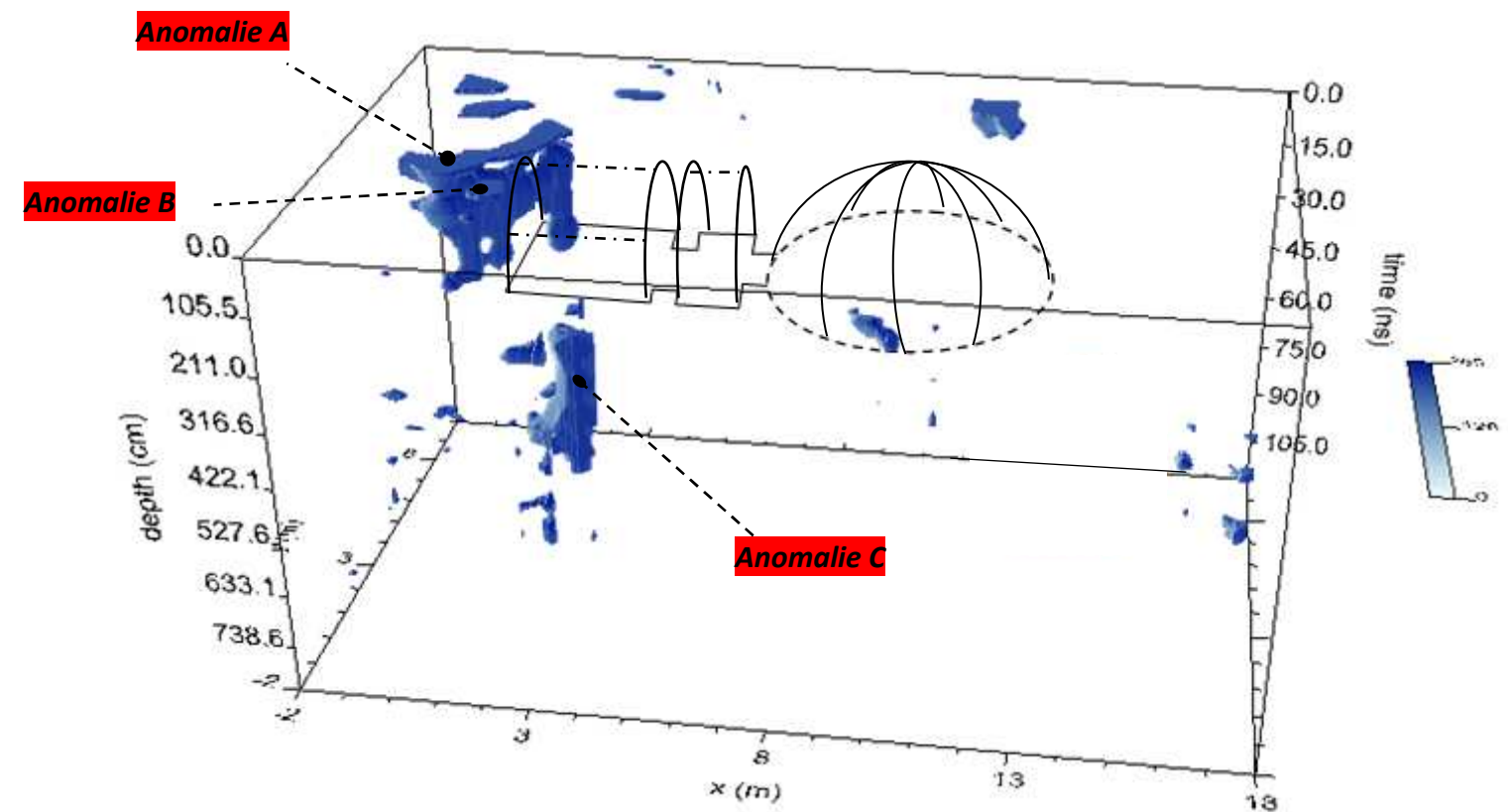


Figure 26: cartographies d'anomalies entre 200 et 220 centimètres



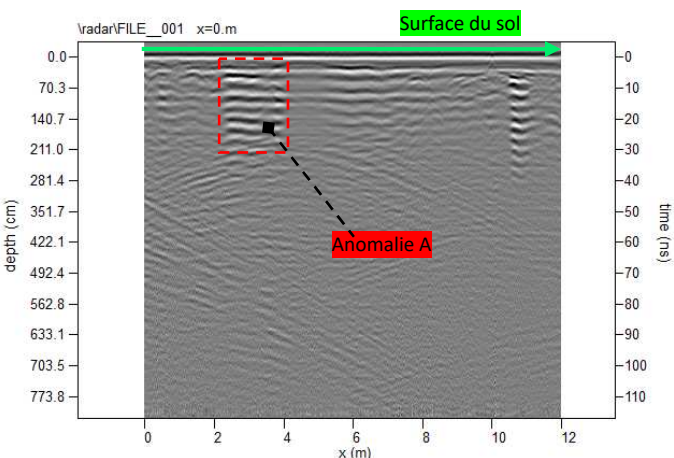
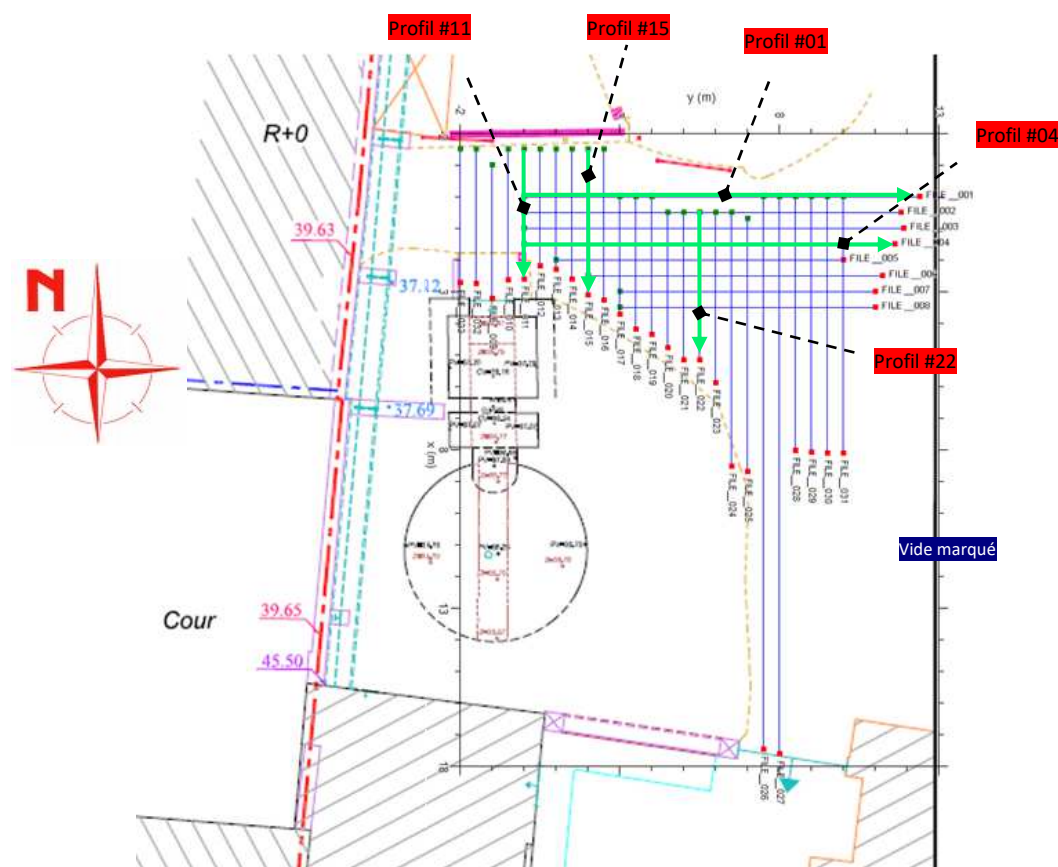


Figure 27 : coupe radar du profil #01

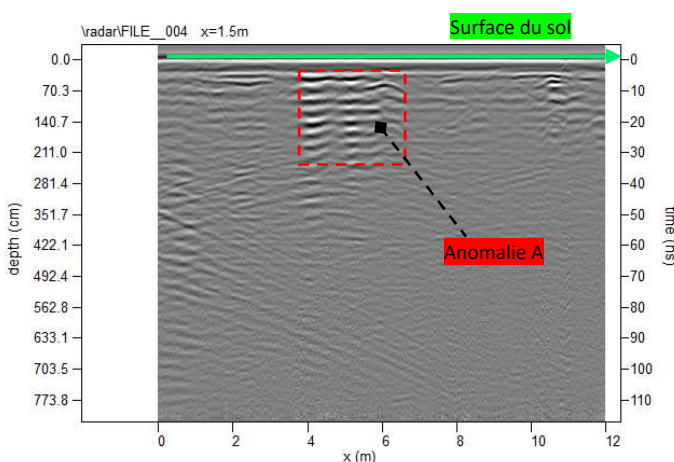


Figure 28 : coupe radar du profil #04

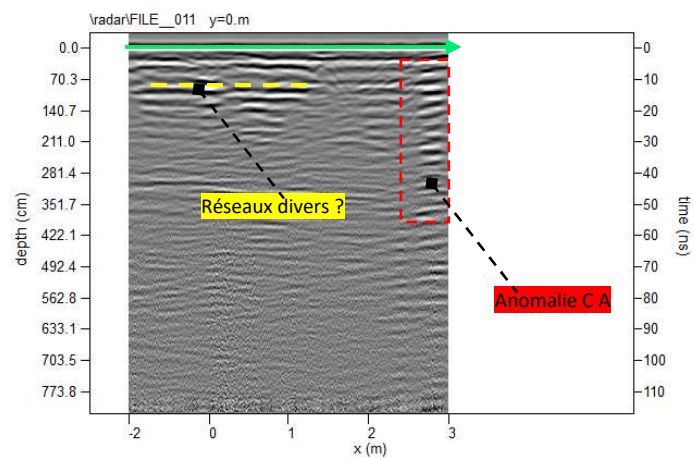


Figure 29 : coupe radar du profil #11

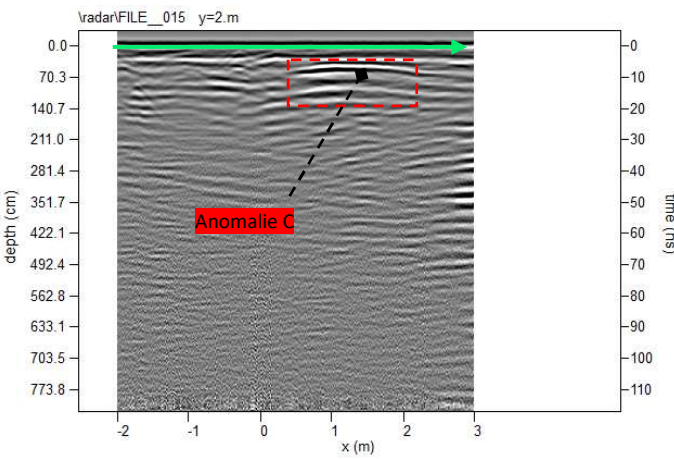


Figure 30 : coupe radar du profil #15

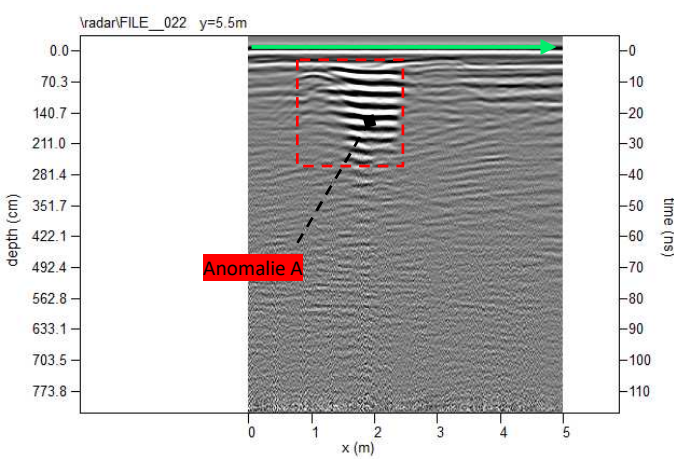


Figure 31 : coupe radar du profil #22

4. Conclusions

Les mesures radar réalisées par Géopat dans la glacière des jardins de l'hôtel de Matignon à Paris (75) dans le but de caractériser les murs et voûtes enterrés et de cartographier les anomalies du sous-sol ont permis de mettre en évidence les principaux éléments suivants :

Au niveau du sondage dans le talus :

- Une hauteur de talus en terre végétale comprise entre 45 et 50 centimètres ;
- Une étanchéité minérale de couleur rose/ocre qui possède une épaisseur comprise entre 20 et 30 mm ;
- Un jointement à base de chaux aérienne blanche

Au niveau de la coupole :

- Un appareillage, de 50 centimètres d'épaisseur, composé de deux lits de pierre avec des pierres boutisses de 30 centimètres de long et des moellons de 15 centimètres ;
- Entre ces deux lits, une fourrure de 5 à 8 centimètres d'épaisseur, avec un remplissage en chaux blanche aérienne présentant des vides marqués,
- Des zones d'humidités marquées au niveau de la partie basse du côté ouest et sur les trois derniers mètres du côté est ;
- Une épaisseur de terre végétale comprise entre 45 et 50 centimètres de hauteur ;
- Une étanchéité de type minérale sur l'extrados de la coupole de 20 à 30 mm d'épaisseur ;
- Les trois sondages ont permis de confirmer une épaisseur moyenne de 50 centimètres.

Au niveau des murs et des voûtes des deux sas :

- Un appareillage composé de deux lits de pierre d'environ 50 centimètres au niveau des reins de voûte et des piédroits et de 35 à 40 centimètres en clé de voûte ;
- Une structure maçonnée, à 1 mètre du sol au niveau de la ligne de naissance, situé à environ 60 à 80 centimètres de hauteur et d'une vingtaine de centimètre d'épaisseur minimum qui pourrait correspondre à un drain ou à un contrefort ;
- Une fourrure de plusieurs centimètres d'épaisseur, avec un remplissage présentant des vides marqués ;
- Des zones d'humidités marquées au niveau des deux piédroits du premier sas et du piédroit est du second sas.

(Les éléments de structure présents au niveau de la ligne de naissance des voûtes au niveau du premier et second sas, n'ont été mis en évidence que lors du traitement des résultats au bureau. Dans l'objectif de mieux les caractériser, il pourrait être nécessaire de réaliser un sondage traversant avec relevé endoscopique).

Au niveau du sol de la glacière :

- Un horizon marqué entre 180 et 200 centimètres de profondeur. Cet horizon peut correspondre à un contact entre deux types de remblai voire un ouvrage enterré ;
- Une anomalie centrale d'environ deux mètres de large, pouvant correspondre à un emplacement d'un ancien élément de structure.

Au niveau du sol à l'extérieur de la glacière

- Une première anomalie, notée A, de 4,5 mètres x 1 mètre, orientée nord-ouest/sud-est qui pourrait correspondre à un ouvrage anthropique enterré (cuve ?) est repérée dès 40 centimètres de profondeur ;
- Une seconde anomalie, notée B proche de la première, est repérée à partir de 50 centimètres de profondeur et pourrait correspondre à un second ouvrage anthropique de 1,5m * 1m ;
- Enfin, une troisième anomalie, notée C, est repérée à gauche de l'entrée de la glacière. Cette anomalie, d'un mètre de côté et repérée à partir de 160 centimètres de profondeur, pourrait correspondre à un ouvrage anthropique enterré (puits ?).

Ces trois anomalies sont repérées sur la figure suivante (Figure 32).

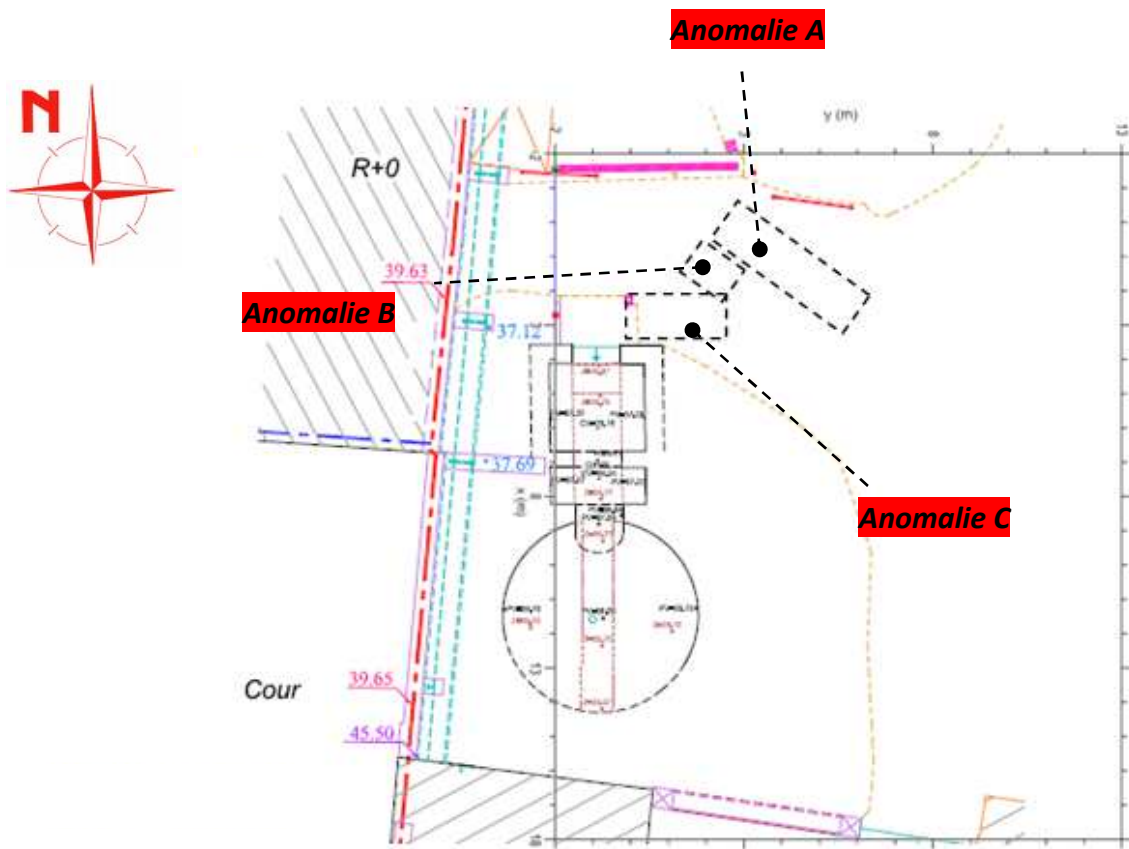


Figure 32 : position des trois principales anomalies situées devant la glacière

Rapport rédigé par :

Arnaud THERASSE

Ingénieur géophysicien

Validé par :

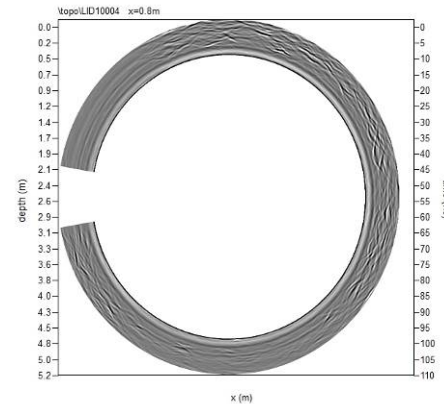
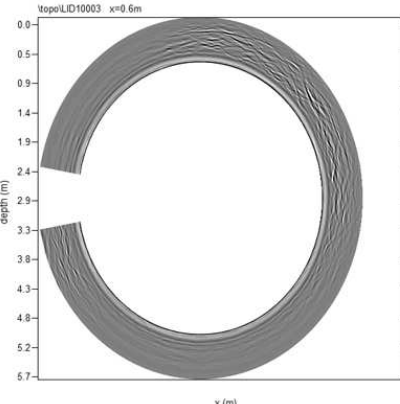
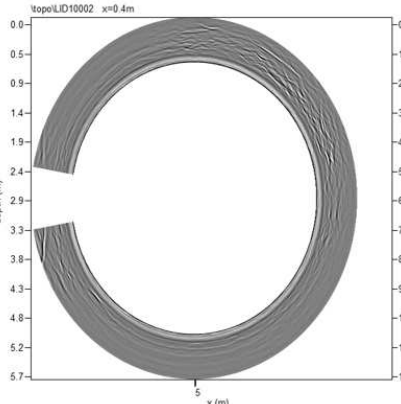
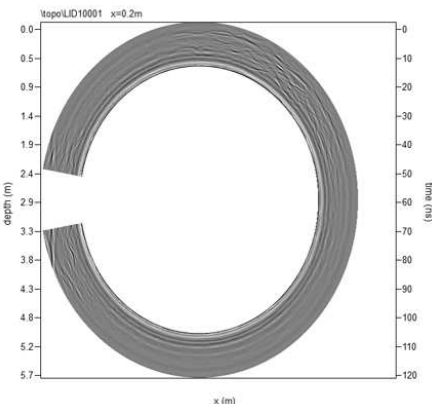
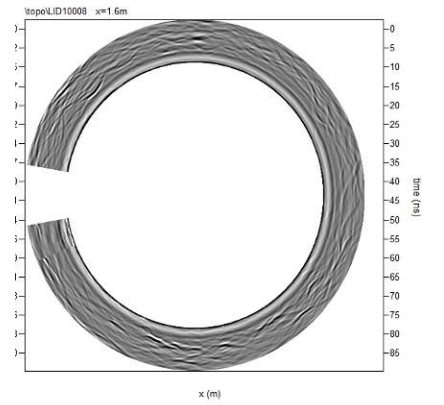
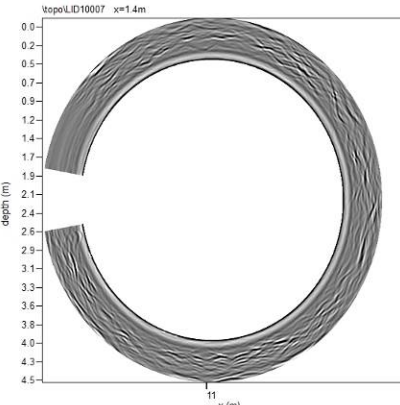
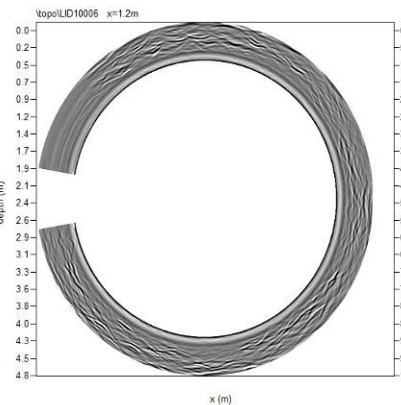
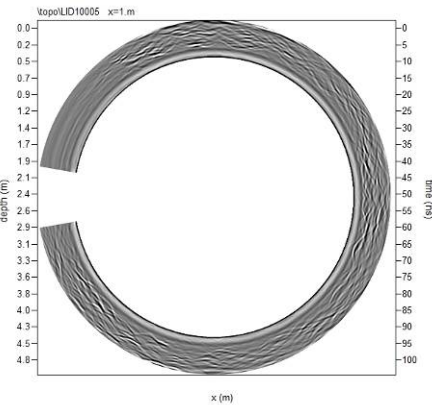
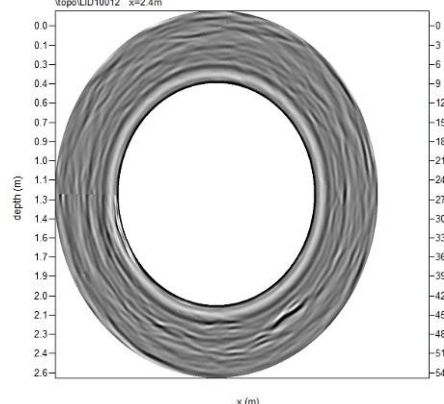
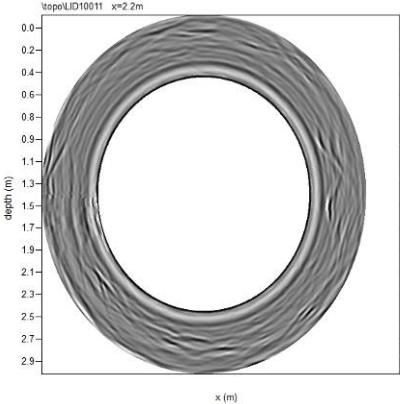
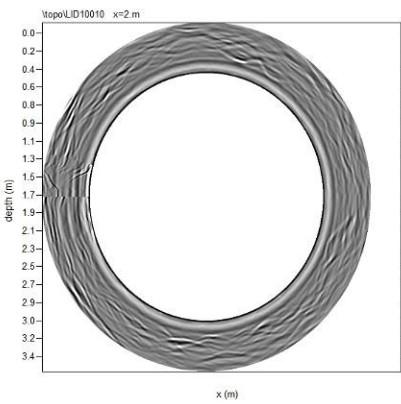
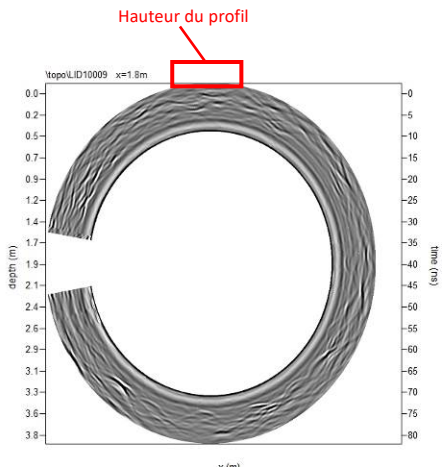
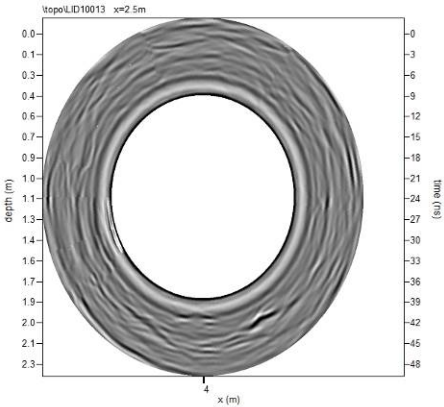
Thibault SEVENET

Ingénieur géophysicien

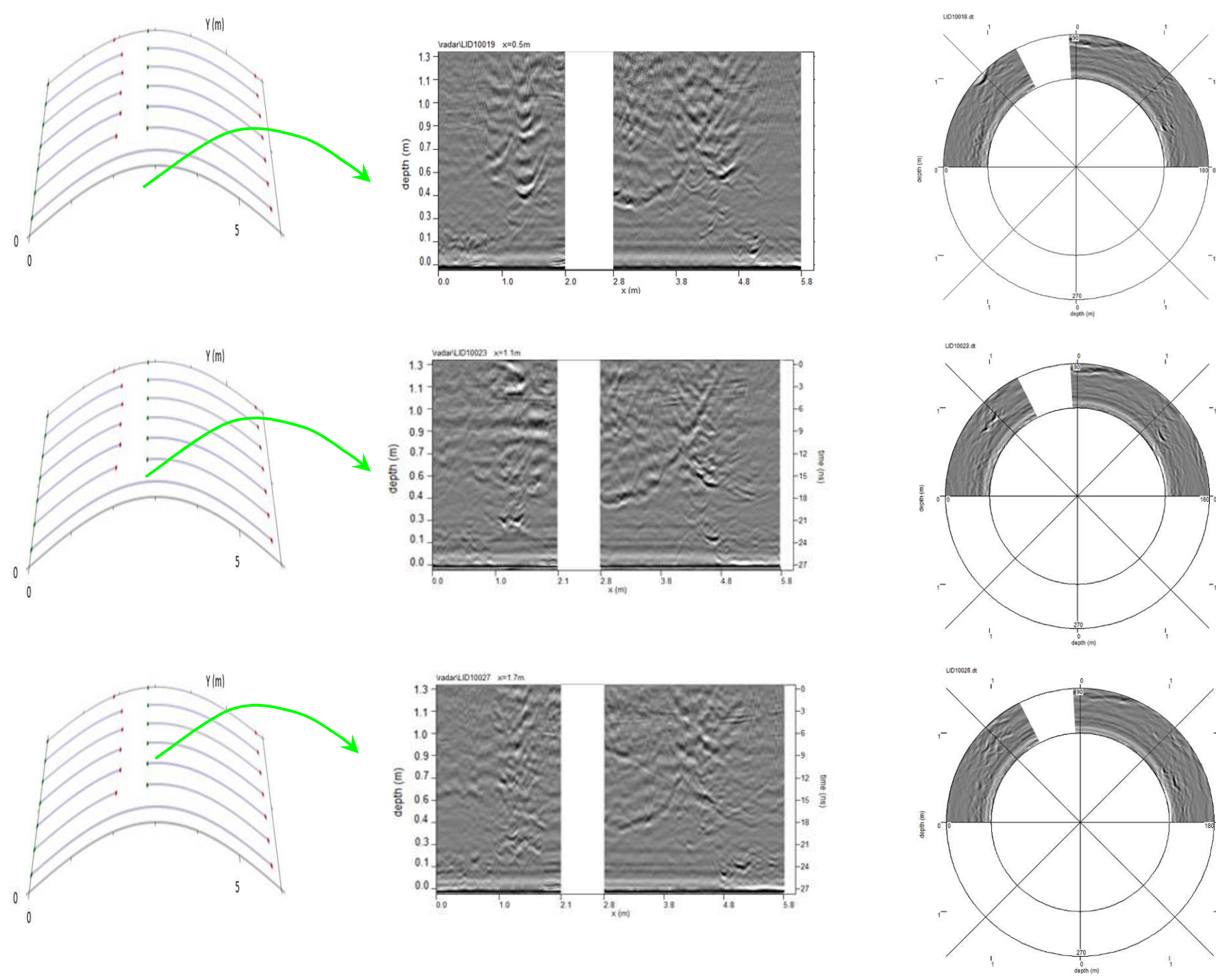
5. Annexes

coupes radar brutes

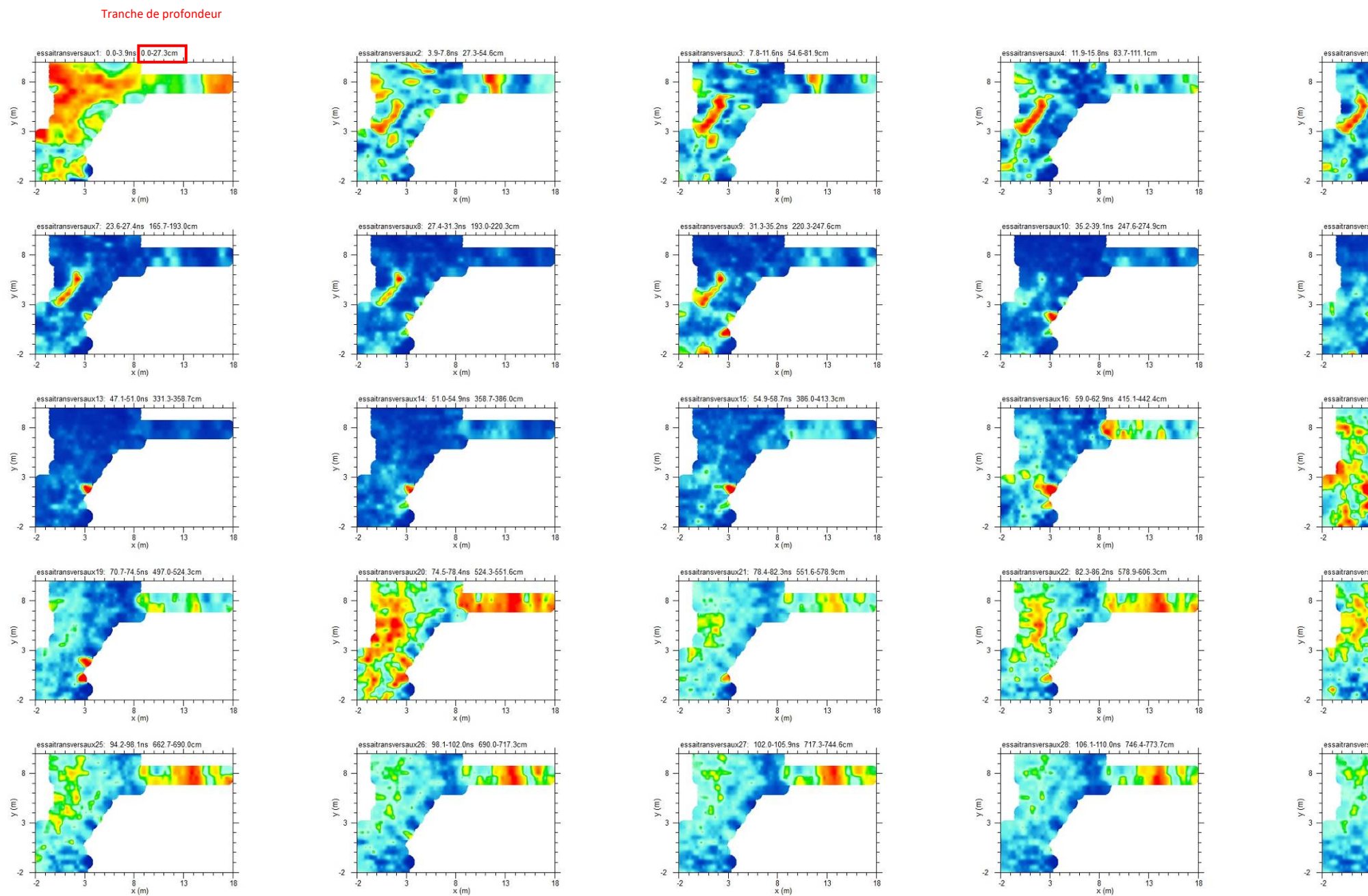
Coupes radar brutes au niveau de la coupole (900Mhz)



Coupe radar brute, non présentée dans le rapport, au niveau du premier sas



Cartographie d'anomalies (antenne 350Mhz)



Matériaux homogènes, compacts et/ou humides

Matériaux hétérogènes, décomprimés, vides

Cartographie d'anomalies (antenne 350Mhz) au niveau du sol intérieur

