SOLDATA
GEOPHYSIC

(Anciennement E.D.G)

Site industriel Indivision NAVARRA
MARCHEPRIME (33)

NAVARRA

PROSPECTION GEOPHYSIQUE

Cartographie de sols pollués par méthode radar et conductivimètre EM61

Référence Client	Référence Prestataire
Indivision Jean-Fernand NAVARRA 1, rue de Talence 33000 BORDEAUX 05.56.90.95.58	SOLDATA GEOPHYSIC Agence Nord et Ouest Parc de l'île – 21 rue du Port 92022 NANTERRE CEDEX Tel : 01.41.44.46.46 / Fax : 01.41.20.06.57 contact@soldata-geophysic.com www.soldata-geophysic.com

SDG est membre de L'AGAP (Association pour la Qualité en Géophysique)

Indices		Etabli par		Vérifié par		Validé par	
N°	Date	Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
0	18/07/2012	S. ROBEERT		O. FONTANARAVA		F. RENALIER	
1							
2							
3							
4							

Affaire n°	ERP n°	Spécialité	Sous Spécialité
12.06.168/33	00021500	OE	RA – EM61

TABLE DES MATIERES

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES PLANCHES

1. INTRODUCTION

1.1. INTERVENANTS

1.2. CLIENT FINAL

Indivision Jean-Fernand NAVARRA
1, rue de Talence
33000 Bordeaux
Tel : 06.19.59.25.14

1.2.1. MAITRE D'OUVRAGE

Indivision Jean-Fernand NAVARRA
1, rue de Talence
33000 Bordeaux
Tel : 06.19.59.25.14

Interlocuteur : R. NAVARRA

1.2.2. PRESTATAIRE

SOLDATA GEOPHYSIC
21, rue du port,
92022 NANTERRE CEDEX
Tel : 01.41.44.46.46
Fax : 01.41.20.06.57

Interlocuteur :S. ROBERT,
simon.robert@soldata-geophysic.com
Tel : 01.41.44.85.19

1.3. CONTEXTE ET OBJECTIFS DE L'ETUDE

Dans le cadre de futurs travaux de construction et à la suite d'arrêtés préfectoraux, sur le site industriel rue de Silice à Marcheprime (33), une auscultation géophysique a été demandée à la société SOLDATA Geophysic afin de cartographier les sols pollués et objets enterrés (fosses, munitions, bandes transporteuses, ...) situés dans les 3 premiers mètres.

1.4. PROGRAMME D'ETUDE

Pour ce type d'étude, SOLDATA Geophysic préconise la réalisation d'une prospection par RADAR 400 MHz et à l'aide d'un EM61.

1.5. CAMPAGNE DE MESURE

Les mesures EM61 ont été réalisées les 26 et 27 juin 2012 par M. HULARD, opératrice géophysicienne et S. ROBERT, ingénieur géophysicien.
Les mesures radar ont été réalisées les 26 et 27 juin 2012 par S. ROBERT, ingénieur géophysicien.
Le traitement des données a été réalisé par P. CHARPILLON, ingénieur géophysicienne et S. VIALLE-GUERIN, opératrice géophysicienne et la rédaction du présent rapport a été réalisée par S. ROBERT. Celui-ci a été validé par F. RENALIER, ingénieur géophysicienne et superviseur d'études.

2. CONTEXTES GEOGRAPHIQUE ET GEOLOGIQUE

2.1. CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

La zone d'étude est située au sud-est de la commune de Marcheprime (33), au niveau de l'ancien site industriel rue de la Silice.

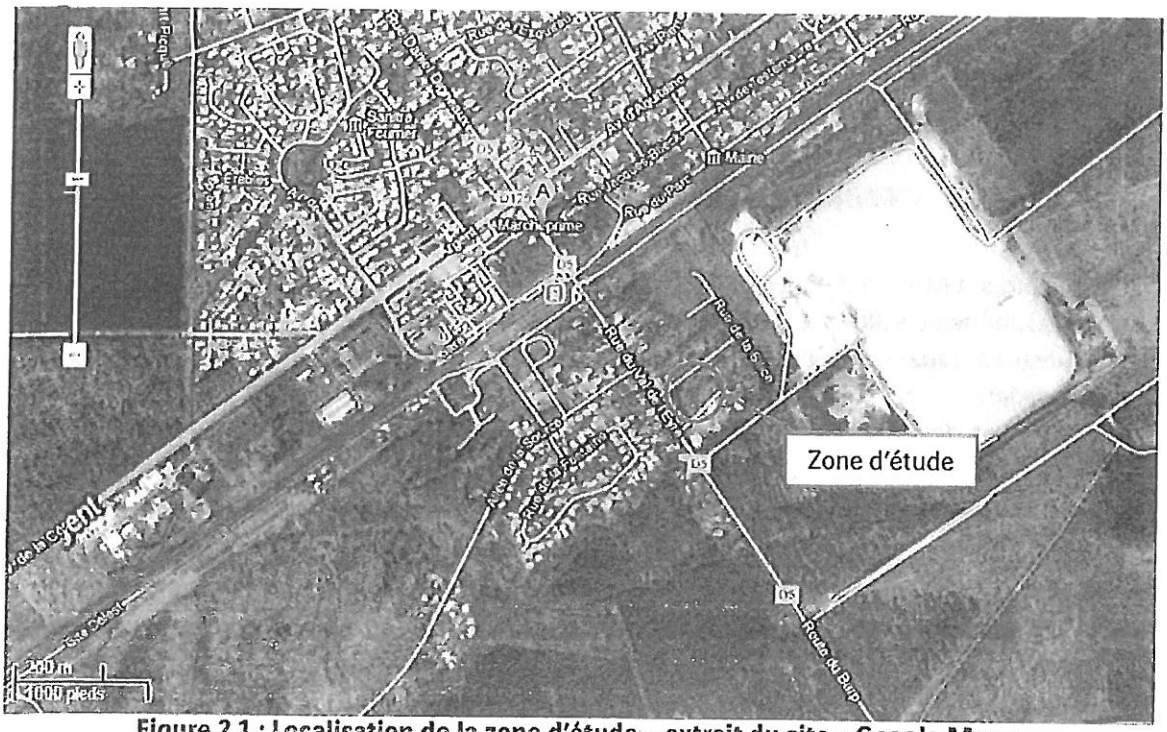


Figure 2.1 : Localisation de la zone d'étude – extrait du site « Google Map »

2.2. CONTEXTE GEOLOGIQUES

D'après l'extrait de la carte géologique et sa légende (Cf. Figure. 2.2 et 2.3), le site présente un ensemble de formations fluvio-éoliennes de type sableux (avec présence de silts et/ou argiles par séquence) sur les trois premiers mètres d'investigation concernant cette étude.

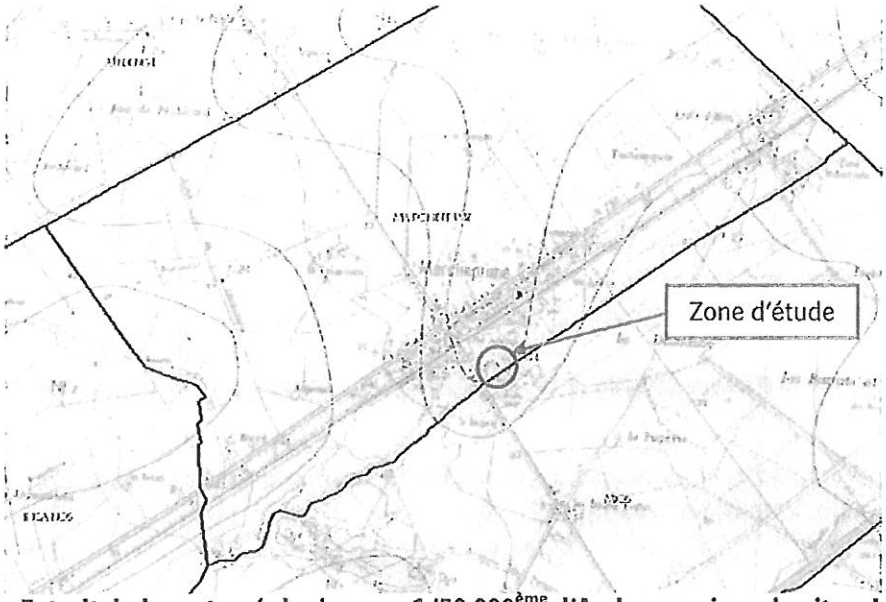


Figure 2.2 : Extrait de le carte géologique au 1/50 000ème d'Audenge – issu du site « InfoTerre »

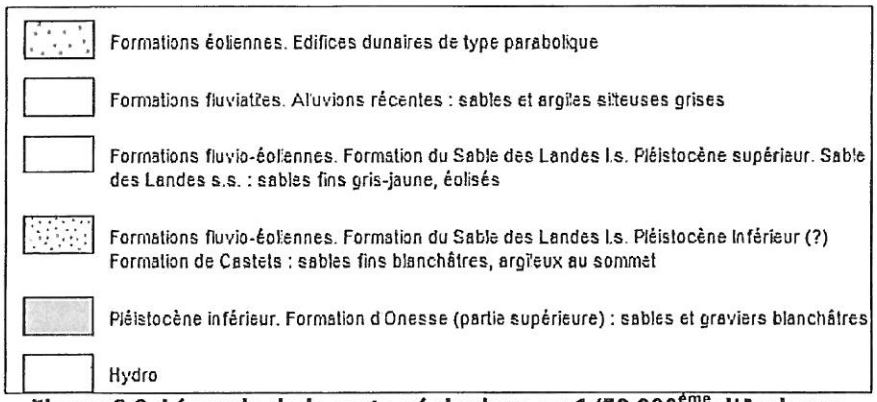


Figure 2.3 :Légende de la carte géologique au 1/50 000ème d'Audenge

3. MOYENS MIS EN ŒUVRE

Ce chapitre décrit les moyens mis en œuvre pour la méthode radar moyenne fréquence et conductivimètre EM 61.

3.1. PRECISIONS COMMUNES A TOUTES LES PROSPECTIONS

Toutes les techniques appliquées ici suivent les recommandations du document "Géophysique appliquée - Code de Bonne Pratique".

3.2. METHODE RADAR MOYENNE FREQUENCE

3.2.1. QUANTITES ET IMPLANTATION DES MESURES

L'implantation des profils radar est fournie en Annexe A1 de ce présent rapport.
Un maillage de 2m par 2m a été réalisé dans la mesure du possible. Ainsi :

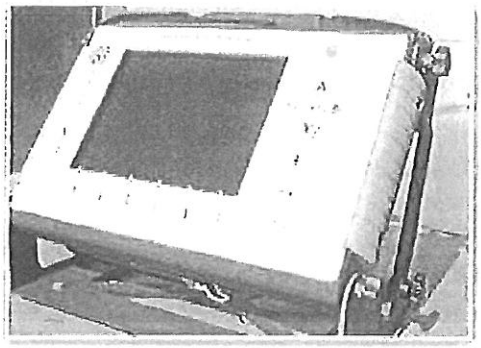
- **22 profils d'au maximum 84 ml** ont été acquis parallèlement à l'axe Nord-ouest (**axe longitudinal**) sur le bloc A.
- **43 profils d'au maximum 42 ml** ont été acquis perpendiculairement à l'axe Nord-ouest (**axe transversal**) sur le bloc A.
- **18 profils d'au maximum 35 ml** ont été acquis parallèlement à l'axe Nord-ouest (**axe longitudinal**) sur le bloc B.
- **18 profils d'au maximum 35 ml** ont été acquis perpendiculairement à l'axe Nord-ouest (**axe transversal**) sur le blocB.

Une surface d'environ 5050 m² a ainsi été auscultée.

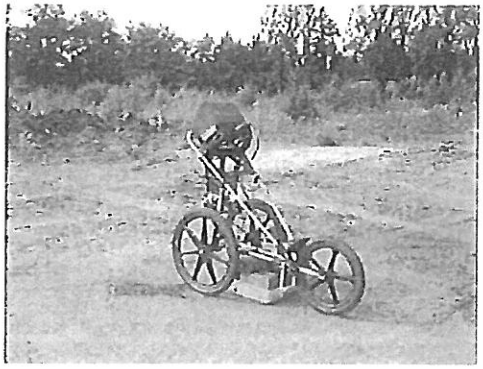
3.2.2. EQUIPEMENT UTILISE

L'équipement radar utilisé pour la cartographie de sols pollués est composé :

- d'un système d'acquisition **GSSI** de type **SIR-3000.**
- d'une antenne radar **GSSI** de fréquence centrale de **400 MHz**, soit une **profondeur d'investigation théorique voisine de 3 m.**



Unité centrale GSSI - SIR 3000



Antenne radar GSSI (400 MHz) sur utility scan

Figure 3.1 : Equipement radar moyenne fréquence

3.2.3. PARAMETRES D'ACQUISITION

Les principaux paramètres d'acquisition utilisés lors des investigations sont :

- **Range (fenêtre d'écoute)** : 70 ns
- **Scans/unit (nombre de « tirs » radar par mètre)** : 45
- **Nombre de point de gain** : 3
- **Filtre HP (filtre passe haut)** : 50 MHz
- **Filtre LP (filtre passe bas)** : 1200 MHz

3.2.4. TRAITEMENT DES DONNEES

Afin d'améliorer le rapport signal/bruit et la lisibilité d'un radargramme, un certain nombre de traitements peuvent être appliqués. Ils sont cités dans le tableau ci-après :

METHODE	OBJECTIF
Correction du temps zéro	Suppression de l'onde directe dans l'air
Background removal	Suppression des fréquences parasites liées au milieu environnant
Display and Range Gain	Amplification des signaux à l'aide d'une fonction gain

Le logiciel **RADAN 6.6** (développé par GSSI) a été utilisé pour traiter les données et réaliser les blocs 3D.

3.3. METHODE PAR ELECTROMAGNETISME (EM 61)

3.3.1. QUANTITES ET IMPLANTATION DES MESURES

L'implantation des profils EM 61 est identique à celle des profils radar. Elle est fournie en Annexe A1 de ce présent rapport. Un maillage de 2m par 2m a été réalisé dans la mesure du possible. Ainsi :

- **22 profils d'au maximum 84 ml** ont été acquis parallèlement à l'axe Nord-ouest (**axe longitudinal**) sur le bloc A.

- **43 profils d'au maximum 42 ml** ont été acquis perpendiculairement à l'axe Nord-ouest (**axe transversal**) sur le bloc A.
- **18 profils d'au maximum 35 ml** ont été acquis parallèlement à l'axe Nord-ouest (**axe longitudinal**) sur le bloc B.
- **18 profils d'au maximum 35 ml** ont été acquis perpendiculairement à l'axe Nord-ouest (**axe transversal**) sur le blocB.

Une surface d'environ 5050 m² a donc été auscultée.

3.3.2. EQUIPEMENT UTILISE

L'équipement EM 61 utilisé pour la cartographie de sols pollués est composé :

- D'un conductivimètre EM 61 avec bobine inférieure et supérieure de la marque *GEONICS*
- d'un « data logger » ARCHER permettant l'acquisition et la visualisation en direct des données

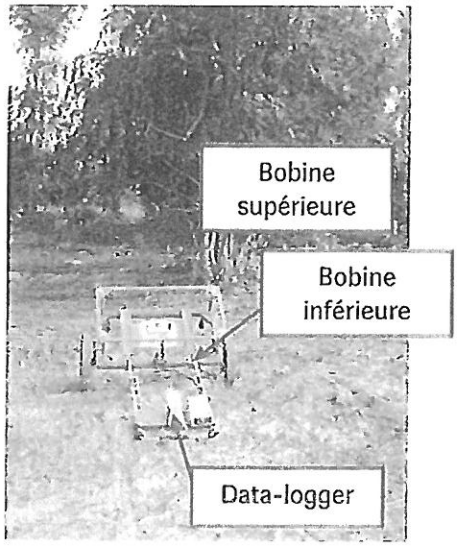


Figure 3.2 : Equipement EM61-MK2

3.3.3. PARAMETRES D'ACQUISITION

L'EM61 est un conductivimètre avec 4 voies de mesures « TDEM » (3 fenêtres de temps ou canaux, centrées sur 147, 263 et 414 µsec pour la bobine inférieure et sur 613 µsec pour la bobine supérieure).
Le transmetteur de l'appareil génère un puissant champ magnétique (primaire) alternatif dans le terrain, qui induit des courants de FOUCAULT dans les objets conducteurs proches. Ces derniers génèrent à leur tour un champ magnétique (secondaire), capté par les bobines réceptrices de l'appareil.

L'acquisition a été faite en mode dit « différentiel » ou canal D. Ce mode utilise les deux bobines réceptrices propres à l'EM61 et permet de distinguer les cibles profondes des cibles superficielles. L'objectif est de séparer ces cibles en atténuant voir en supprimant la réponse des cibles superficielles (l'amplitude de la réponse est fortement dépendante de la distance : assemblage de bobines – cible).

3.3.4. TRAITEMENT DES DONNEES

Le canal D est calculé de la manière suivante : D = k.CH(T)-CH(3)

Où : -D est la valeur différentielle en mV
-CH(T) est la valeur de la bobine supérieure en mV (canal T)
-CH(3) est la valeur de la bobine inférieure en mV (canal 3)
-K est le coefficient de profondeur (normalement k=1)

Pour chacune des zones d'étude (dit Bloc A et Bloc B), deux cartes de réponse en mV ont été créées :

-une carte de réponse différentielle avec un k=0 (soit la réponse du canal 3) représentant les signatures des anomalies les plus superficielles.

-une carte de réponse différentielle avec k=1 représentant les signatures des anomalies plus profondes.

Aucun traitement n'a été effectué pour limiter un éventuel effet du « bruit externe » (ligne haute tension, câble télécom aérien, etc...), ce dernier étant très faible sur nos mesures.
Seule une conversion du format de données issues du « data logger » a été réalisée à l'aide du logiciel DAT 61W, développé par *GEONICS,* afin d'être traitées avec le logiciel SURFER pour la réalisation de cartes de réponses différentielles.

4. DESCRIPTION DES RESULTATS

4.1. METHODE RADAR MOYENNE FREQUENCE

4.1.1. COMMENTAIRE PRELIMINAIRE

Lors de détection d'objets enterrés il est important de noter :

- Que la surface d'auscultation doit être parfaitement **dégagée des principaux obstacles et plane** afin d'assurer une prise des mesures en continue et un bon couplage antenne/sol.
- Que les matériaux auscultés soient électriquement résistants. La présence de **matériaux argileux** ou une **teneur en eau importante atténue considérablement** (voire annule) toute pénétration des ondes électromagnétiques.
- Qu'en dessous d'une certaine distance entre deux cibles, la distinction n'est plus possible.
- Que si deux objets sont superposés, l'un peut masquer l'autre. La distinction ne se fait donc pas (surtout dans le cas d'ouvrages métalliques).
- Que la résolution diminue avec la profondeur.

4.1.2. QUALITE DES MESURES

Le rapport signal/bruit est **relativement satisfaisant**.

4.1.3. DESCRIPTION / INTERPRETATION DES RESULTATS

Les résultats radar sont représentés sous forme de bloc 3d (voir planches A2 et A3 en annexe) pour chacune des zones (A et B).

Pour ces zones, deux coupes de profondeur ont été extraites des blocs 3D suite à un premier balayage des données :
-une coupe centrée sur la profondeur de 0.6m et d'une épaisseur de 0.35cm (superposition des réflexions de cette tranche de profondeur)
-une autre centrée sur la profondeur de 1.1m et d'une épaisseur de 0.35cm.
Cette distinction des résultats a pour objectif d'apprécier la contribution d'éventuels objets enterrés superficiels et d'autres plus profonds.

Des zones d'anomalies plus réflectrices ont ainsi été repérées et on peut également observer leur continuité en profondeur entre les deux coupes. Une superposition d'objets peut cependant être suspectée (voir commentaires préliminaires au-dessus) pour cette continuité des anomalies.

L'étude des **radargrammes** (2D : distance, profondeur) permet de visualiser des **signatures caractéristiques d'objets** (câble enterré, canalisation, etc..), de **structures** (massif enterré,

ancienne fondation, etc...) ou encore de **variations lithologiques** (interface, etc...). Elle peut également dans une moindre mesure être une aide à la discrétisation d'éventuels objets superposés.

Des radargrammes (traités) seront présentés dans la partie synthèse des résultats pour illustrer les principales anomalies relevées par les deux méthodes et apporter **une hypothèse sur leur nature/géométrie**.

4.2. METHODE D'ELECTROMAGNETISME EM 61

4.2.1. COMMENTAIRE PRELIMINAIRE

Lors de détection d'objets enterrés il est important de noter :

- Que la surface d'auscultation doit être parfaitement **dégagée des principaux obstacles et plane** afin d'assurer une prise des mesures en continue.
- Qu'en dessous d'une certaine distance entre deux cibles, la distinction n'est plus possible.
- Que si deux objets sont superposés, l'un peut masquer l'autre. La distinction ne se fait donc pas (surtout dans le cas d'ouvrages métalliques). Toutefois, **la construction de l'EM61** permet de limiter cet effet en utilisant le mode différentiel (voir les chapitres « paramètres d'acquisition » et « traitements des données » de l'EM61)
- Qu'**estimer la profondeur de l'anomalie** est délicate car dépendante de la nature potentiellement variable du sol.

4.2.2. QUALITE DES MESURES

Le rapport signal/bruit est **relativement satisfaisant**.

4.2.3. DESCRIPTION / INTERPRETATION DES RESULTATS

Afin d'accorder les résultats de l'EM61 avec ceux du radar, leurs représentations ont été faites sous forme de carte des réponses différentielles pour chacun des blocs A et B (voir planches A4 et A5 en annexe).
Deux cartes ont été extraites par bloc, en employant deux coefficients différents (coefficient k, voir la partie traitement des données EM61) afin d'apporter une idée sur la contribution d'anomalies superficielles et d'autres plus profondes.

L'EM61 étant sensible aux variations de conductivités dans les sols, les anomalies dessinent des aires assez étendues pour les résultats superficiels. Ces aires correspondent notamment sur le bloc A aux sols remaniés avant notre intervention (anomalies superficielles).

Des anomalies plus localisées apparaissent sur les cartes d'anomalies plus profondes, avec des réponses en mV sous forme de pics positifs.

On remarque également une continuité des anomalies entre les réponses de surface et celles plus profondes. Seules leurs étendues les distinguent, laissant supposer la présence de

multiples petits éléments conducteurs dans les premiers centimètres, s'additionnant aux réponses des anomalies plus profondes.

5. SYNTHESE DES RESULTATS ET INTERPRETATION

Les planches A6 à A9 fournies en annexe du présent rapport synthétisent les résultats radar et EM61 des deux zones étudiées.

Des zones d'anomalies notables et se poursuivant en profondeur ont été relevées par les deux méthodes. Quelques anomalies isolées et propres à une méthode se distinguent toutefois et devront être prises en considération.

Ces anomalies remarquables ont été classées de I à VIII dans un tableau, incluant la position centrale en Lambert 93 de l'anomalie et son aire d'influence (pour d'éventuelles fouilles). Un radargramme a également été rajouté pour chacune des anomalies, afin de donner une idée du type ou de la géométrie de cette dernière.

Remarque : il est important de noter que la classification apportée sur le type ou la géométrie de l'anomalie restent avant tout des hypothèses. Il s'agit de signatures radars dont on essaie de faire l'analogie avec des exemples connus, or de multiples objets/structures/variations lithologiques peuvent générer les mêmes signatures radars.

6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

6.1. CONCLUSIONS DE L'ETUDE

La société SOLDATA Geophysic (anciennement EDG) a réalisé une prospection géophysique par mesure radar moyenne fréquence et conductivimètre EM61 sur le site industriel rue de la Silice à Marcheprime (95) à la demande d'Indivision NAVARRA.

L'étude avait pour but de cartographier et repérer d'éventuels objets enterrés et autres pollutions sur deux zones (bloc A et B) de 5050m² dans les 3 premiers mètres de profondeurs.

Elle a permis de mettre en évidence plusieurs zones pouvant déceler des objets enterrés. Comme visualisé sur la planche de synthèse des anomalies A10 en annexe:
-les cibles du bloc A sont assez éparses et dépendantes des surfaces de sol remaniées (selon les anomalies superficielles)
-les cibles du bloc B sont quand à elles plus localisées et ponctuelles.
L'ensemble de ces cibles est compris entre quelques centimètres et 1.2m de profondeur.

Des zones d'anomalies ont été relevées, la plupart du temps par les deux méthodes. Un repérage de ces dernières a été fourni en synthèse, ainsi que des hypothèses quand à la nature de l'anomalie.

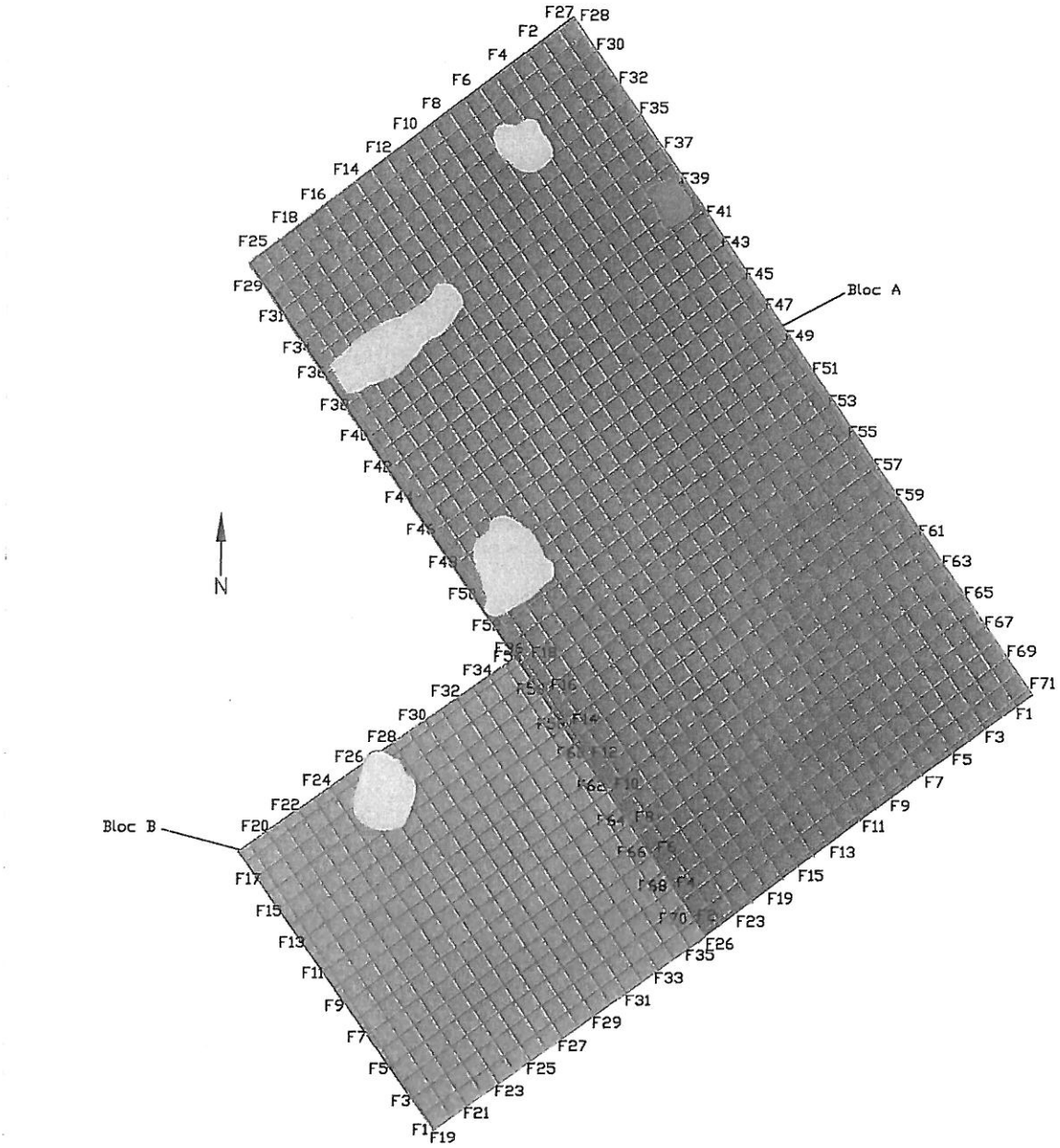
6.2. RECOMMANDATIONS

Le tableau de synthèse décrit le positionnement central des zones d'anomalies en coordonnées L93, ainsi que l'éventuelle surface de la pollution. Ces surfaces pourraient faire l'objet de sondage à la pelle mécanique, afin de contrôler la présence d'objets enterrés et autres pollutions.

ANNEXES

7. ANNEXE A. PLANCHES GRAPHIQUES

A1 : Plan d'implantation des profils radar moyenne fréquence et EM61
A2 : Résultats méthode radar moyenne fréquence bloc A
A3 : Résultats méthode radar moyenne fréquence bloc B
A4 : Résultats de l'EM61 bloc A
A5 : Résultats de l'EM61 bloc B
A6 : Synthèse des anomalies superficielles bloc A
A7 : Synthèse des anomalies profondes bloc A
A8 : Synthèse des anomalies superficielles bloc B
A9 : Synthèse des anomalies profondes bloc B
A10 : Synthèse des anomalies sur les blocs A et B



LEGENDE :

Implantation des points

Bloc A

Bloc B

Zone repérée par ISRN comme présentant des radio-éléments

Délimitations des arbres

Echelle: 0 10 (m)

SOLDATA GEOPHYSIC

NAVARRA
MARCHEPRIME
(33)

RADAR et EM
Implantation
des points

Planche A 1 : Plan d'implantation des profils radar moyenne fréquence et EM61

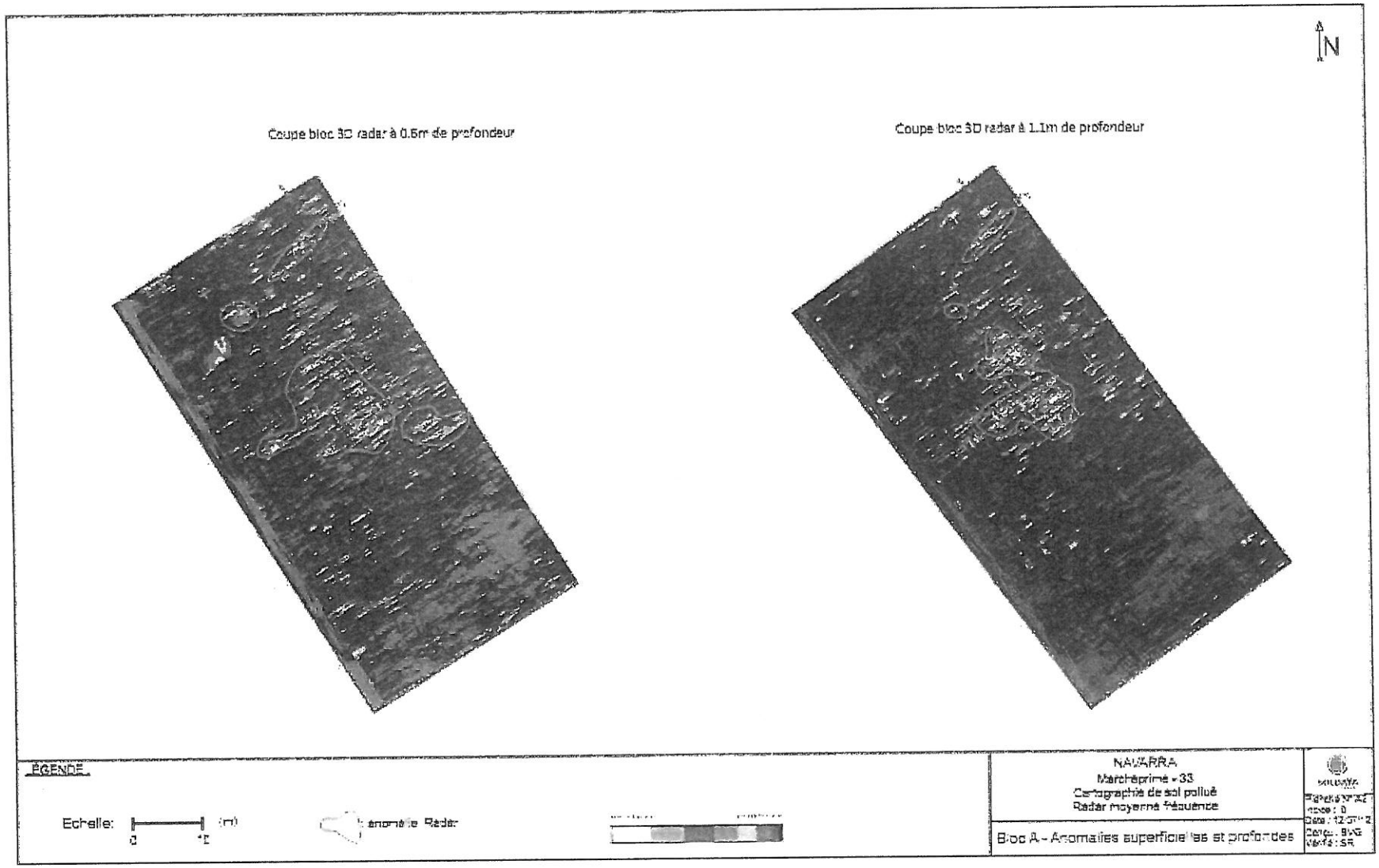


Planche A 2 : Résultats méthode radar moyenne fréquence bloc A

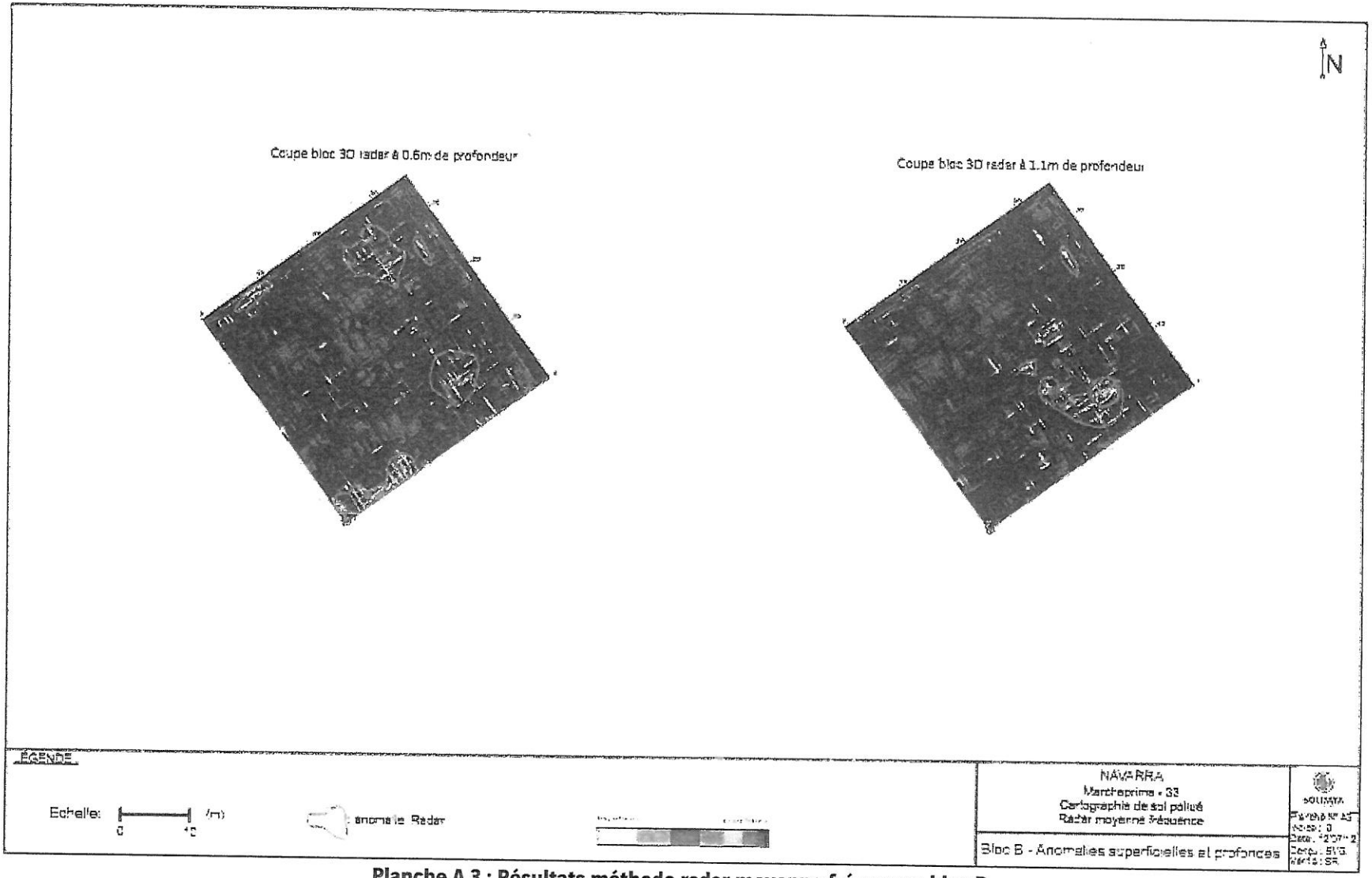


Planche A 3 : Résultats méthode radar moyenne fréquence bloc B

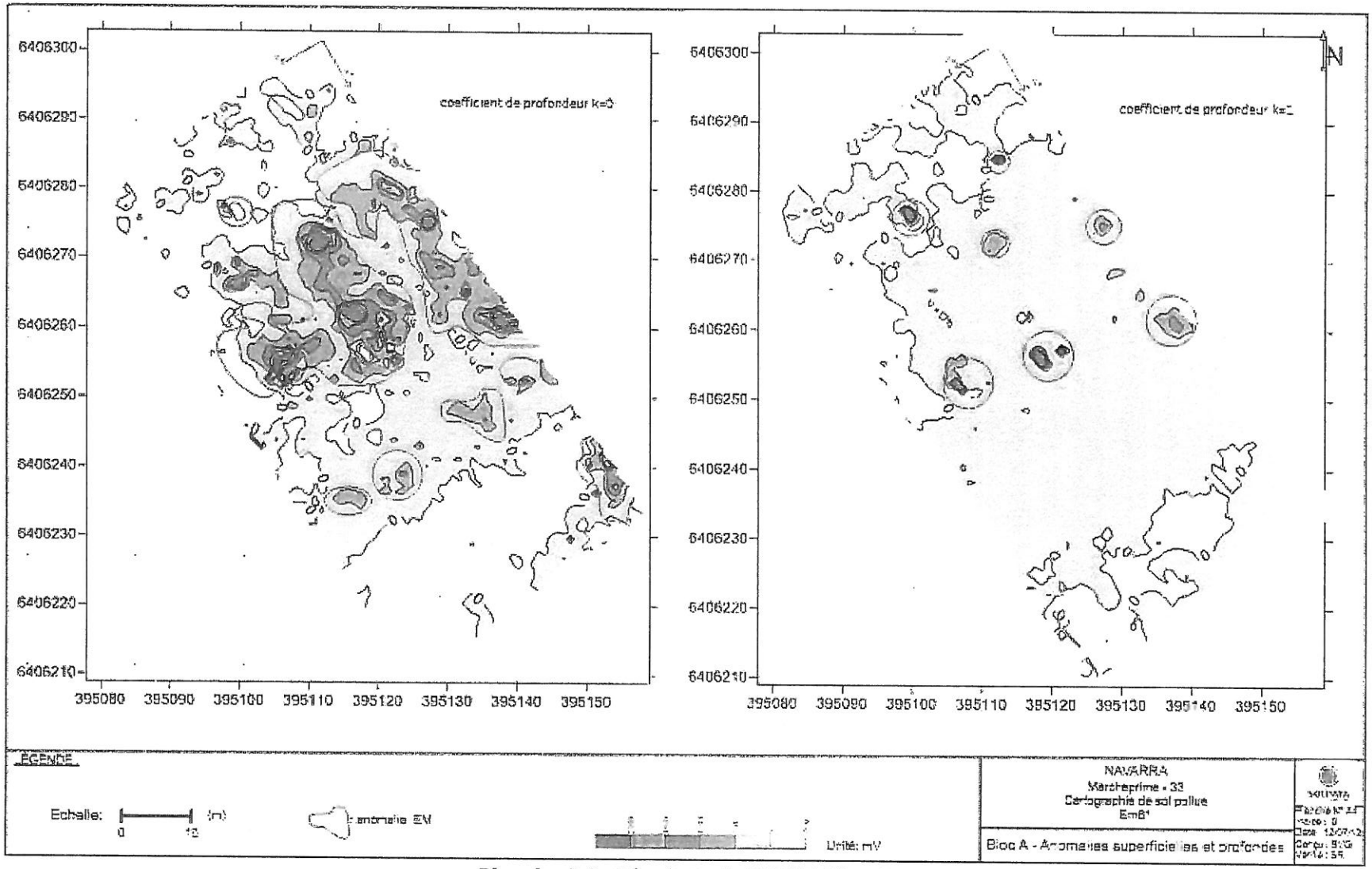


Planche A 4 : Résultats de l'EM61 bloc A

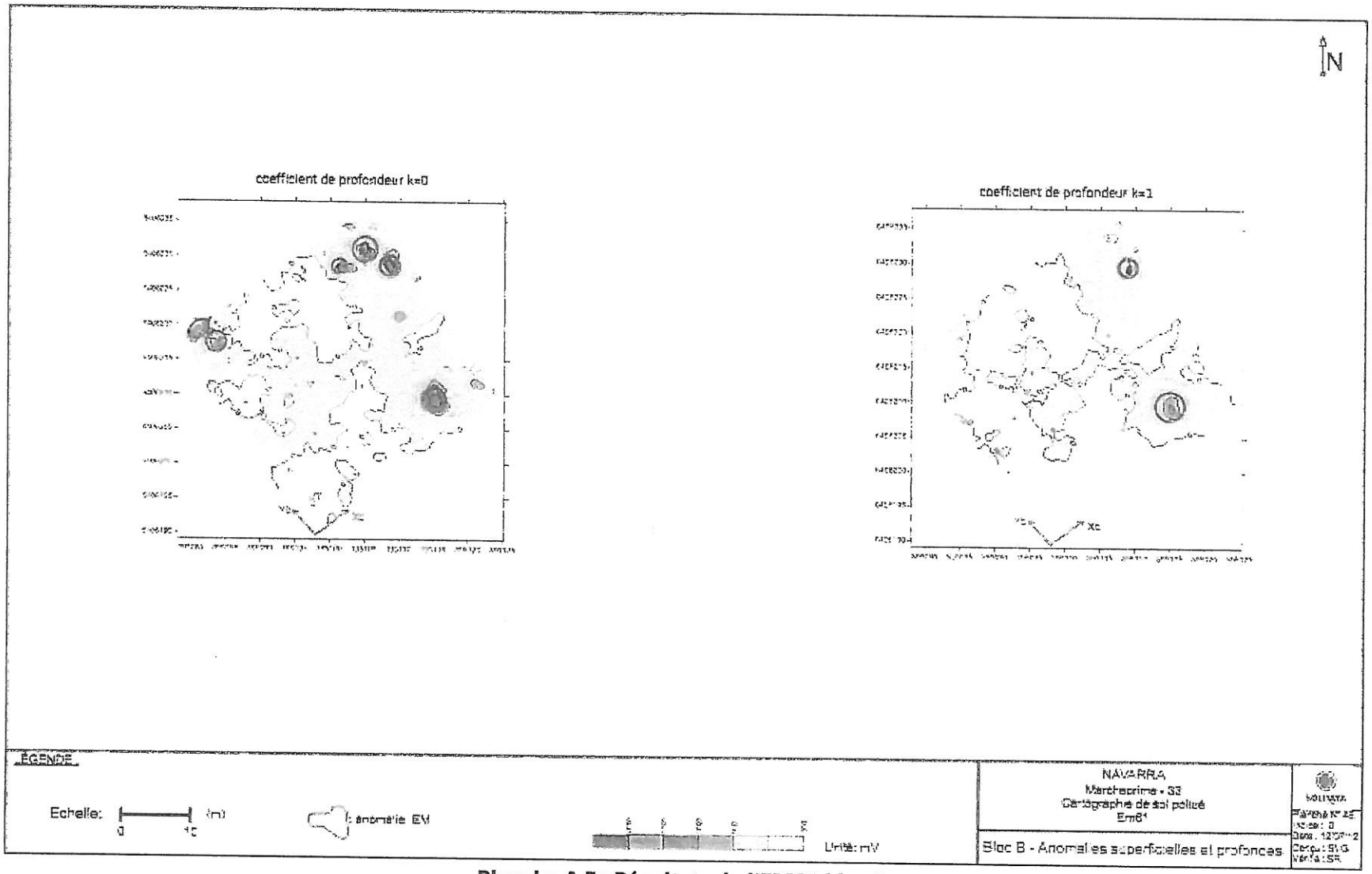


Planche A 5 : Résultats de l'EM61 bloc B

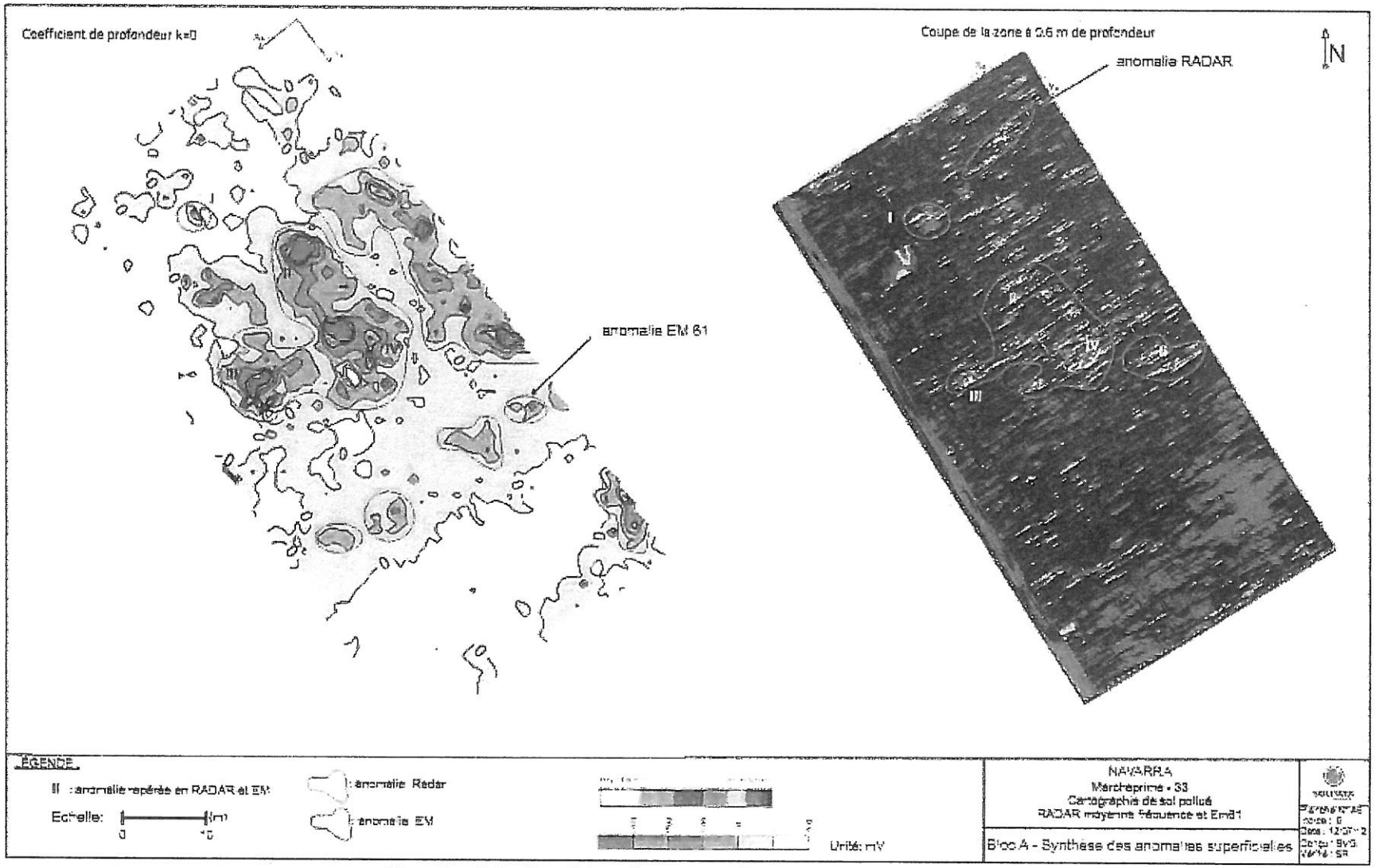


Planche A 6 : Synthèse des anomalies superficielles bloc A

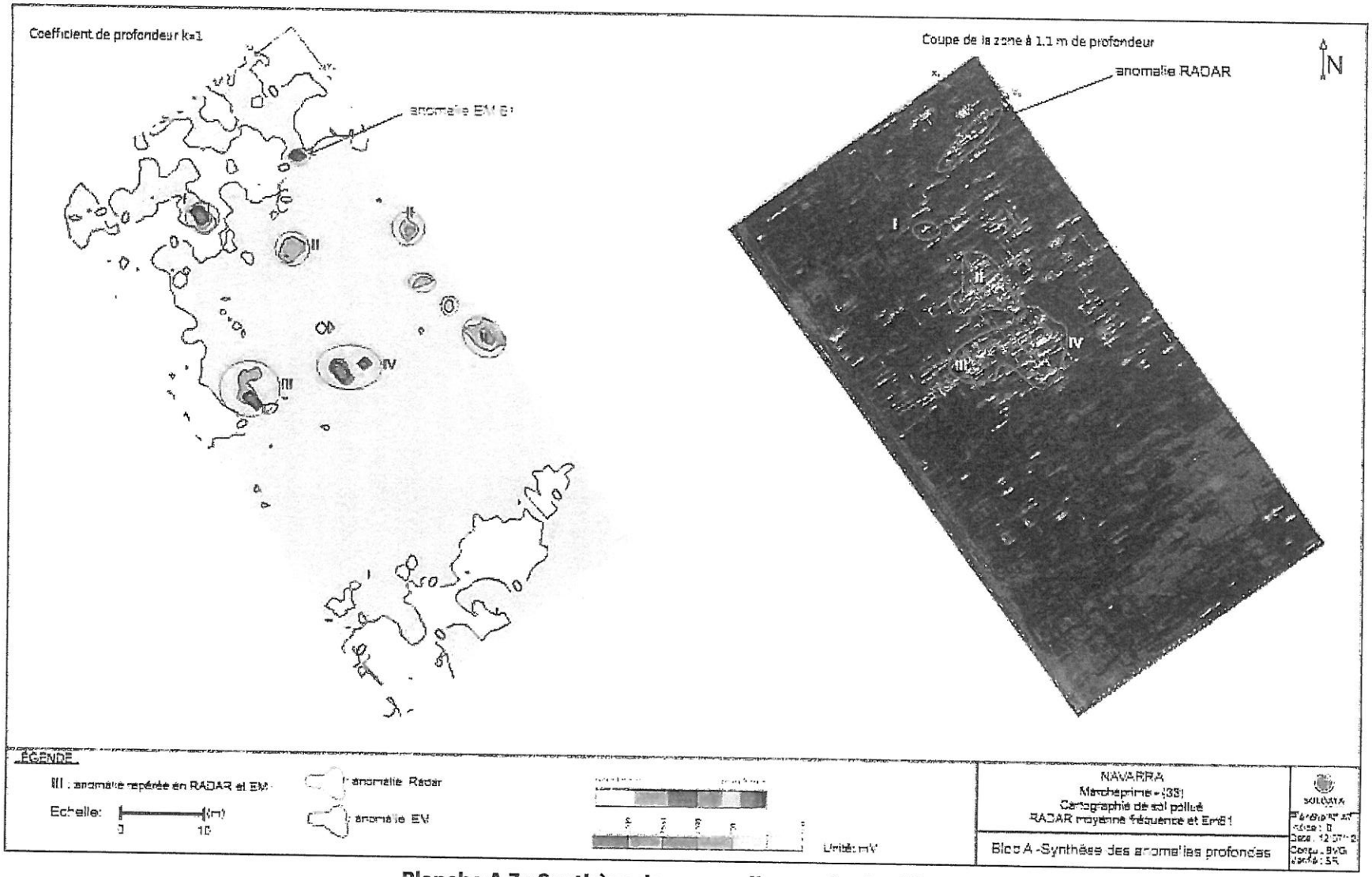


Planche A 7 : Synthèse des anomalies profondes bloc A

Contact :
Agence Nord et Ouest : 01.41.44.46.45
Agence Sud et Est : 04.74.92.07.95
contact@soldata-geophysic.com
www.soldata-geophysic.fr

Prospection par méthode radar de sol

Le radar de sol est une méthode non destructive de cartographie haute résolution du sous-sol. Elle est mise en œuvre pour la détection de structures enterrées ou pour l'étude des propriétés géo-mécaniques du terrain avant travaux.

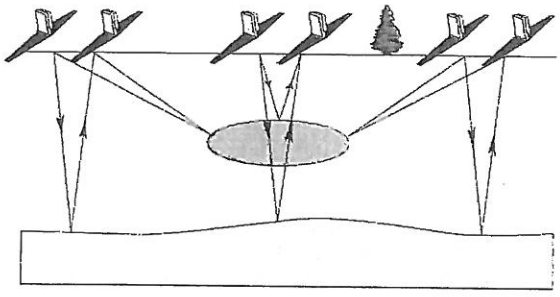
APPLICATIONS

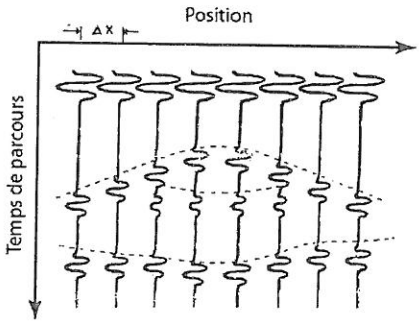
- ✓ Détection de réseaux et des structures enterrés
- ✓ Inspection d'ouvrages d'art
- ✓ Détection de cavités, décompressions, pollutions
- ✓ Etude avant/après traversées sous voies SNCF
- ✓ Archéologie

Principe de la méthode

Le principe des techniques radar repose sur la transmission d'impulsions électromagnétiques dans le sol avec une antenne émettrice.

- Une impulsion EM de haute fréquence est émise par une antenne émettrice ;
- Cette impulsion induit une onde EM qui se propage dans le sol et qui est atténuée à chaque changement de milieu;
- L'énergie réfléchie et réfractée est enregistrée au niveau de l'antenne réceptrice ;
- La mesure de cette onde permet de construire une coupe-temps (x, t);

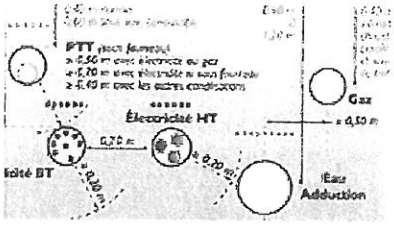




L'interprétation de cette coupe-temps permet d'obtenir une coupe 2D du sous-sol localisant précisément les anomalies existantes.

Application aux détections de réseaux et structures enterrés

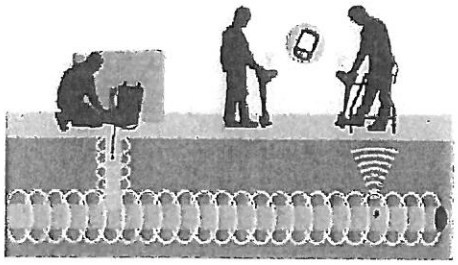
La méthode radar, couplée à de la radiodétection, est mise en œuvre pour détecter des réseaux ou des structures enterrés dans le cadre de sécurisation de sondages, de fouilles, de réhabilitation de site ou d'audit d'ouvrages neufs.



INSTRUMENTATION

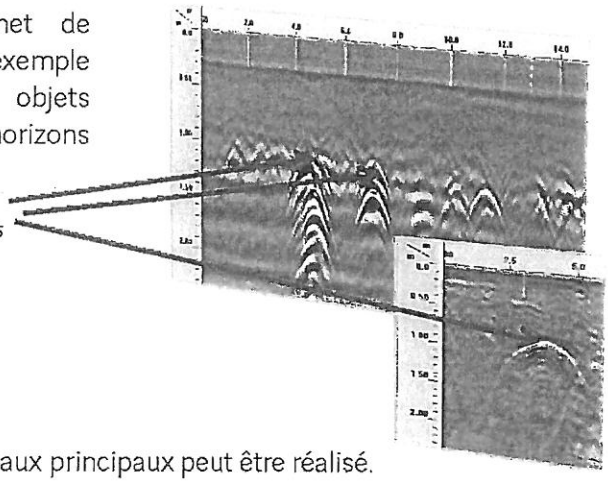
Antennes moyenne et basses fréquences, 400MHZ, 270 MHz, 200MHz couplées à des unités d'acquisition et de visualisation autonomes et portables

Les mesures radar sont effectuées suivant des profils longitudinaux et transversaux à l'axe du projet suivant un protocole validé par le client. Les réseaux peuvent être marqués au sol simultanément à l'auscultation.



Mesures de radiodétection

La signature radar du sous-sol permet de caractériser la présence de réseaux. Sur l'exemple ci-dessous, on observe des réseaux ou objets recoupés (hyperboles) et longés (horizons réflecteurs) entre 1 et 1.5 m de profondeur.

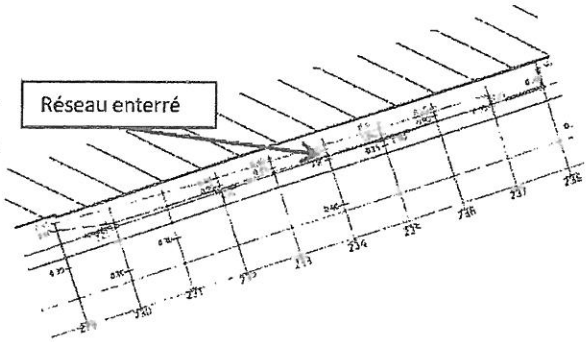


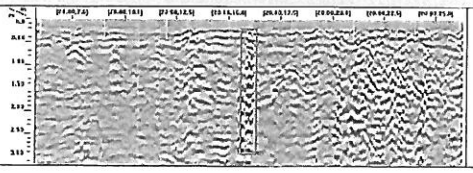
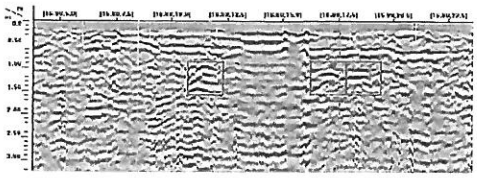
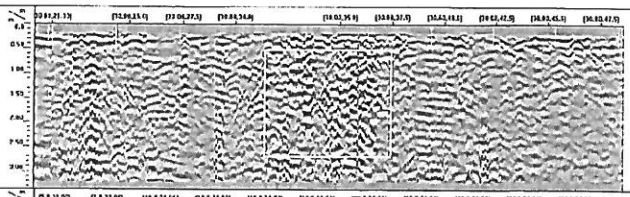
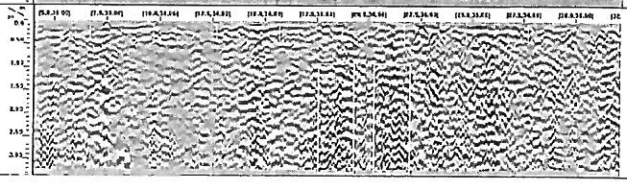
Signatures hyperboliques (réseaux)

Lors de l'étude, un marquage au sol des réseaux principaux peut être réalisé.

Après traitement des données, un plan Autocad représentant le cheminement des réseaux est délivré.

A l'issue de l'étude, nous pouvons vous conseiller sur l'utilité de fouilles et sur leur localisation, le cas échéant.



	Bloc	Position en X	Position en Y	Surface à investiguer	Radargrammes représentatifs	Caractérisation
I	A	395099.5	6406276.5	3*3m		Objet métallique à faible profondeur
IIa	A	395112	6406273	2*2m		Objets enterrés aux environs d'1m de profondeur (hyperbole de type canalisation et/ou réseau)
IIb	A	395127	6406275	2*2m		Objets enterrés aux environs d'1m de profondeur (hyperbole de type canalisation et/ou réseau)
IIc	A	395136	6406261.5	2*2m		Objets enterrés aux environs d'1m de profondeur (hyperbole de type canalisation et/ou réseau)
III	A	395108	6406252	4*4m		Zone particulièrement réflectrice à partir de 50cm de profondeur (Pollution ? Décompressions ?)
IV	A	395119	6406256.5	5*5m		Anomalies réflectrices et géométriques aux alentours d'1m de profondeur (fondations, structures ?)

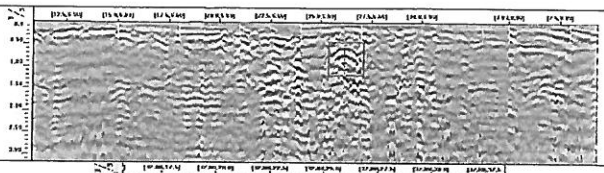
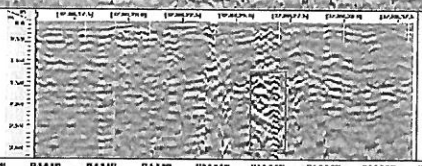
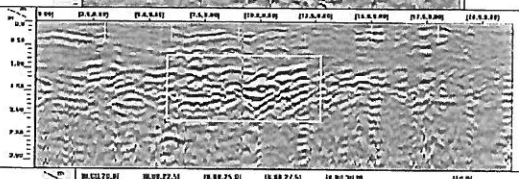
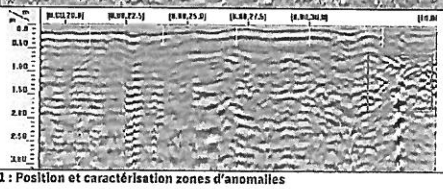
V	B	395115.2	6406209.5	5*5m		Cible hyperbolique réflectrice à 70cm de profondeur (canalisation ? Réseau ?)
VI	B	395108.5	6406229	3*3m		Objets métalliques à environ 70cm de profondeur
VII	B	395100	6406192.5	5*5m		Anomalie réflectrice et géométrique aux alentours d'1.2m de profondeur (fondations, structures, rails ?)
VIII	B	395081.5	6406218	4*4m		Anomalie réflectrice et cibles hyperboliques à partir de 70cm de profondeur (objets métalliques enterrés ? Réseau ?)

Tableau 1 : Position et caractérisation zones d'anomalies

DROM
UT33
cellule CCD
Bandikra