



Siège social :
7, rue de l'industrie - Zone de Vic
31320 CASTANET-TOLOSAN
Tél. : 05.62.71.86.50 / Fax : 05.34.66.83.76

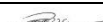
Région Nord-Ouest :
13 rue Claude Bernard – Bât. 7
35400 SAINT-MALO
Tél : 09.52.12.85.38

Mail : arkogeos@arkogeos.com
Site Web : www.arkogeos.fr

INVESTIGATION GÉOPHYSIQUE PAR MÉTHODES ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Lanne (65)



Client : ECR Environnement 11 rue Benjamin Franklin 64230 LESCAR				Réf. Client : bdc 3315384			
				Réf. ArkoGéos : Offre 2025.305.01.B			
Compte rendu n° CR.2025.171.01.A							
Versions		Établi par		Vérifié par		Validé par	
N°	Date	Nom	Visa	Nom	Visa	Nom	Visa
A	04/11/2025	A. PANOZZO		Y. PENHOUE		J. MENTION	



Diffusion			
ECR	1 exemplaire	Pages	22
Arkogéos	1 exemplaire	Planches	06
		Annexe	01



SOMMAIRE

1. Table des illustrations	3
2. Introduction	4
2.1. Contenu de la mission	4
2.2. Personnel intervenant	4
2.3. Sécurité	4
2.4. Démarche qualité.....	4
3. Situation géographique et contexte géologique	5
3.1. Situation géographique	5
3.2. Contexte géologique.....	6
4. Investigations géophysiques	7
4.1. Principe	7
4.2. Chaîne de mesure	8
4.3. Méthodologie.....	11
4.4. Présentation des résultats	11
4.5. Limites des méthodes électromagnétiques.....	11
5. Résultats	12
5.1. Description.....	12
5.1.1. Généralités	12
5.1.2. CMD-Explorer.....	12
5.1.3. EM34.....	12
5.2. Analyse	12
5.3. Remarques	13
PLANCHES	14
ANNEXE	21

1. Table des illustrations

FIGURES

Figure 1 : Extrait IGN de la zone d'investigation	5
Figure 2 : Localisation de la zone d'étude sur fond de carte géologique	6
Figure 3 : Propagation d'une onde électromagnétique dans le sol	7
Figure 4 : Présentation du matériel conductivimètre EM34	8
Figure 5 : Comparaison des réponses relatives pour les dipôles verticaux et horizontaux	9
Figure 6 : Localisation des possibles filons avec le CMD-Explorer (0 à 2.2m)	13

PHOTOGRAPHIE

Photographie 1 : Acquisition au CMD-Explorer couplée à un DGPS	10
--	----

TABLEAUX

Tableau 1 : Profondeurs d'investigations théorique de l'EM34 en fonction de l'écartement des bobines	8
Tableau 2 : Tranche de terrain intégrée pour chaque configuration	9
Tableau 3 : Profondeurs d'investigations théoriques du CMD-Explorer	10

PLANCHES

Planche 1 : Implantation des points de mesure CMD-Explorer	15
Planche 2 : Résultats des mesures CMD-Explorer (0-2.2 m)	16
Planche 3 : Résultats des mesures CMD-Explorer (0-4.2 m)	17
Planche 4 : Résultats des mesures CMD-Explorer (0-6.7 m)	18
Planche 5 : Implantation des points de mesures EM34	19
Planche 6 : Résultats des mesures EM34 (0-15 m)	20

ANNEXE

Annexe 1 : Matériel utilisé	22
-----------------------------------	----

2. Introduction

2.1. Contenu de la mission

A la demande et pour le compte de ECR Environnement, ArkoGéos a réalisé une reconnaissance géophysique par méthodes électromagnétique dans le cadre d'un projet de construction d'un centre hospitalier sur la commune de Lanne (65).

Le but de la prospection est la recherche de filons de teschénites amiantifères sur une surface d'environ 10 ha.

2.2. Personnel intervenant

Les mesures géophysiques ont été réalisées le 03 Novembre 2025 par L. THIBORD et A. PANOZZO, ingénieurs géophysiciens.

Le traitement des données a été pris en charge par A. PANOZZO.

Le présent rapport a été rédigé par A. PANOZZO, relu par Y. PENHOUE, ingénieur géologue géophysicien, et validé par J. MENTION, responsable d'ArkoGéos.

2.3. Sécurité

Le personnel était muni des EPI suivants :

- Chaussures de sécurité,
- Vêtements haute visibilité,
- Gants de manutention,

ArkoGéos possède la certification MASE SO 2025-764.

2.4. Démarche qualité

Le mode opératoire de la reconnaissance a été réalisé selon les recommandations du Code de Bonne Pratique de la Géophysique appliquée édité par l'AGAP dont ArkoGéos est membre depuis 2006.

ArkoGéos possède la certification OPQIBI en Géophysique 12 12 2501.

3. Situation géographique et contexte géologique

3.1. Situation géographique

Le projet se situe sur la commune de Lanne (65) (cf. Figure 1) sur la colline de Croueau. La zone de 10.7 ha environ est occupée par des champs cultivés ou des prairies.

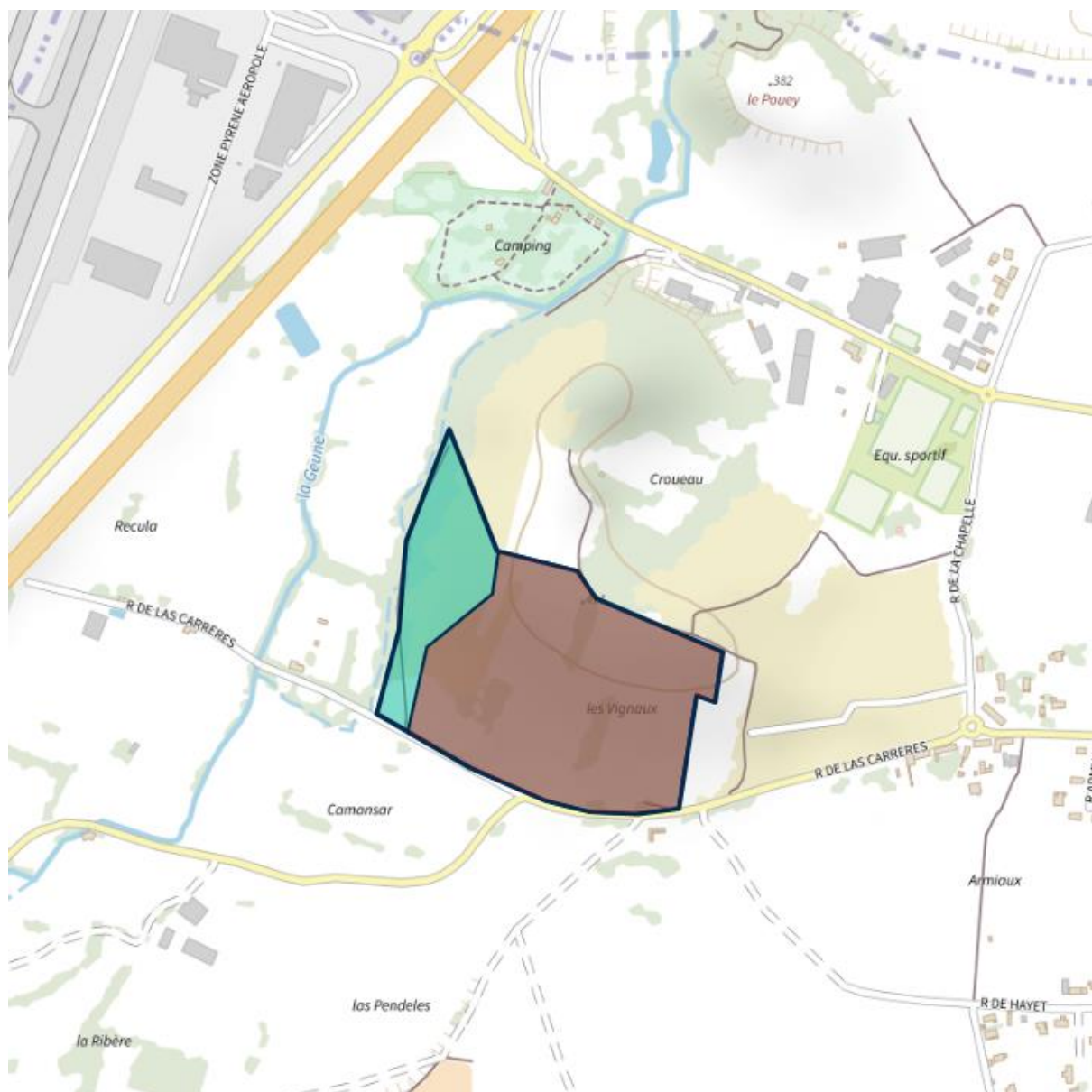


Figure 1 : Extrait IGN de la zone d'investigation

3.2. Contexte géologique

Les descriptions lithologiques et leurs attributions géochronologiques sont faites en référence à la carte géologique à 1/50000 n°1053 de BAGNERES-DE-BIGORRE (cf. Figure 2), aidées des observations effectuées sur site et des sondages effectués à proximité.

Les terrains présents sur le site sont représentés par les flyschs noirs ardoisiers de Bigorre (Albien moyen supérieur à Cénomaniens moyen) en vert, et des alluvions récentes (galets, graviers, sables et limons) en blanc.

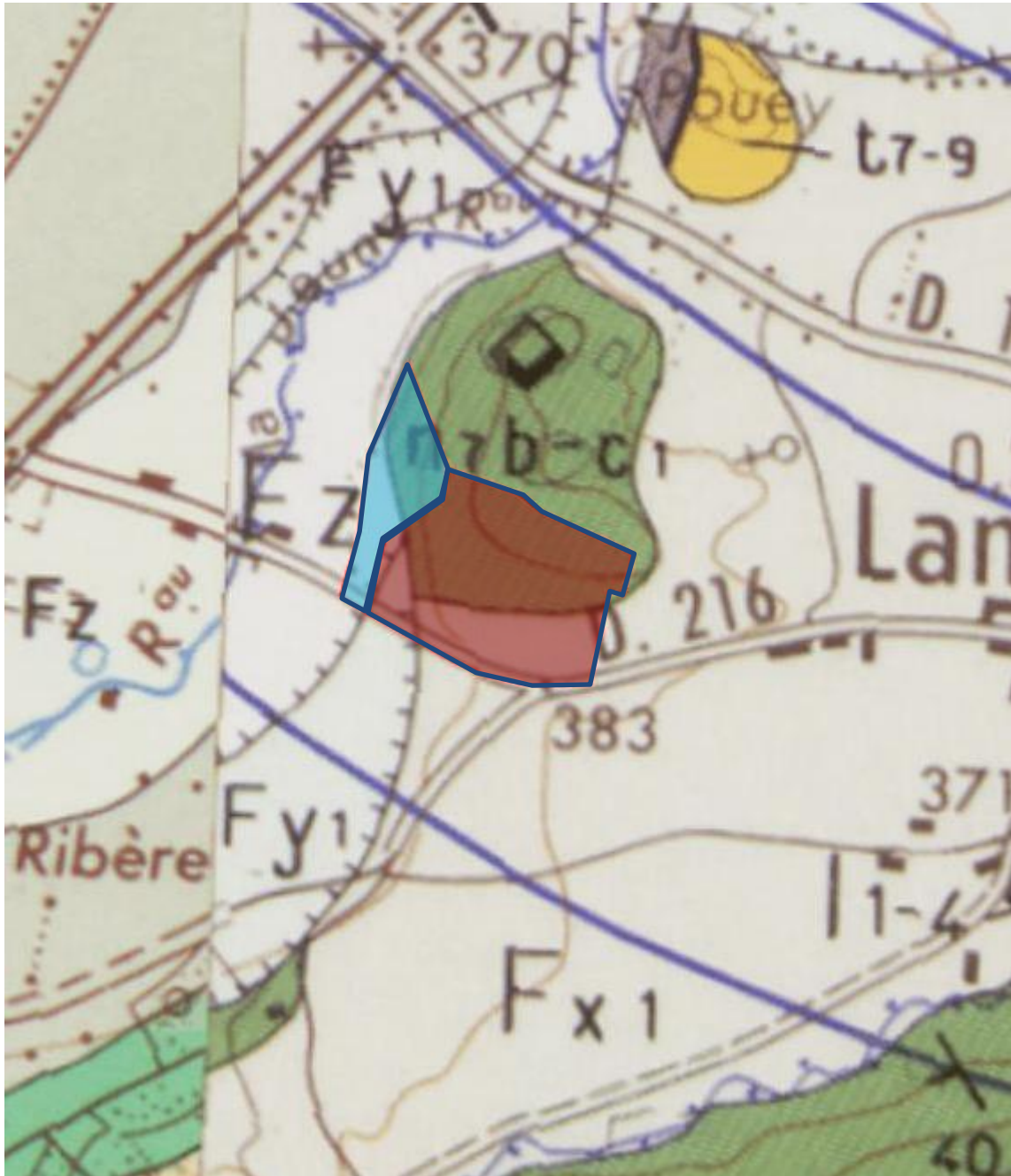


Figure 2 : Localisation de la zone d'étude sur fond de carte géologique

Les filons de teschénites s'orientent selon des directions de fractures N110 et N30.

4. Investigations géophysiques

4.1. Principe

Le courant est oscillant et donc associé à des ondes électromagnétiques ; c'est par induction et non par l'intermédiaire d'électrode qu'il est généré dans le sol.

Dans un terrain homogène ou stratifié horizontalement, les flux de courant sont horizontaux et le champ électromagnétique est uniforme. On peut assimiler les surfaces d'onde à leur plan tangent.

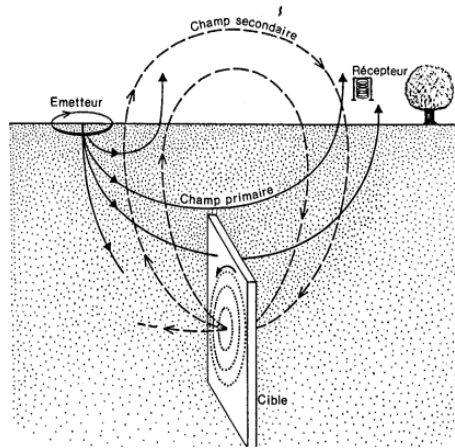


Figure 3 : Propagation d'une onde électromagnétique dans le sol

Lorsqu'un conducteur est plongé dans un tel champ magnétique, il devient à son tour la source d'un champ secondaire présentant la même fréquence que le premier mais déphasé par rapport à celui-ci. C'est généralement la mesure de ce déphasage qui permet de calculer la conductivité du sous-sol.

Ces deux champs magnétiques sont mesurés par le récepteur. Sous certaines conditions, on peut admettre que le rapport entre les deux champs est le suivant :

$$\frac{H_s}{H_p} = \frac{i \omega \mu_0 \sigma s^2}{4}$$

$\omega = 2 \pi f$
 f = fréquence en Hertz
 μ_0 = perméabilité du vide en Henry/m
 σ = conductivité en mhos/m
 s = espacement des bobines en mètres
 $i = \sqrt{-1}$

Il existe toute une série de conductivimètres basés sur le principe exposé ci-avant, avec des profondeurs d'investigation différentes augmentant du mètre (EM38) à 60 m (EM34).

Le matériel utilisé comporte deux bobines reliées à un boîtier de mesures. Une bobine émet le champ électromagnétique et la seconde est réceptrice.

Le résultat obtenu est une mesure de conductivité apparente qui traduit les variations de lithologie dans le volume défini par la distance entre les bobines émettrice et réceptrice (sous réserve que ces variations présentent un contraste de conductivité suffisant). Les résultats sont présentés sous forme de cartes d'isovaleurs ou de profils.

Rappelons que les conductivités les plus fortes (50 à 100 mS) correspondent aux formations argileuses, tandis que les plus faibles (3 à 10 mS) révèlent des formations sableuses, graveleuses ou rocheuses.

4.2. Chaîne de mesure

Les profondeurs d'investigations variant avec l'écartement des bobines, les différents matériels sont à choisir suivant la cible que l'on souhaite atteindre (nature, taille, encaissant...).

➤ Conductivimètre EM34-3

Le conductivimètre EM34-3 comporte deux bobines reliées à un boîtier de mesures et nécessite 2 opérateurs (chaque opérateur portant une bobine). Les deux bobines sont maintenues coplanaires à une distance D l'une de l'autre, pouvant être égale à 10, 20 ou 40 m.

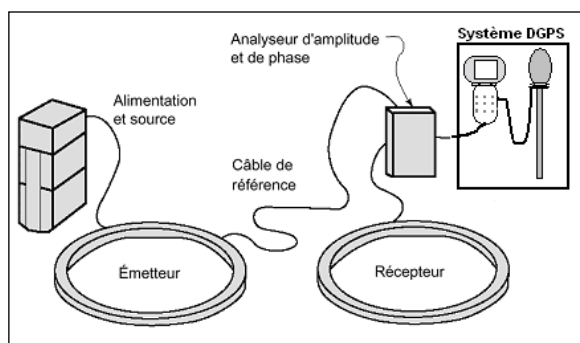


Figure 4 : Présentation du matériel conductivimètre EM34

Les mesures peuvent être effectuées suivant une position de bobine soit horizontale (dipôle vertical), soit verticale (dipôle horizontal).

La profondeur d'investigation est contrôlée essentiellement par la géométrie du dispositif :

- Elle croît avec l'écartement des bobines,
- Elle est dépendante de l'orientation des bobines.

Séparation des bobines	Profondeur d'investigation théorique	
	Dipôle horizontal	Dipôle vertical
10 m	7.5 m	15 m
20 m	15 m	30 m
40 m	30 m	60 m

Tableau 1 : Profondeurs d'investigations théorique de l'EM34 en fonction de l'écartement des bobines

On remarque que si la profondeur d'investigation théorique est la même pour un dipôle vertical 10 m (DV10) et un dipôle horizontal 20 m (DH20), les tranches de terrain véritablement concernées sont bien distinctes.

Ainsi, pour un terrain homogène et isotrope on peut estimer les différentes tranches de terrains influentes pour chaque configuration de l'EM34.

En effet, la réponse instrumentale en fonction de la profondeur dans le cas d'une mesure sur un terrain homogène est différente selon la configuration ainsi que l'explique le graphique ci-dessous.

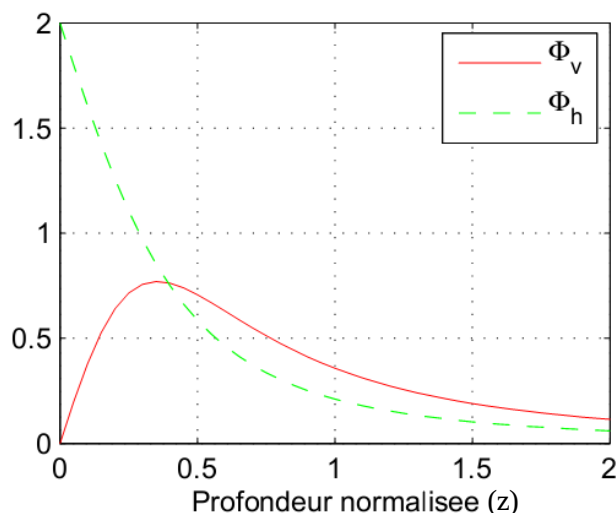


Figure 5 : Comparaison des réponses relatives pour les dipôles verticaux et horizontaux

On observe en dipôle horizontal (Φ_h) que les terrains superficiels influencent majoritairement la mesure et que la contribution des terrains sous-jacents diminue avec la profondeur. A partir de $z=0.75$, les terrains ont une influence négligeable sur la mesure.

En dipôle vertical (Φ_v), la contribution principale des terrains lors de la mesure a son maximum à une profondeur de $z=0.4$ mais reste significative jusqu'à $z=1.5$.

Ecartement des bobines (e)	Tranche de terrain mesurée	
	Dipôle horizontal De $z=0$ à $z=0.75e$	Dipôle vertical De $z=0.4e$ à $z=1.5e$
10 m	0 à 7.5 m	4 à 15 m
20 m	0 à 15 m	8 à 30 m
40 m	0 à 30 m	16 à 60 m

Tableau 2 : Tranche de terrain intégrée pour chaque configuration

Les mesures de conductivité des sols sont exprimées en milliSiemens par mètre (mS/m), mais souvent représentées en contrastes de résistivités (inverse de la conductivité en Ohm.m).

➤ Conductivimètre CMD-Explorer

La chaîne de mesure comprend (cf. Photographie 1) :

- Les bobines émettrices et réceptrices sur leur support (3 paires de bobines écartées de 1.48, 2.82 et 4.49 m),
- Un PDA d'acquisition pouvant être relié à un GPS.



Photographie 1 : Acquisition au CMD-Explorer couplée à un DGPS

Les profondeurs d'investigations théoriques données par le constructeur sont données dans le tableau ci-dessous :

Séparation des bobines	Profondeur d'investigation théorique	
	Dipôle horizontal	Dipôle vertical
1.48 m	1.1 m	2.2 m
2.82 m	2.1 m	4.2 m
4.49 m	3.3 m	6.7 m

Tableau 3 : Profondeurs d'investigations théoriques du CMD-Explorer

Une procédure de calibration automatisée est exécutée pour appliquer les corrections nécessaires. La calibration se fait dans une zone à faible gradient de résistivité (loin des routes et objets métalliques visibles...).

Le conductivimètre CMD-Explorer, portable par un opérateur seul, permet de cartographier de larges zones rapidement. Il peut être utile pour cartographier les gisements à faible profondeur ou délimiter les zones stériles recouvrant un gisement (limons recouvrant des graves...).

Il possède 6 profondeurs d'investigations suivant l'orientation des bobines et permet une acquisition de 3 profondeurs simultanées.

Les mesures de conductivité des sols sont exprimées en milliSiemens par mètre (mS/m), mais souvent représentées en contrastes de résistivités (inverse de la conductivité en Ohm.m).

4.3. Méthodologie

Afin de répondre à l'objectif fixé, les 10,7 ha de la zone d'étude ont été investigués au moyen de profils EM34 espacés de 20 m, opérés en mode dipôle vertical avec des bobines séparées de 10 m (configuration DMV10).

Le CMD-Explorer a également été déployé sur l'intégralité de la surface, selon des profils équidistants de 10 m. En mode dipôle vertical, les profondeurs d'investigation associées aux trois boucles sont respectivement de 0–2,2 m, 0–4,2 m et 0–6,7 m pour chaque point de mesure.

L'acquisition a été réalisée en continu, avec un pas d'enregistrement d'une seconde, soit environ 11 000 points collectés.

L'ensemble des mesures a été géoréférencé à l'aide d'un GPS offrant une précision planimétrique d'environ ± 1 m.

4.4. Présentation des résultats

Pour cette étude, les résultats sont présentés sous la forme de cartes de résistivités apparentes, une par profondeur d'investigation.

4.5. Limites des méthodes électromagnétiques

Elles résident essentiellement dans les nombreuses sources de perturbations électromagnétiques :

- La présence de lignes électriques aériennes ou enfouies (caténares, EDF...) qui rendent les mesures impossibles sur une bande d'environ 20 à 40 m (fonction de la tension).
- Equipement métallique (hangars, grillage à moutons, véhicule...) ainsi que les canalisations métalliques enfouies.

D'autre part la gamme de fonctionnement des appareils (1 à 1000 $\Omega.m$) interdit toute mesure correcte lorsque les terrains sont très résistants (sable sec sur granite par exemple). En revanche, des poches argileuses au sein de calcaires présentent un contraste électrique important permettant une bonne détection.

Sur le terrain une ligne HTA a perturbé les mesures, ainsi que la présence de taillis et de broussailles limitant l'application des méthodes.

5. Résultats

5.1. Description

5.1.1. Généralités

L'échelle de résistivités est linéaire et s'échelonne de 35 à 90 $\Omega.m$. Cette même échelle a été utilisée sur la carte de résistivité apparente de l'EM34 et les 3 issues des mesures du CMD-Explorer.

5.1.2. CMD-Explorer

Les résistivités les plus fortes sont retrouvées sur la bordure Ouest et Sud pour les trois profondeurs, avec une augmentation de cette résistivité en profondeur. En revanche la partie centrale possède des résistivités faibles ($< 55 \Omega.m$) bien qu'en surface on puisse observer des variations latérales de résistivités plus marquées, avec deux zones légèrement plus résistantes. Cette partie centrale devient légèrement plus résistante à mesure que la profondeur augmente. Enfin une bande très conductrice est observée au Sud-Ouest.

5.1.3. EM34

Les contrastes de résistivités sont nettement supérieurs sur cette configuration avec des zones fortement résistantes et d'autres fortement conductrices. On retrouve la zone au Sud très résistante, contrastant avec l'Ouest où les valeurs sont perturbées par la ligne HTA (valeurs très élevées ou négatives). Pour la zone centrale, les résistivités sont plus élevées que pour le CMD-Explorer avec cependant quelques zones plus conductrices au Nord.

5.2. Analyse

En reprenant la géologie de la zone d'étude, il est possible d'émettre des hypothèses a priori quant à la réponse électrique des terrains. Les argiles formeront le pôle conducteur tandis que les formations riches en graves et/ou en sables présenteront des résistivités élevées. Un mélange de matériaux donnera des résistivités intermédiaires où l'argilosité sera le facteur principal de la baisse de résistivité.

La zone centrale conductrice correspond aux flyschs décrits sur la carte géologique. Leur résistivité globale augmente avec la profondeur, cela pouvant s'expliquer par une frange d'altération de surface plus argileuse. A l'inverse, les zones résistantes à l'Ouest et au Sud correspondraient aux alluvions (galets, graviers et sables) le dépôt étant bien circonscrit à l'Ouest et légèrement plus diffus au Sud. La bande conductrice au Sud-Ouest serait de nature argileuse en lien avec les alluvions et la zone humide de ce secteur.

Concernant les filons d'amphibolites amiantifères, ils devraient théoriquement se distinguer par des résistivités plus élevées que celles de l'encaissant flysch. Sur la première profondeur d'investigation du CMD-Explorer (0 à 2,2 m), une zone plus résistive apparaît au centre du domaine flysch (cf. Figure 6) sans toutefois être retrouvée sur les profondeurs supérieures.

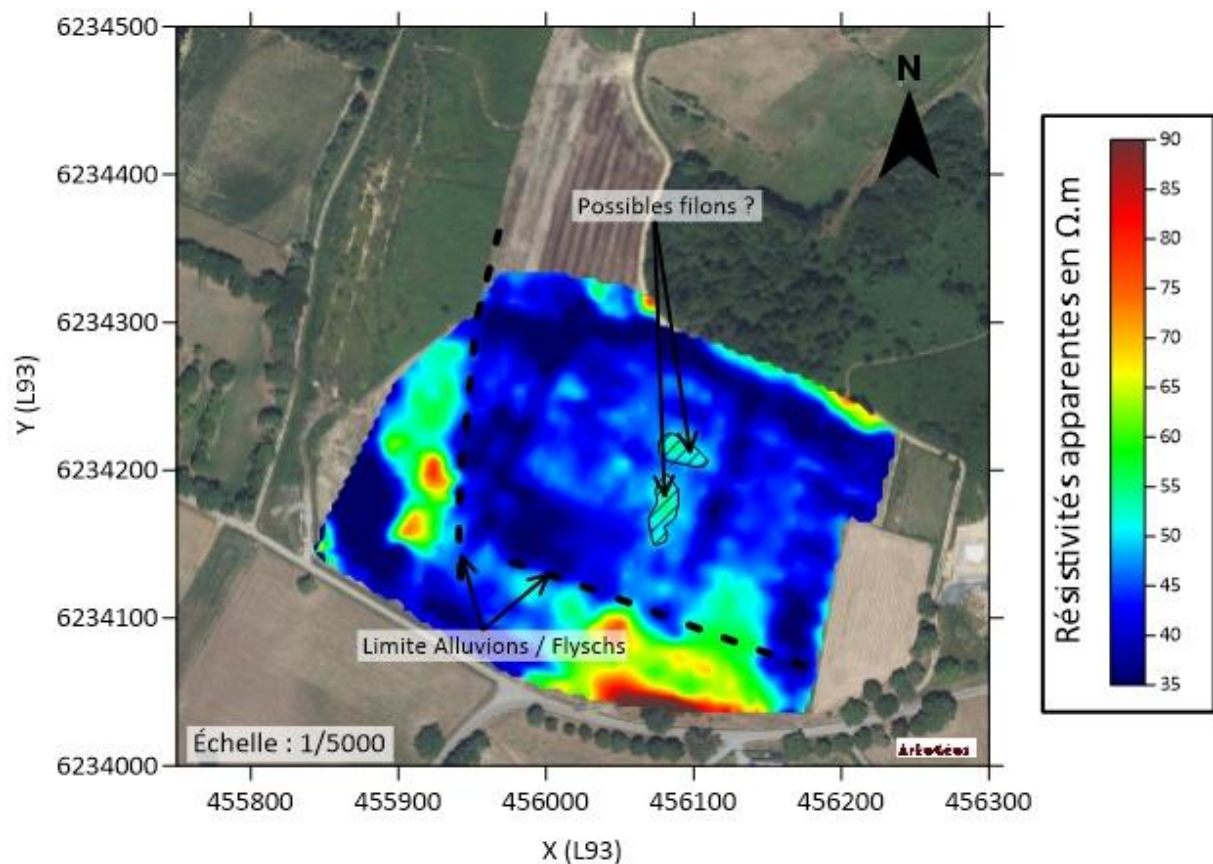


Figure 6 : Localisation des possibles filons avec le CMD-Explorer (0 à 2.2m)

5.3. Remarques

Toute estimation d'épaisseur et de profondeur n'est donnée qu'à titre indicatif. De ce fait, tout calcul de volume ou chiffrage à partir de ce présent rapport ne saurait engager la responsabilité d'ArkoGéos.

Au regard des limites inhérentes aux méthodes mises en œuvre, il ne peut pas toujours avoir de réponse univoque à la problématique exposée sans un recours à d'autres types d'investigations (sondages mécaniques, informations géologiques...). En effet, toute technique géophysique conduit à des résultats dont le degré d'incertitude est souvent difficile à appréhender sans informations complémentaires. Il faut également souligner que l'étude est réalisée à temps T et ne peut présager de l'évolution future des terrains investigués (modification anthropique, événements météorologiques, mouvements de sols...).

PLANCHES



Planche 1 : Implantation des points de mesure CMD-Explorer

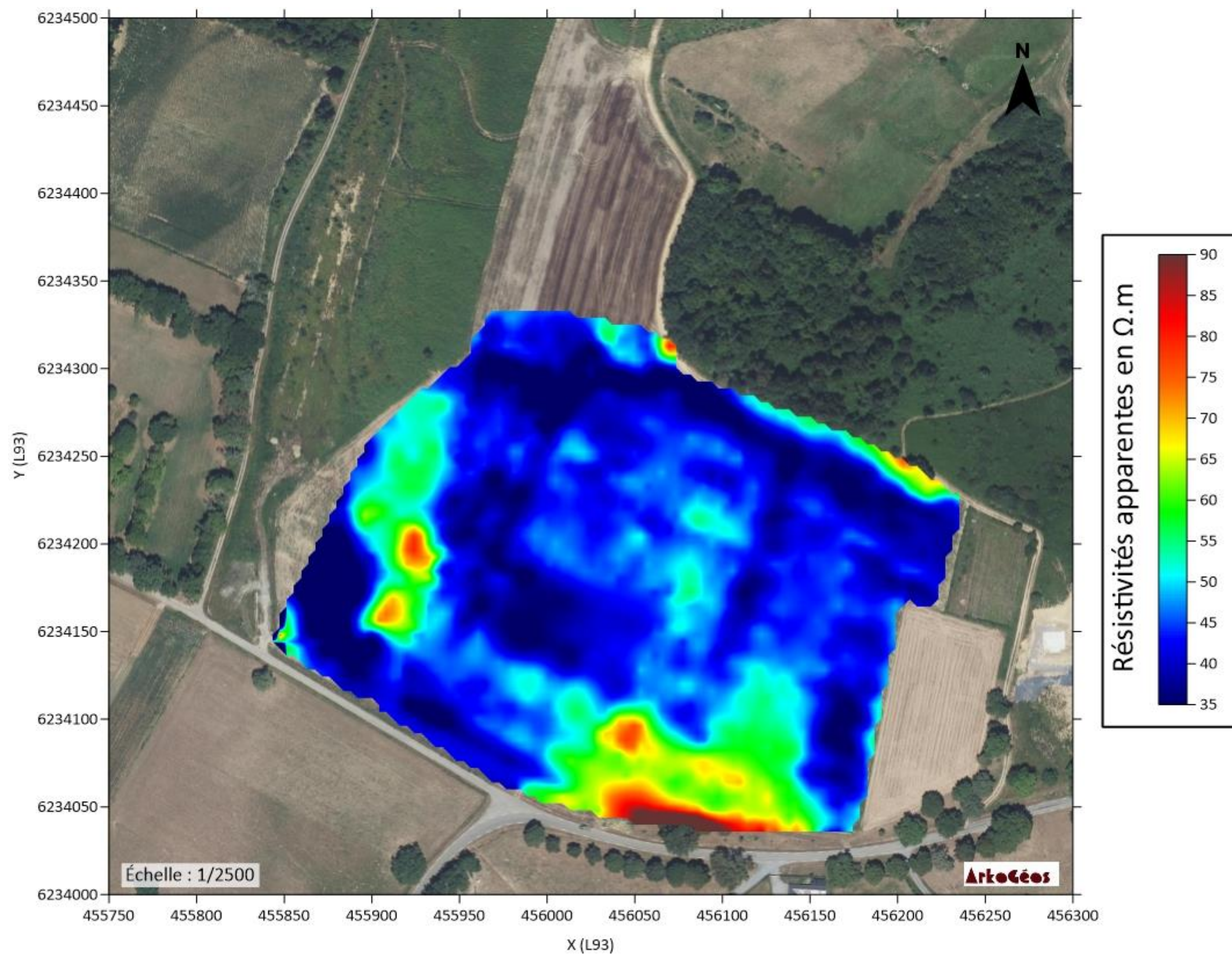


Planche 2 : Résultats des mesures CMD-Explorer (0-2.2 m)

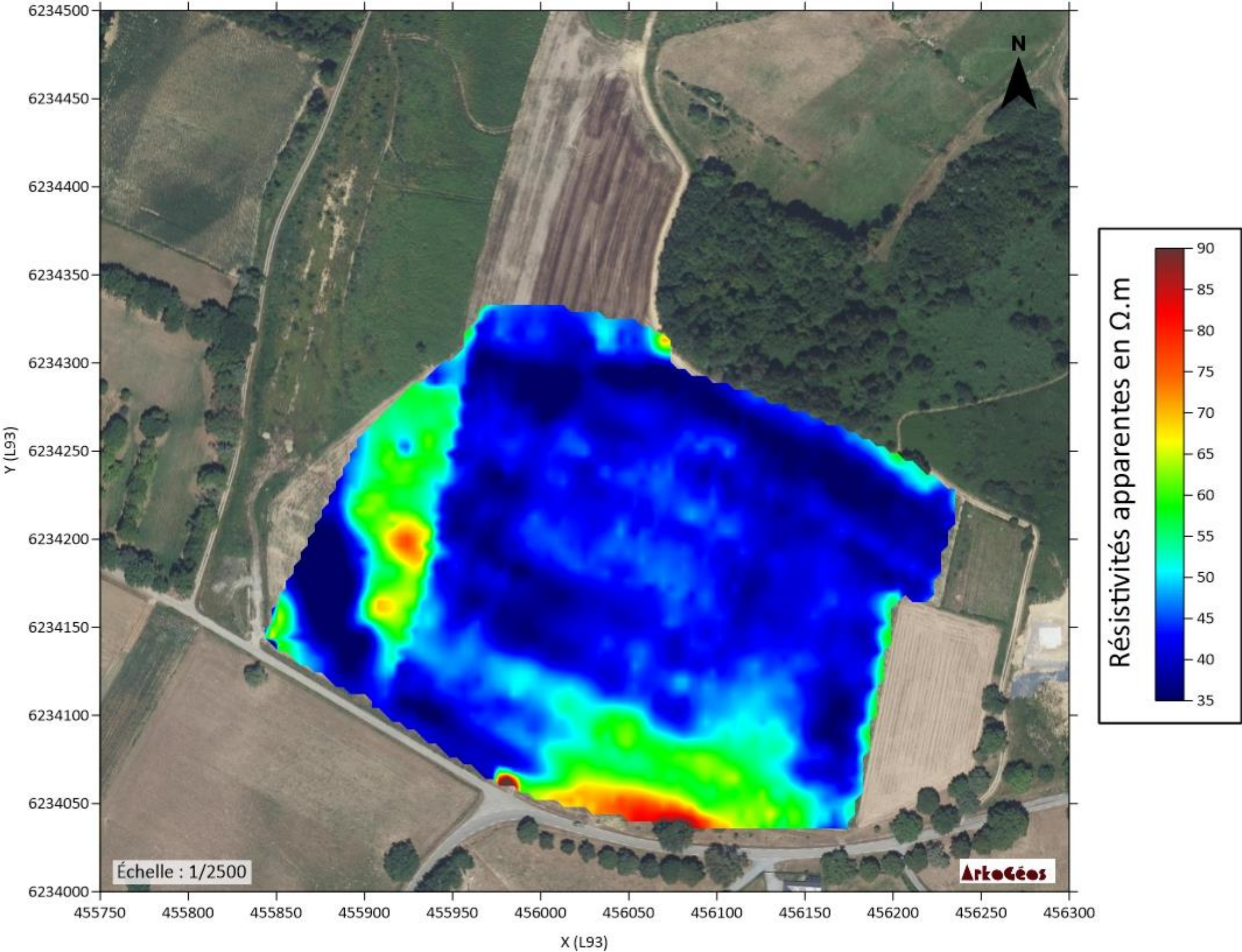


Planche 3 : Résultats des mesures CMD-Explorer (0-4.2 m)

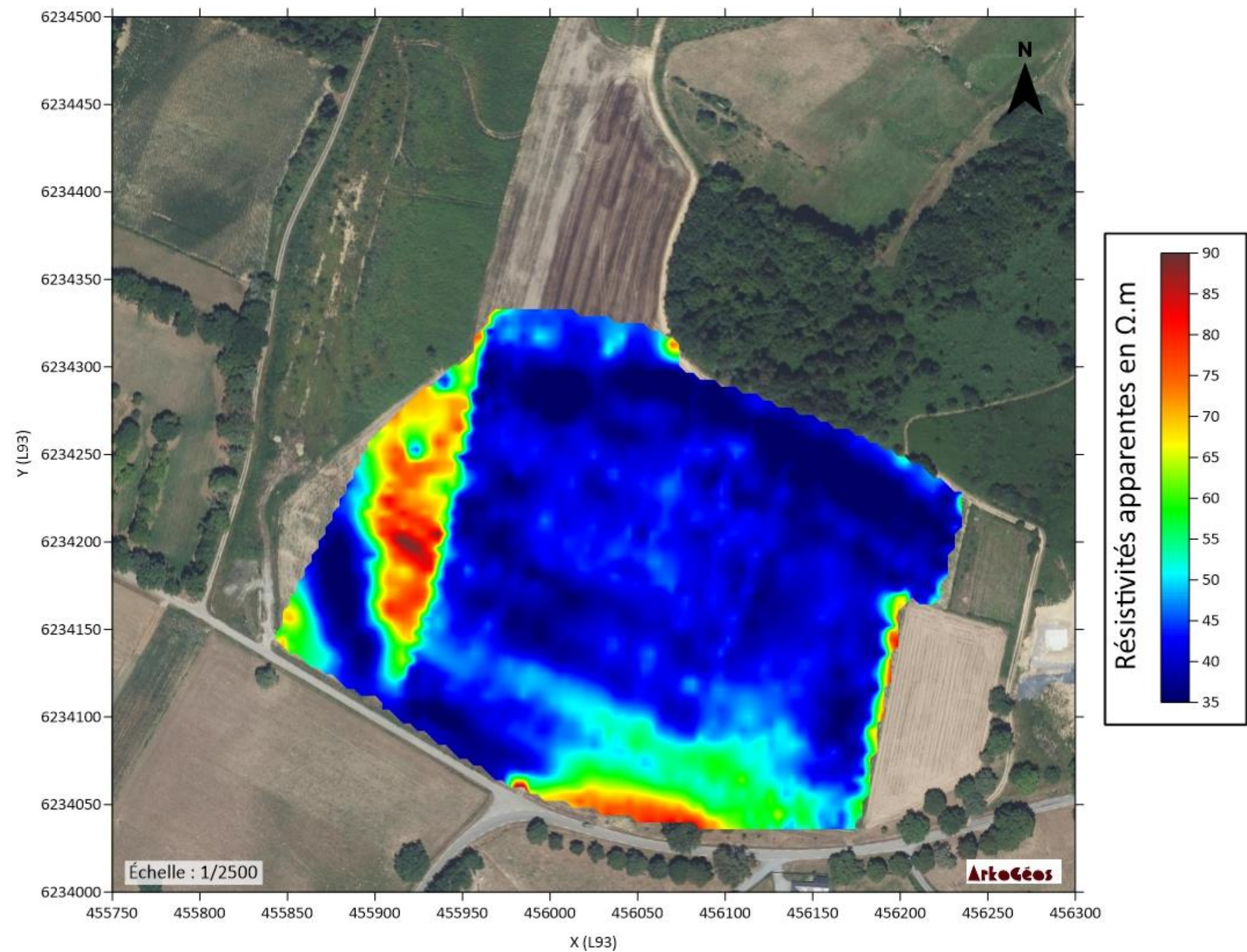


Planche 4 : Résultats des mesures CMD-Explorer (0-6.7 m)



Planche 5 : Implantation des points de mesures EM34

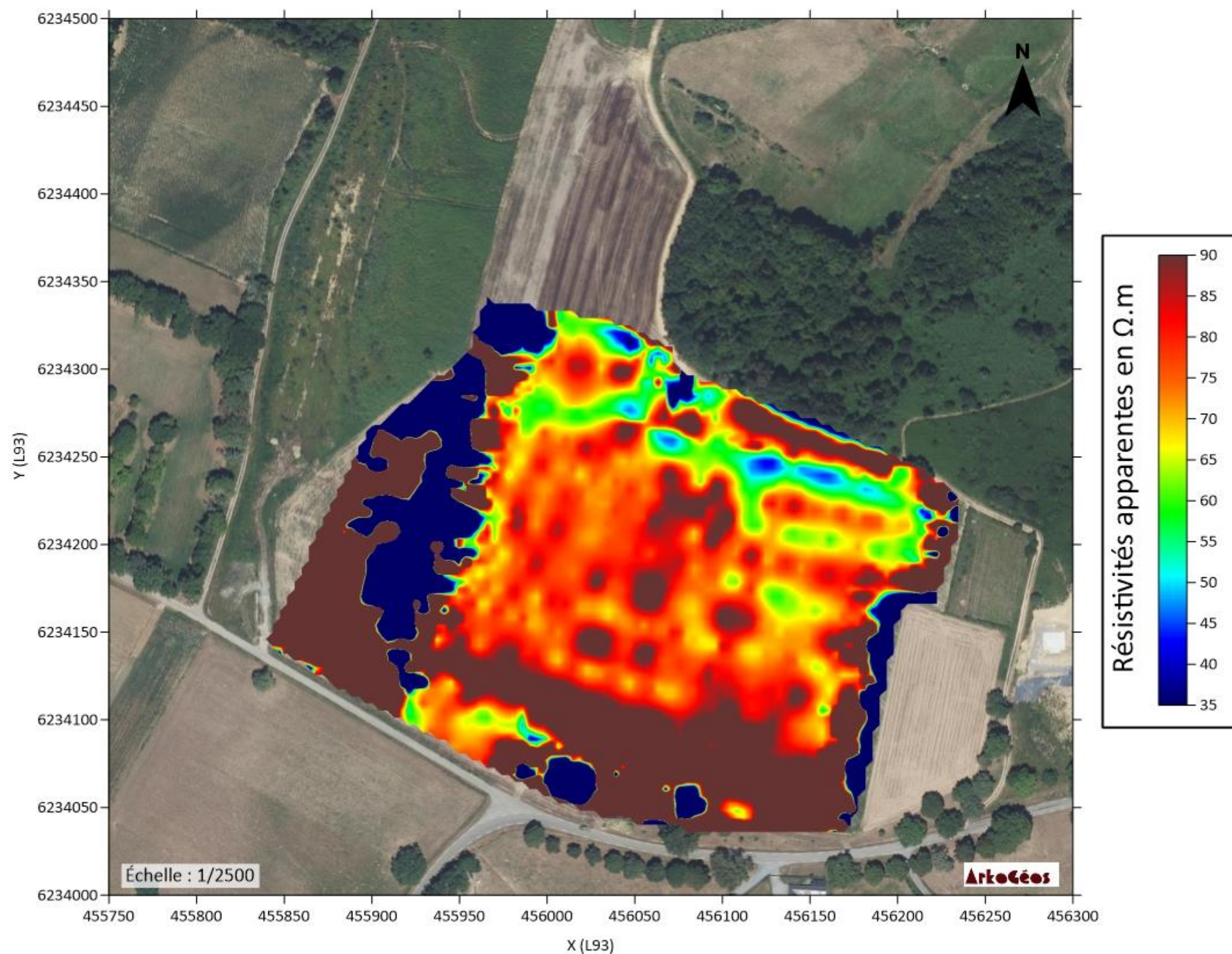


Planche 6 : Résultats des mesures EM34 (0-15 m)

ANNEXE

Annexe 1 : Matériel utilisé

Lors de l'intervention géophysique, ArkoGéos a utilisé du matériel spécifique et de précision dont les références sont fournies ci-dessous :

APPAREIL DE MESURE	MARQUE / MODELE	NUMERO DE SERIE
Conductivimètre	Geonics / EM34-3 RT	S/N : 1550831
Conductivimètre	GF Instruments / CMD Explorer	S/N : 16120453
DGPS	EMLID / RS2 Base et Rover	S/N : 8243A035099887A72145 / S/N : 82437705682BCF702145

Le calibrage de ces appareils est effectué à minima annuellement.