

Remediation sites et sols pollués division pyrotechnique



Diagnostic au géoradar

97 rue Pierre de Montreuil
MONTREUIL (93)

SUEZ IDF

prêts pour la révolution de la ressource



SUEZ RR IWS REMEDIATION FRANCE
Division Pyrotechnique
17 rue du Périgord
69330 Meyzieu, France
Tel : +33 (0)4 72 45 02 22
Fax : +33 (0)4 78 04 24 30

Siège social – 17 rue du Périgord
69330 Meyzieu, France
S.A.S au capital de 492 106 €
SIRET 379 578 883 00033
RCS LYON B 379 578 883
APE 3900 Z
TVA-FR 20 379 578 883



Rapport de diagnostic de pollution pyrotechnique



Nombre d'exemplaires à diffuser : 1

A adresser à : Mme LE BAUT - EPFIF

Version	Date	Observations
Version 1	24/01/2018	Établissement du document
Auteur	Vérificateur	Approbateur
Marie NOUVEAU Ingénieur d'études / géophysicienne Division pyrotechnique	Eddy COUTAT Responsable Diagnostics Division pyrotechnique	David GOMEZ Directeur adjoint Division pyrotechnique

Contact division pyrotechnique SUEZ :

Eddy COUTAT
Tel : 06.30.82.60.36
Eddy.coutat@suez.com

**CERTIFICATION DE SERVICE DES PRESTATAIRES
DANS LE DOMAINE DES SITES ET SOLS POLLUÉS**

www.lne.fr

- Système **qualité ISO 9001**, assurant une qualité de service et une capacité à satisfaire des exigences.
- Certifications **MASE – UIC** garantissant un respect strict des mesures de **sécurité**
- Certifications de **service** des prestataires pour **les sites et sols pollués** suivant la norme AFNOR NFX 31-620
- Une **solidité financière** et une garantie d'exécution par l'appartenance au groupe **SUEZ**



SOMMAIRE

SOMMAIRE	3
Liste des figures	4
Liste des tableaux.....	4
AVANT PROPOS	5
I. CONDITIONS D'INTERVENTION	6
I.1 Problématique et objectifs	6
I.2 Description de l'emprise	7
II. MOYENS MIS EN ŒUVRE	8
II.1 Moyens humains et planning des opérations	8
II.2 Moyens matériels	8
III. DIAGNOSTIC.....	9
III.1 Traitement des données RADAR	9
III.2 Maillage de l'emprise	10
III.3 Interprétations des données au géoradar	11
III.4 Résultats.....	12
IV. CONCLUSIONS.....	13
ANNEXES	14
ANNEXE 1 : Glossaire.....	15
ANNEXE 2 : Maillage de l'emprise.....	17
ANNEXE 3 : Cartographie des résultats	19
ANNEXE 4 : Quelques radargrammes.....	21
ANNEXE 5 : Moyens matériels	23



LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de la zone à investiguer (Suez IDF)	6
Figure 2 : photos des zones utilisées encombrées et voies extérieures.....	7
Figure 3 : hangar abandonné.....	7
Figure 4 : Mise en œuvre du géoradar.....	9
Figure 5 : échelle de couleur des radargrammes.....	9
Figure 6 : Radargrammes réalisés sur l'emprise (en violet sur l'image ci-dessus).....	10
Figure 7 : exemple de radargramme	11
Figure 8 : Cartographie des résultats.....	12

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : planning des opérations.....	8
--	---



AVANT PROPOS

Le présent rapport fait état des résultats du diagnostic au géoradar réalisé en janvier 2018 (semaine 3), au 97 rue Pierre de Montreuil à Montreuil (93) afin de mettre en évidence d'éventuels points d'intérêts pour les futurs forages.

Un glossaire est disponible en ANNEXE 1 clarifiant les termes, spécifiques à notre métier, utilisés dans ce rapport.

Les annexes et le corps de ce rapport forment un tout indissociable.



I. CONDITIONS D'INTERVENTION

I.1 Problématique et objectifs

Dans le cadre de travaux de dépollution des sols sur une ancienne blanchisserie, la société SUEZ IDF souhaite réaliser des forages. Afin d'implanter correctement leurs forages, un diagnostic au géoradar a été effectué afin de repérer d'éventuels objets souterrains tel que des réseaux ou anciennes cuves.

Ce rapport présente les résultats du diagnostic au géoradar réalisé sur l'emprise (Figure 1).

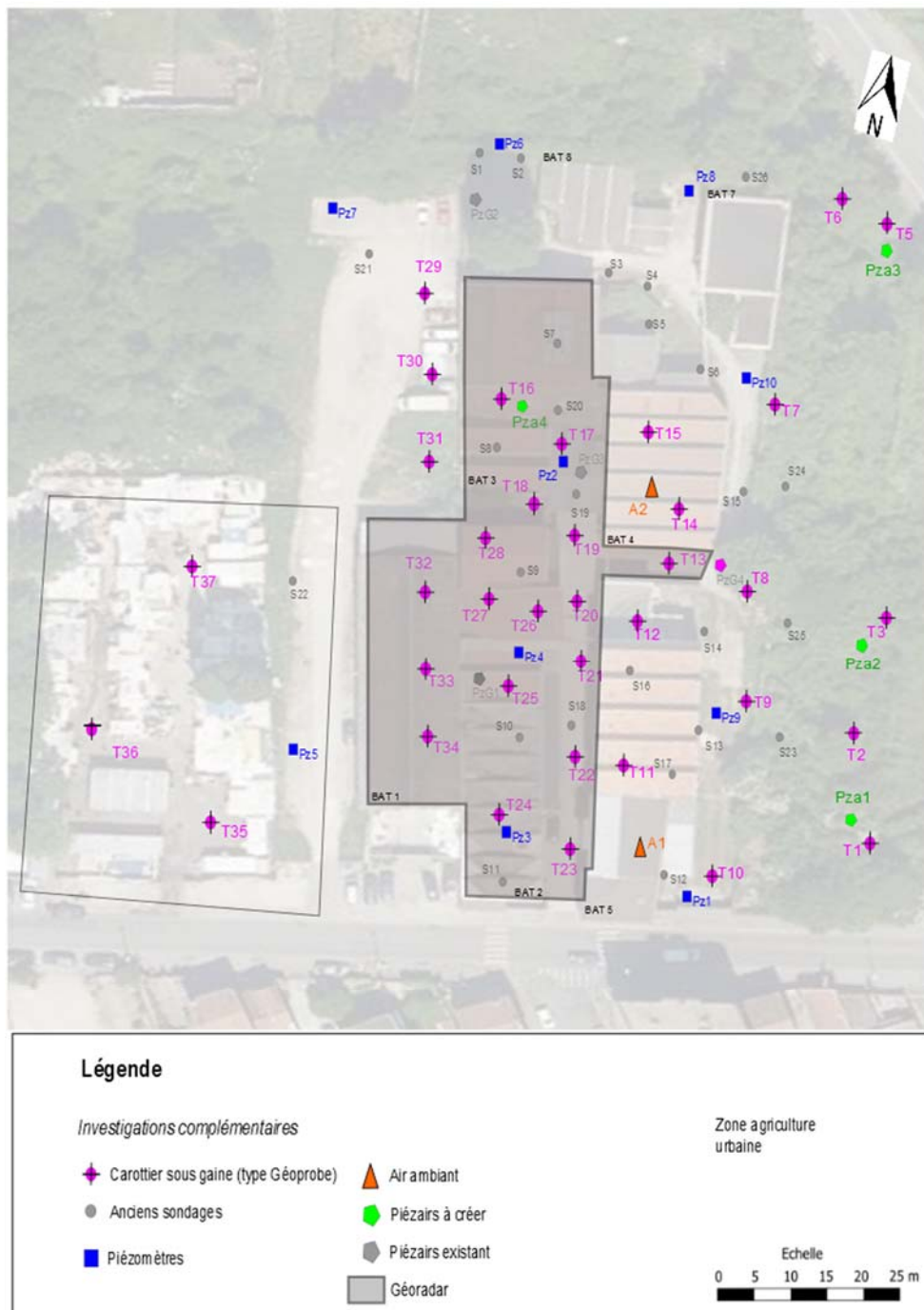


Figure 1 : Schéma de la zone à investiguer (Suez IDF).



I.2 Description de l'emprise

L'emprise est située au 97 rue Pierre de Montreuil à Montreuil (93). Elle est constituée en grande partie par des hangars, encore en activité ou non. Les hangars encore occupés étaient très encombrés par l'activité des entreprises, empêchant leur diagnostic. Une voiture était également stationnée dans le chemin à étudier (Figure 2). Les mesures au géoradar à l'extérieur étaient également limitées par de fortes pluies rendant le sol très humide.



Figure 2 : photos des zones utilisées encombrées et voies extérieures.

Le grand hangar non utilisé était également encombré en partie (Figure 3).



Figure 3 : hangar abandonné.

Etant dans des hangars ou entre des bâtiments, le géoréférencement au D-GPS des profils n'a pu se faire. L'emplacement des profils a été mesuré en relatif et répertorié sur un plan *Autocad* géoréférencé en Lambert 93 – RGF93. Il se peut donc qu'il y est un décalage entre le plan et la réalité. Lors des mesures sur le terrain, les points remarquables au géoradar étaient annotés d'une croix ou d'un point à la peinture jaune directement au sol.



II. MOYENS MIS EN ŒUVRE

II.1 Moyens humains et planning des opérations

Le diagnostic géoradar a été réalisé en janvier 2018 en deux étapes réalisées par Mme NOUVEAU Marie (Tableau 1) ;

- Les mesures géophysiques et les levés topographiques ;
- Le traitement et l'interprétation des données ainsi que la rédaction du rapport.

Tableau 1 : planning des opérations.

	janv-18	
	sem 3	sem 4
Mesures géophysiques		
Traitement et interprétations des données		
Rédaction du rapport		

II.2 Moyens matériels

La méthodologie choisie, de par le contexte et la nature des éléments recherchés, sont :

- Un géoradar avec une antenne 400 MHz et un datalogger GSSI SIR 3000. Cet appareil de détection pour s'affranchir des éléments métalliques de surface.

La description des outils mis en œuvre est consultable en *Annexes 5* de ce rapport.



III. DIAGNOSTIC

III.1 Traitement des données RADAR

Le géoradar utilisé pour l'auscultation des surfaces définie plus haut, est un géoradar de la marque GSSI (Figure 4), équipé d'une antenne mono fréquence de 400 Mhz. Cette antenne permet d'obtenir des images du sous-sol. Cependant, les capacités de détection dépendent fortement de la nature du sous-sol étudié (cf. description du matériel en annexe 5).



Figure 4 : Mise en œuvre du géoradar.

Le géoradar permet d'avoir une coupe profondeur du sous-sol, appelé radargramme, et ainsi de visualiser les éventuelles anomalies (forme, dimensions approximatives, profondeur).

Les anomalies détectées au géoradar sont examinées. Ainsi, les anomalies les plus suspectes (dont les dimensions sont semblables à celles attendues) seront identifiées et leurs positions reportées sur un plan. **En revanche, le géoradar ne permet l'identification que d'objets de taille suffisamment importante pour être détectés et dont la nature contraste suffisamment avec l'encaissant. Ainsi les résultats obtenus ne peuvent être tenus pour exhaustifs.**

Les radargrammes sont interprétés en direct sur le terrain et traités pour vérifications grâce au logiciel REFLEXW. Des filtres sont appliqués afin de faire ressortir au mieux les informations.

Ces filtres ont pour principaux buts :

- La suppression du bruit de fond,
- L'application d'un gain linéaire,
- La correction temporelle.



L'échelle d'affichage (cf. figure 5 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) représente l'amplitude du signal radar.

Cette amplitude est déterminée par le contraste de permittivité diélectrique entre l'encaissant et l'objet recherché.

L'atténuation du signal est ainsi très variable et dépend grandement de la conductivité électrique des matériaux.

Un terrain présentant une forte conductivité électrique atténuera très fortement les ondes radar (amplitude faible, ton « grisé ») et inversement (amplitude forte, ton « noir » ou « blanc »).

Le métal (dont sont certainement constituées les cuves) est considéré comme un réflecteur total et est par conséquent aisément détectable.

Les radargrammes obtenues sont présentés en mètres sur l'échelle horizontale et en temps (ns) sur l'échelle verticale. L'échelle de temps est étudiée sur le logiciel afin de calculer la profondeur des anomalies.

Figure 5 : échelle de couleur des radargrammes



III.2 Maillage de l'emprise

Afin de couvrir au maximum l'emprise malgré les obstacles présents, un maillage a été réalisé sur l'emprise. La figure 6 ci-dessous représente l'ensemble des radargrammes qui ont été réalisés sur l'emprise. **Les zones qui n'ont pas été investiguées ne l'ont pas été car elles étaient rendues inaccessibles par l'occupation des lieux.**

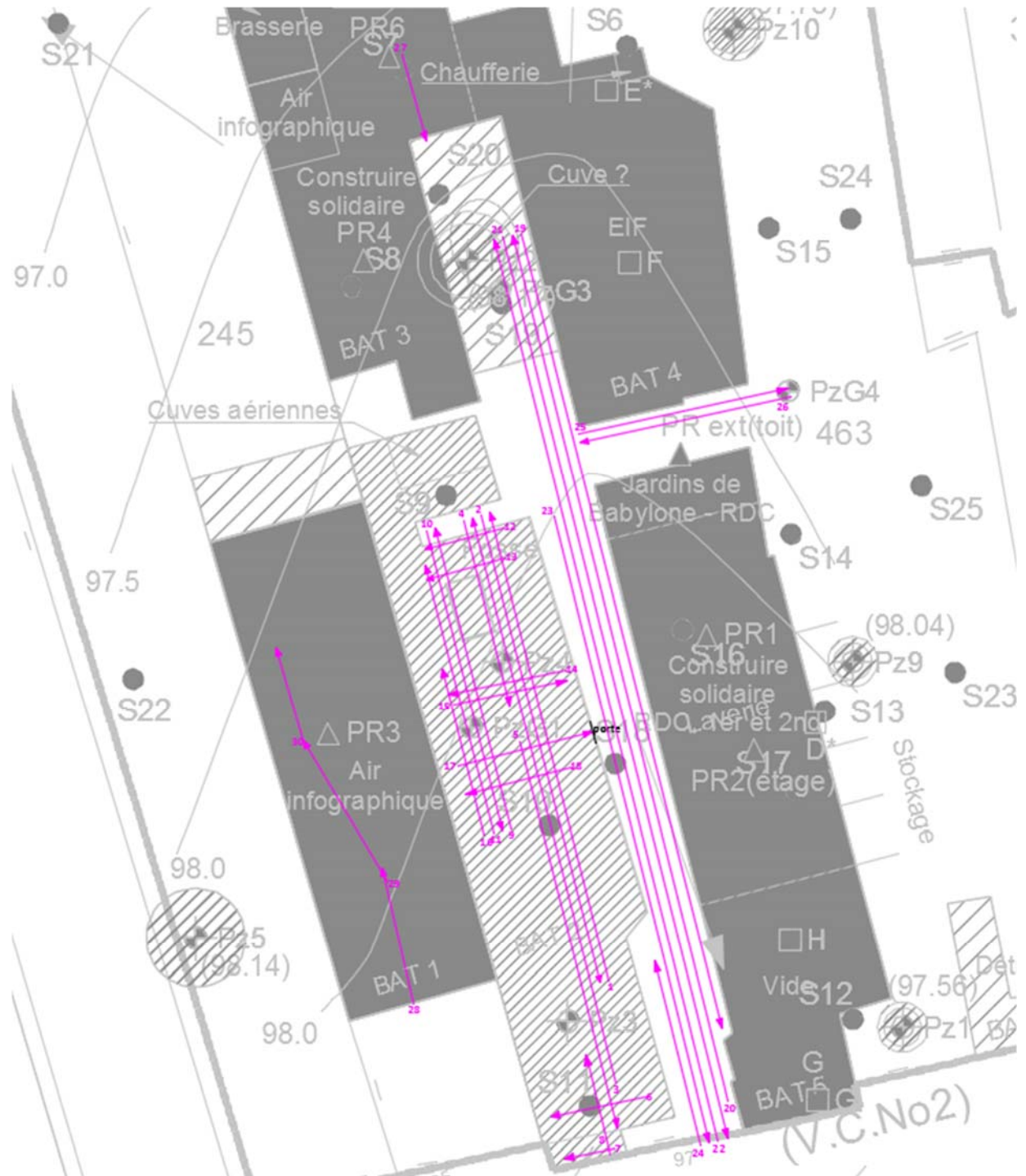


Figure 6 : Radargrammes réalisés sur l'emprise (en violet sur l'image ci-dessus)






III.3 Interprétations des données au géoradar

Le géoradar a été mis en œuvre sur l'ensemble des zones accessibles de l'emprise à diagnostiquer. Au total 30 profils dont la longueur varie d'un profil à un autre (cf. Annexe 2) ont été réalisés. Les conditions climatiques (fortes pluies) au moment du passage de l'engin, ont pu altérer la qualité des résultats, notamment pour les mesures en extérieur, car les ondes électromagnétiques sont fortement atténuées par l'eau.

Un exemple de profil radar obtenu est montré sur la figure 7 ci-dessous. La profondeur maximale atteinte par le diagnostic au géoradar est sur ce site d'environ 1,60 m de profondeur.

Légende de la Figure 7 :

	Eléments hétérogènes dans le sous-sol et en subsurface.
	Ferrailage de dalle béton
	Limites géologiques

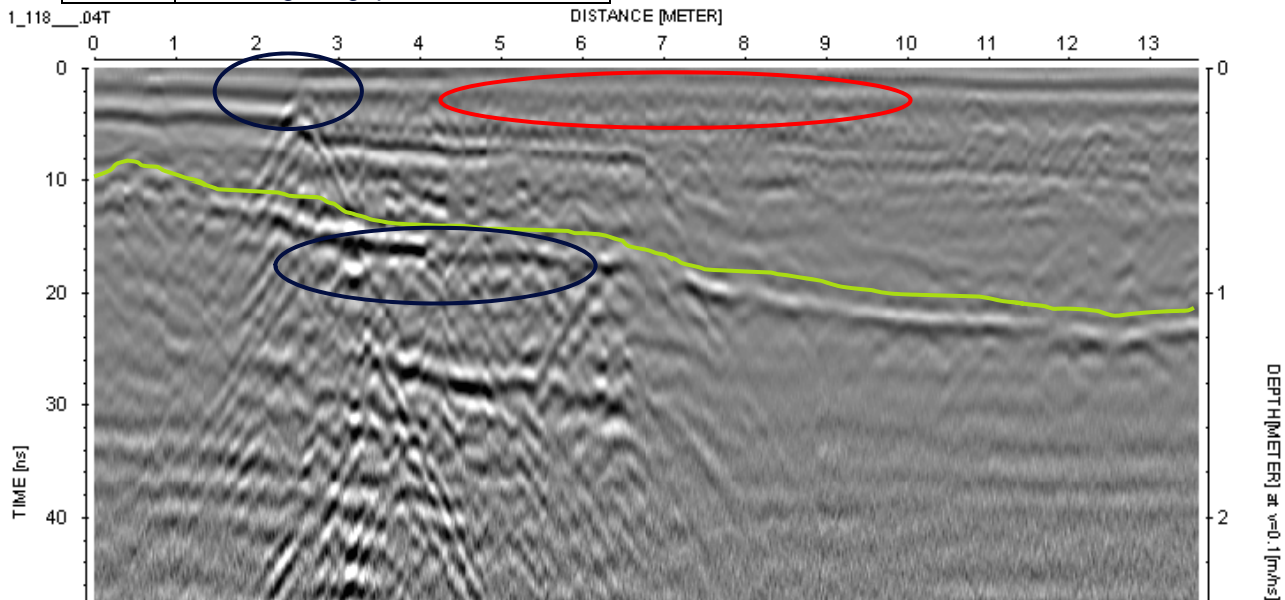


Figure 7 : exemple de radargramme

Les radargrammes sont analysés en direct sur le terrain. Les éléments détectés directement sur le terrain ont été marqués au sol à la peinture jaune.

Ensuite un traitement des données a été réalisé puis une nouvelle interprétation a été réalisée. Les résultats sont représentés sur la Figure 8 ci-après.



III.4 Résultats

La Figure 8 (et fourni en annexe 3 à une échelle adaptée) ci-dessous représente les résultats du diagnostic. Les différents éléments relevés sur les radargrammes sont représentés par les figurés suivants :

- Des ronds noirs représentent les objets de surface et subsurface tels que des regards etc...
- En marron des zones remaniées ou de remblais.
- En rouge les hétérogénéités dont les signatures au géoradar s'apparentent à des objets isolés.

Cependant l'interprétation des mesures n'a pas permis de mettre en évidence de manière nette la présence de réseaux, cuves ou autres. Les éléments représentés sur la cartographie ci-dessous sont les éléments anthropiques les plus significatifs relevés sur l'emprise diagnostiquée.

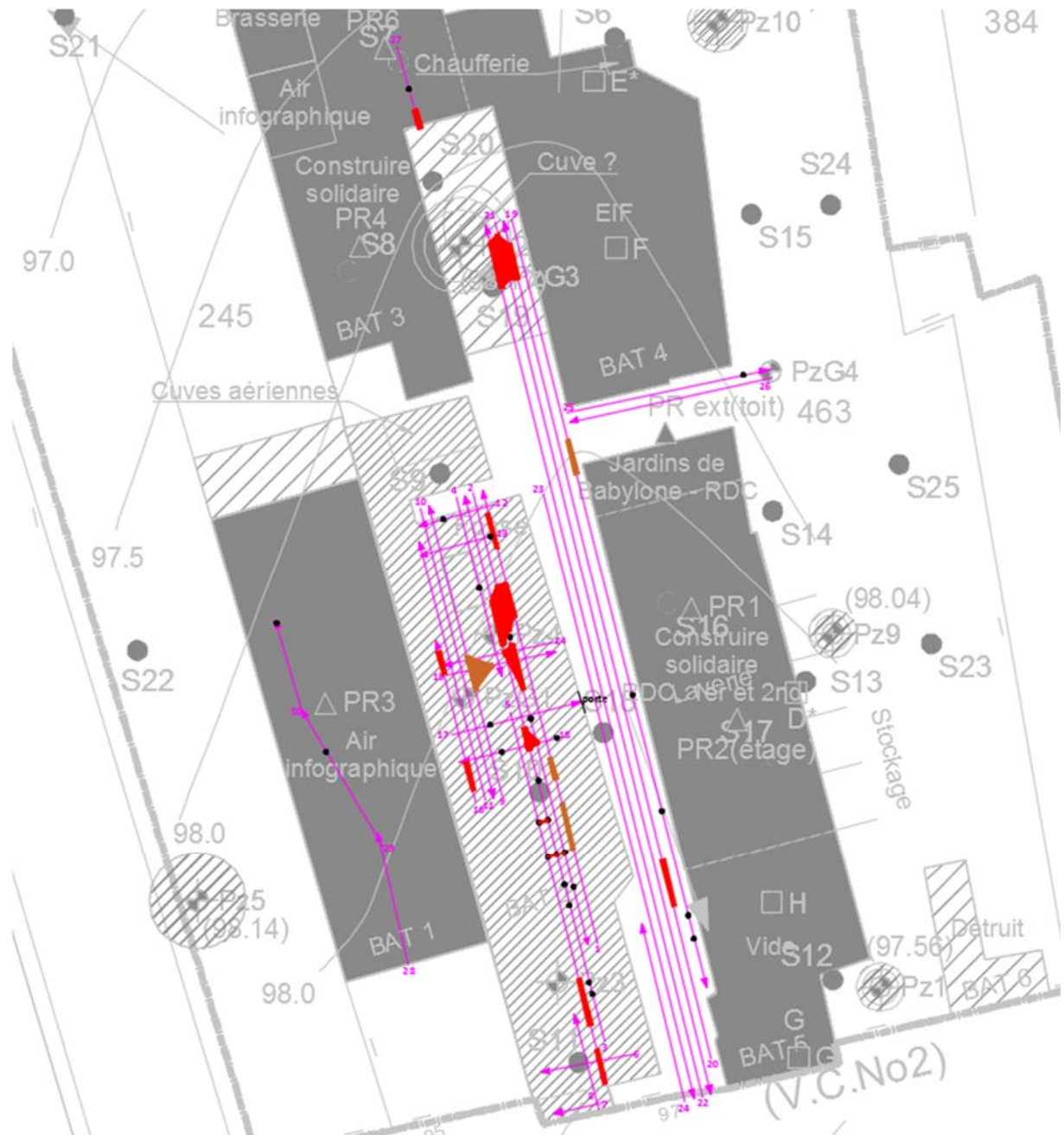


Figure 8 : Cartographie des résultats.



IV. CONCLUSIONS

Des moyens de détection géophysiques adaptés aux conditions apparentes de surface ont été utilisés pour la recherche d'éléments enfouis (géoradar).

Ce sont 30 profils géoradar qui ont été réalisés afin de couvrir les surfaces disponibles sur l'emprise. L'interprétation des données n'a pas mis en évidence d'éléments tels que des cuves ou fosses.

Ont alors été relevés les éléments les plus probants qui ont pu être détectés.

Ont été relevés :

- Les objets de surface et subsurface tels que des regards etc...
- Les zones remaniées ou de remblais.
- Les hétérogénéités dont les signatures au géoradar s'apparentent à des objets isolés de différentes tailles.



ANNEXES



ANNEXE 1 : GLOSSAIRE



GLOSSAIRE

Anomalie : Objet dont les propriétés géophysiques diffèrent de celles de l'encaissant.

Capacité de détection : Profondeur et largeur d'investigation possible d'un dispositif.

Caractérisation : Analyse des paramètres physiques ou non (taille de l'anomalie, intensité de la valeur physique mesurée...) afin de déterminer la famille d'appartenance de l'objet (pyrotechnique ou non, grosseur du calibre...).

Cible : Objet dont les propriétés géophysiques diffèrent de celles de l'encaissant et dont la signature géophysique pourrait s'apparenter à l'objet recherché.

Conditions de surface : Etat du terrain pouvant impacter à la fois la praticabilité de celui-ci avec les appareils de mesure (végétation dense, obstacles...) mais aussi l'impact sur les mesures (objets métalliques en surface ou subsurface pouvant altérer l'interprétation).

Datalogger : Unité d'acquisition des appareils de mesure.

Discrimination visuelle : Opération de réduction du nombre de cibles par comparaison avec les objets de surface ou réseaux existants.

Engin pyrotechnique : Engin (partiel ou complet) de guerre pouvant contenir de la substance active (engin actif) de type explosive, incendiaire, chimique... ou en étant dépourvu (engin inerte).

Géoréférencement : Opération consistant à positionner un objet sur un plan ou une carte à l'aide de ses coordonnées géographiques. Ces coordonnées sont exprimées dans un des systèmes de projection français (Lambert, Lambert 93, Lambert II étendu, ...) et permet de pérenniser les résultats.

Magnétométrie fluxgate : Méthode mesurant les composantes vectorielles du champ magnétique. Les magnétomètres fluxgate possédés par SITA Remediation_SUEZ mesurent la composante verticale du champ magnétique. Le dispositif étant monté en gradiomètre la mesure obtenue peut être assimilée au gradient vertical du champ magnétique. L'unité de mesure est le nT/m (nanoTesla par mètre).

Matériaux ferromagnétiques : Constitué principalement de fer mais aussi de nickel ou de cobalt. Placés dans un champ magnétique, ces matériaux ont la propriété de s'aimanter (devenir magnétiques). En plus d'une aimantation induite (causée par la champ magnétique ambiant). Ils possèdent une aimantation rémanente, c'est-à-dire qu'ils ont la capacité de conserver leur aimantation lorsque le champ magnétique est coupé.

Métaux ferreux (ferrailles) : Tous les alliages provenant du fer (fontes, aciers, fer blanc ...).

Métaux non ferreux : Les principaux sont l'aluminium, le cuivre, le zinc, le nickel, le plomb, le titane, l'argent et l'étain et certains alliages comme le zamak, le bronze et le laiton.

Moment Magnétique : Vecteur traduisant la capacité d'un matériau à s'aimanter.

nT : Pour nanoTesla équivalent à 10^{-9} Tesla, unité de mesure du champ magnétique.

Pollution pyrotechnique : Présence d'engins pyrotechniques ou substances explosives sous toutes leurs formes à la surface ou enfouis dans le sol d'une emprise.

Risque pyrotechnique : Menace engendrée par un engin pyrotechnique ou des matières explosives.

Surface « audible » : Surface permettant la mise en œuvre d'un dispositif selon les conditions de surface (cf.définition). Ce terme est propre à notre métier.

Surfaces diagnostiquées : Superficies à l'aplomb desquelles les appareils de détection ont été mis en œuvre.

Surfaces sécurisées : Superficies correspondantes aux surfaces diagnostiquées sur lesquelles aucune signature suspecte n'a été retenue.


Zone perturbée : Surface remarquable présentant des effets de saturation possédant de nombreuses anomalies métalliques d'origines anthropiques (déchets gravats, mobilier urbain) et peuvent dans certains cas être d'origine géologique (latérites, roches ferromagnétiques).

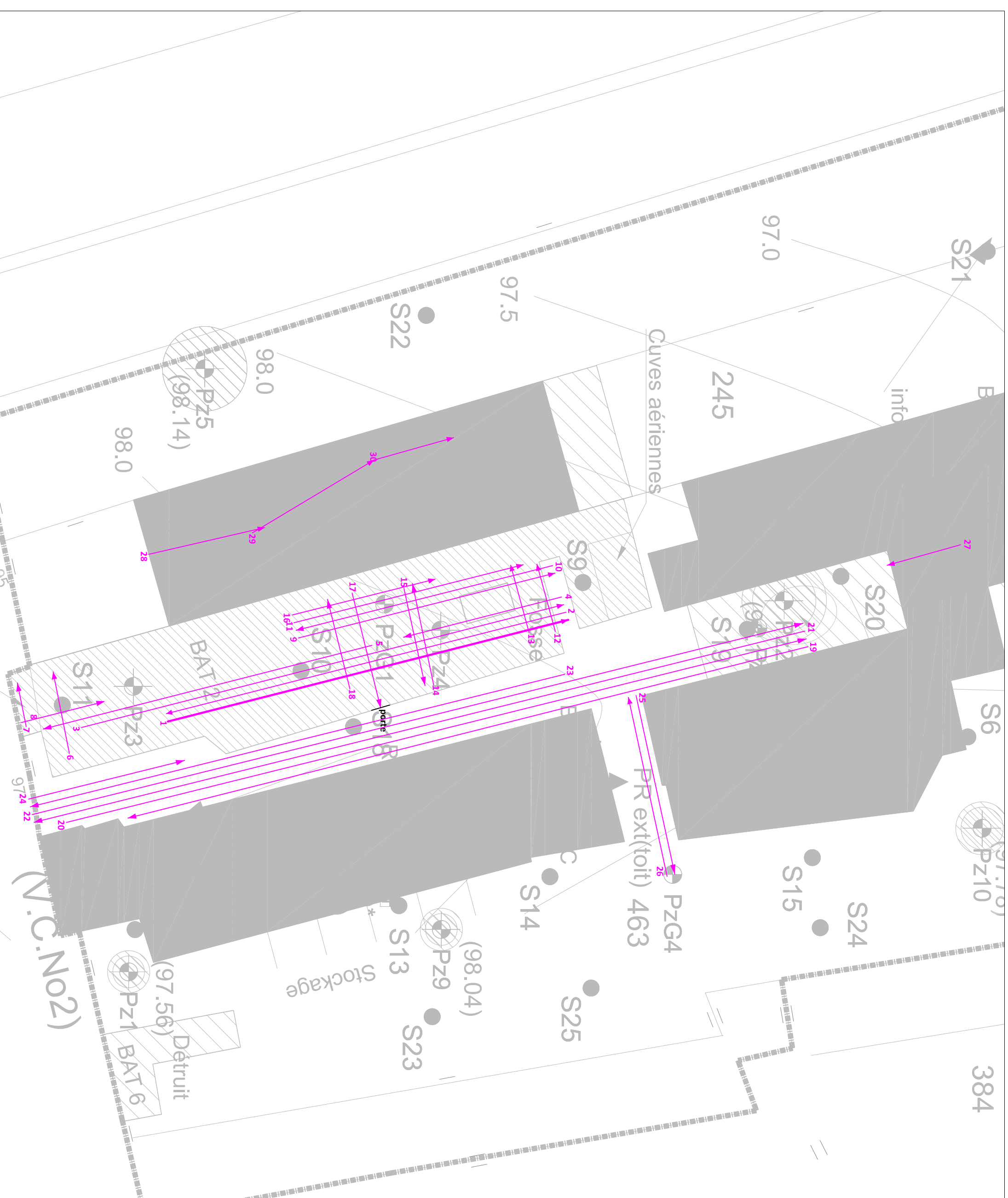
Zone saturée : Surface remarquable possédant de nombreuses anomalies dont la quantité ne peut être estimée et la discrimination ne peut être effectuée.



ANNEXE 2 : MAILLAGE DE L'EMPRISE

— Profils géoradar réalisés sur l'emprise





Diagnostic géoradar	
Vision n°1	Date de création : 10/07/2018 Date d'enregistrement : 10/07/2018
Adresse du site : 95 rue Pierre de Montreuil MONTREUIL (93)	
Nom du fichier : dmg	Destinateur : MN Affaire suivie par : EC
<p style="text-align: center;">  <small>Coordonnées géographiques</small> <small>Système : UTM</small> <small>Projet : 1000</small> <small>Zone : 18U</small> </p>	

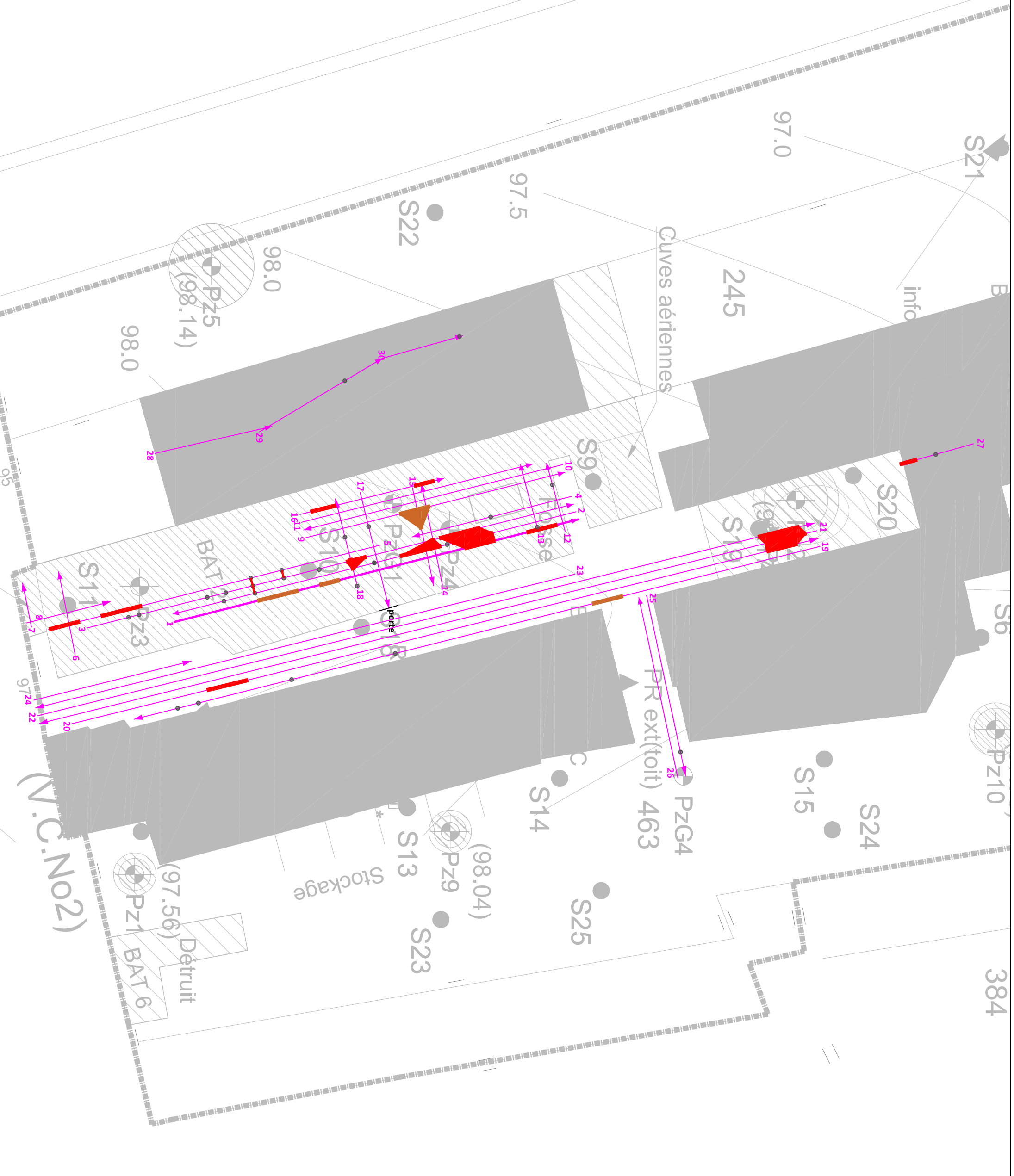





ANNEXE 3 : CARTOGRAPHIE DES RESULTATS

Légende :

-  Profil géoradar réalisés sur l'emprise
-  Anomalies ponctuelles de surface ou sub-surface (regards etc...)
-  Hétérogénéités du sous-sol
-  Zones d'entoussissement / remaniées



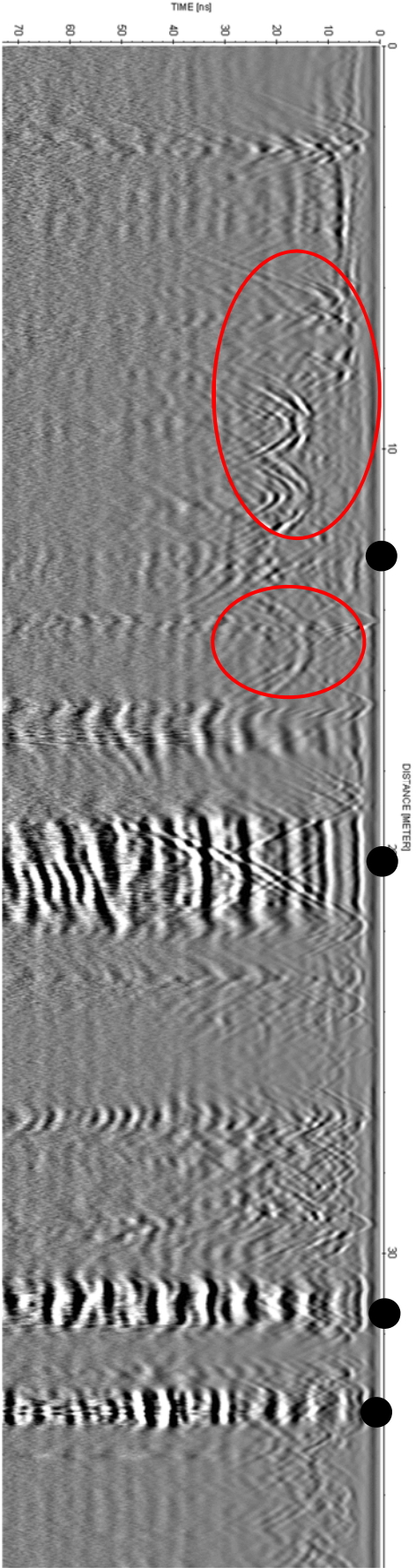
Diagnostic géoradar

Vision n°1		Date de création : 08/06/2016		Coordonnées géographiques	
Adresse du site :		Date d'enregistrement : 27/06/2016		Système : IGT 30	
Plateau Campagnard Rue du Commandant Cousteau LE HAWE (79)				Profil : 100%	
Nom du fichier :		Numero d'affaire :		Dessinateur - HC / MW	
Homologation_Diag_0616.dwg		US 16 0260		Affaire suivie par - EC	
		DIVISION PROTECHNIE 17, rue du Ferfjord 69330 METZIEU ☎ : 04 72 45 02 22 ☎ : 04 78 04 24 30			

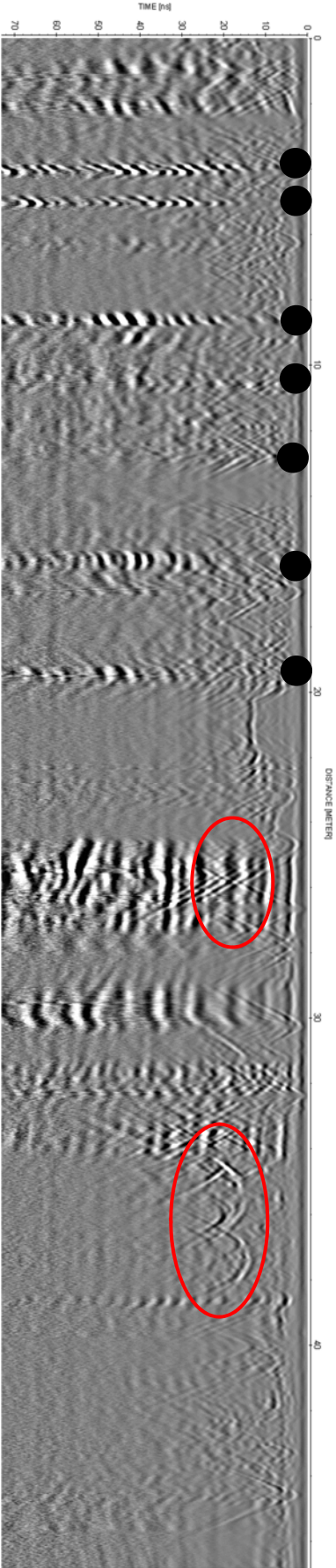


ANNEXE 4 : QUELQUES RADARGRAMMES

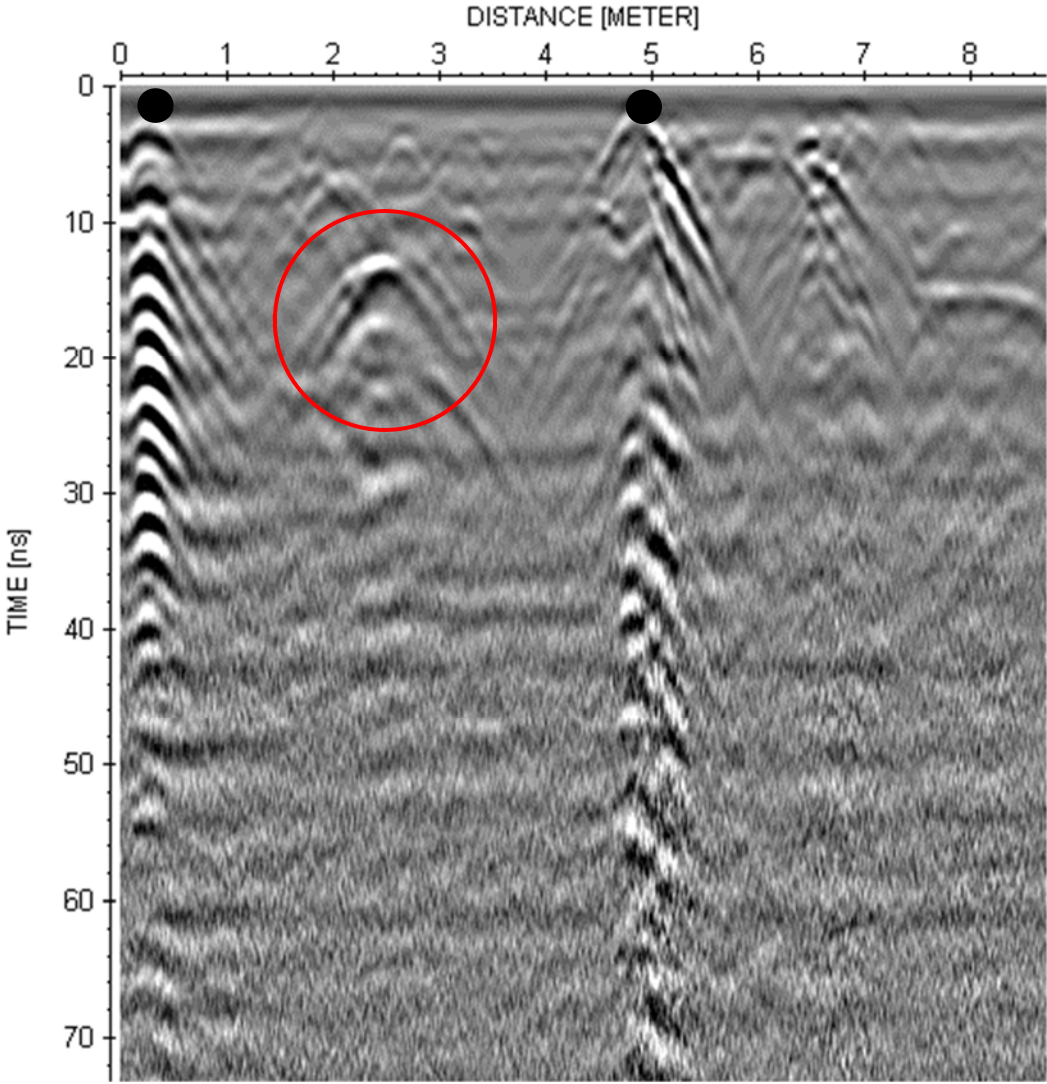
Profil 2 :



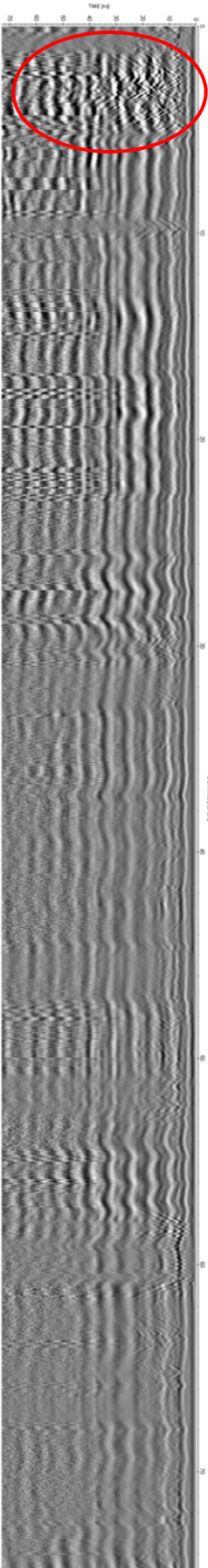
Profil 3 :



Profil 18 :



Profil 21 :





ANNEXE 5 : MOYENS MATERIELS

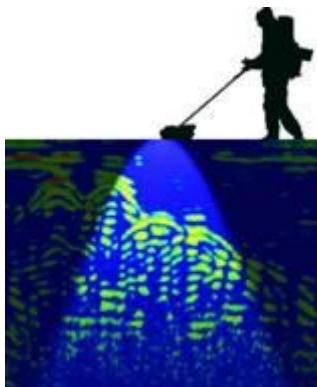
ELECTROMAGNETISME A IMPULSION



GEORADAR

SITA Remédiation est équipé d'un géoradar, permettant une auscultation non destructive du sous-sol. Cette méthode, basée sur la propagation et la réflexion d'une onde électromagnétique dans le sol, permet d'obtenir une imagerie précise des sols et structures traversés.

Le système radar ou GPR (Ground Penetrating Radar) est composé d'une antenne émettrice-réceptrice commandée par une unité d'acquisition. Pour un positionnement précis des mesures effectuées, ce dispositif peut être couplé à une **roue codeuse** ou un **GPS**. SITA Remédiation dispose d'une antenne de **200 MHz et de 400 MHz**.



Cette méthode offre la meilleure résolution horizontale et verticale lorsque l'objet, de par sa taille et sa nature, est détectable.

La qualité de la détection radar est fortement contrainte par la nature du sol encaissant. Les terrains les plus propices à la pénétration des ondes radar sont les sols sableux secs et les roches massives indurées (granite, calcaire, béton). Les terrains humides et/ou argileux ainsi que les sols très conducteurs peuvent altérer drastiquement la propagation des ondes radar dans le sol.



L'antenne radar est traînée sur le sol, envoyant une **onde électromagnétique** haute fréquence à travers celui-ci. Cette onde émise va être réfléchiée par les différentes couches de terrains et matériaux qu'elle va rencontrer dans le sous-sol. Cette onde va être réfléchiée par les terrains et matériaux ayant des propriétés **diélectriques** différentes selon leur nature.

L'imagerie obtenue s'appelle un **radargramme**. Cette image correspond à une coupe temps - profondeur des sous-sols investigués et fait figurer les changements de faciès ou les objets rencontrés.



ELECTROMAGNETISME A IMPULSION

L'EXPERT
DES SITES ET SOLS POLLUÉS



SITA

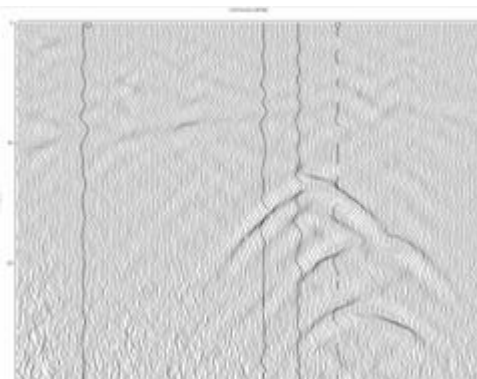
GEORADAR

ÉLÉMENTS CLÉS

GSSI SIR 3000

Les mesures sont généralement effectuées le long de profils parallèles. L'espacement entre les profils est choisi en fonction de la taille de l'objet recherché. Les surfaces à investiguées sont découpées comme sur le schéma ci-dessous.

Afin d'augmenter la résolution des mesures, ces dernières sont faites dans 2 directions perpendiculaires.



Quelques chiffres :

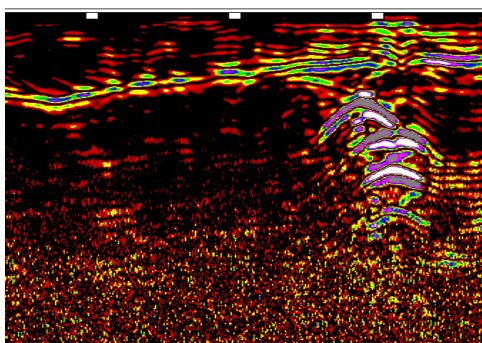
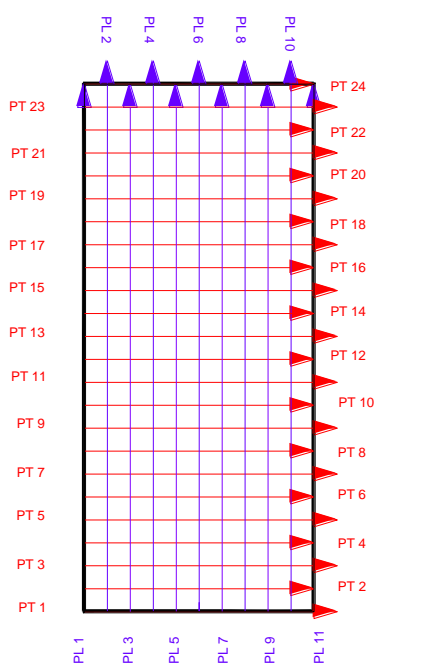
Profondeur approximative d'investigation pour une antenne de 200 MHz : **3 m**
pour une antenne de 400 MHz : **2 m**

Mots clés :

- Propriétés diélectrique
- Radargramme
- Onde électromagnétique
- Profondeur d'investigation
- Résolution

Avantage du dispositif :

- Affichage des radargrammes en temps réel
- Haute résolution horizontale et verticale
- Rapidité de montage



Les radargrammes obtenus (images ci-dessus) représentent en abscisse la distance parcourue et en ordonnées la profondeur. Les couleurs sont appliquées en fonction de l'échelle de couleur choisie.



CONTACT

SITA Remediation SAS
17, rue du Périgord
69330 MEYZIEU
Tel : +33 (0)4 72 45 02 22
Fax : +33 (0)4 78 04 24 30
www.sitaremediation.fr

SITA REMEDIATION
la terre au sens propre