

Ancienne carrière de MOLTIFAO (Haute Corse)

**Reconnaissance géophysique multiméthodes :
Electromagnétique (EM) & Electrique multi-
électrodes (PE)**

RCF6.J.017

Avril 2019



GINGER CEBTP – Pôle Géophysique • 17 rue du Pré Comtal
Tél. 33 (0) 4 73 27 72 00 • Fax 33 (0) 4 73 27 74 57 • cebtp.clermont@groupe-cebtp.com



Date émission	version	Rédaction	Contrôle
17/04/2019	1	T. HOUTTEVILLE	F. CHALUS
	-		
	-		

SOMMAIRE

1.	Introduction	4
1.1	Généralités.....	4
1.2	Nature de la mission.....	4
1.3	Contexte géologique	5
1.4	Documents fournis.....	5
2.	Reconnaissance géophysique.....	6
2.1	Matériel de mesure mis en œuvre.....	6
2.2	Travaux réalisés	7
3.	Résultats de la reconnaissance.....	8
3.1	Documents remis en annexes.....	8
3.2	Synthèse de la reconnaissance	8
4.	Conclusion	10

ANNEXES

Annexe 1 : Reconnaissance géophysique

- Implantation & nomenclature de la reconnaissance géophysique
- Carte d'isorésistivité apparente sur la tranche de sol 0/6m
- Coupes géoélectriques incluant la topographie
- Tableau des points GPS et des mesures EM
- Sections brutes, calculées, modélisées – Logiciel Res2DInv

Annexe 2 : Principe des méthodes employées.

1. Introduction

1.1 Généralités

A la demande du service Sols et Fondations de la société GINGER CEBTP, Agence d'Aix-En-Provence, 1030, rue Jean-René Guillibert Gauthier de la Lauzière, Les Milles, 13290 Aix-en-Provence, représenté par Solène CHASSIN,

Le Pôle Géophysique de GINGER CEBTP, 17 rue du Pré Comtal, ZAC Les Gravanches, 63100 CLERMONT-FERRAND, a réalisé une reconnaissance géologique par méthodes combinées électromagnétique (EM31) & électrique multi-électrodes (ou panneaux électriques - PE), au droit de l'ancienne carrière de Moltifao, en Haute-Corse.

Les mesures in situ ont été effectuées du 19 au 20 Mars 2019 par le personnel du Pôle Géophysique de GINGER CEBTP.

Le traitement des données et la rédaction du rapport ont été réalisés par T. HOUTTEVILLE, Ingénieur Géologue-Géophysicien du Pôle Géophysique de GINGER CEBTP.

Ce rapport a fait l'objet d'un contrôle par F. CHALUS, Ingénieur Géophysicien du Pôle Géophysique de GINGER CEBTP.

1.2 Nature de la mission

La prospection électromagnétique à émetteur proche contrôlé (EM31) a pour but, par une mesure de la conductivité apparente du sous-sol (résultant de la contribution de la conductivité de chaque horizon lithologique présent sur la tranche de sol concernée) sur 0/6m, de reconnaître la géologie générale du substratum de surface et subsurface et de mettre en évidence d'éventuelles hétérogénéités (Anomalies, variations de faciès, discontinuités...) qui affecteraient le sous-sol.

La prospection électrique permet de reconnaître le sous-sol d'une zone d'étude en termes d'unités lithologiques (couches, horizons, ensembles...) caractérisées par leur nature géoélectrique et leur épaisseur. Divers paramètres peuvent être mesurés, comme la résistivité (Ohm.m) et/ou la chargeabilité électrique (ms)

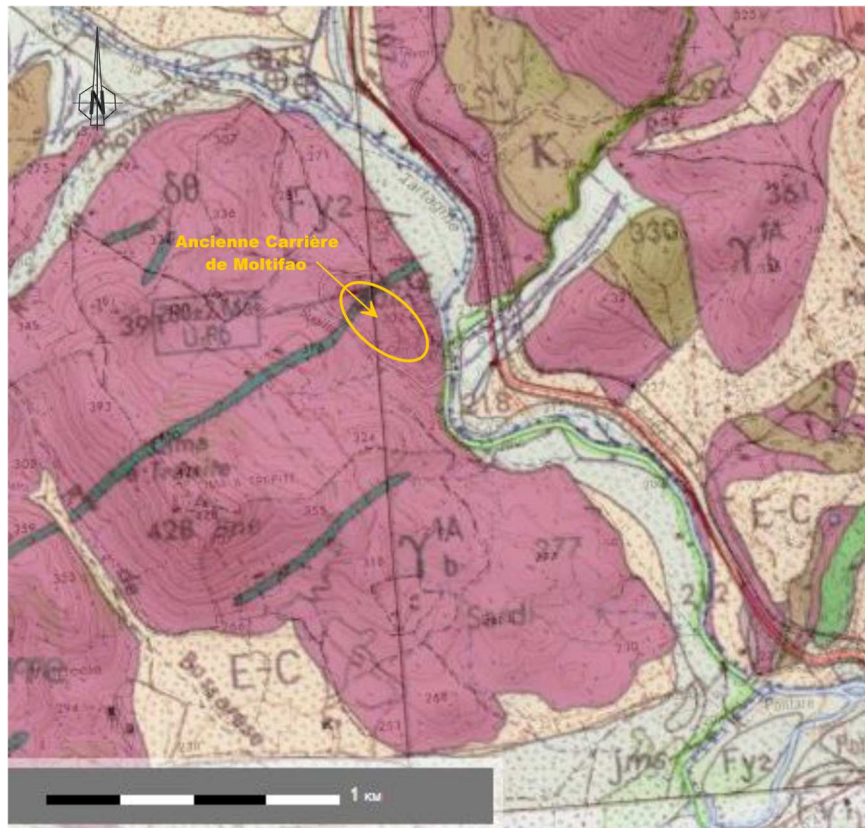
Dans le cadre de la reconnaissance géologique du site, 202 points de mesure EM et 4 profils électriques ont été réalisés.

Les méthodes mises en œuvre visent donc à préciser en plan et en coupe la géométrie du recouvrement et/ou du substratum ainsi que leurs natures supposées.

D'éventuelles hétérogénéités (variations de faciès, anomalies, discontinuités...) pourront être mises en évidence. Des flux d'eau souterraine peuvent également influencer les résultats de la prospection géophysique.

1.3 Contexte géologique

Extrait de la carte géologique au 1/50000 établie par le BRGM drapée sur fond IGN.
- Feuille n°1106 – SANTO-PIETRO-DI-TENDA (Source : Site internet Infoterre) -



Les principales formations géologiques naturelles susceptibles d'être rencontrées au droit et/ou à proximité du site étudié, sont succinctement décrites ci-dessous, de la plus récente à la plus ancienne, sur la base des informations mentionnées dans la notice de la carte géologique :

γ^{1Ab} – Magmatisme volcano-plutonique (Permien inférieur) U3 : Complexe plutonique métalumineux de Popolasca : Granites perthitiques (hypersolvus) roses à biotite.

50 – Dolérites et microgabbros indifférenciés : Le filon de Cima a Trepite, au Nord-Ouest de Ponte-Leccia, recoupe les granites perthitiques U3 du complexe de Popolasca. Il a été daté à 280 ± 2 Ma.

1.4 Documents fournis

- Plan d'accès et de situation.
- Plan de la carrière au format Autocad (.dwg).

2. Reconnaissance géophysique

2.1 Matériel de mesure mis en œuvre

Mesures électromagnétiques :

- ⇒ Appareil électromagnétique **EM31**, modèle D, de marque **GEONICS** (Référence CEBTP GPH07242).
- ⇒ DataLogger, modèle **Polycorder 600**, de marque **Wescor Inc.** (Référence CEBTP GPH07242-001).
- ⇒ GPS non différentiel de marque **Garmin**, modèle **Etrex**.

Panneaux électriques :

- ⇒ Résistivimètre de marque **ABEM**, de type **Terrameter SAS4000**. (Référence CEBTP GPH07244)
- ⇒ Système multi électrodes de marque **ABEM**, de type Lund **ES10-64**. (Référence CEBTP GPH07245)
- ⇒ flûtes de 62m et 155m, 64 électrodes inox & connexions. (Référence GPH 07272)



Matériel de mesure de panneau électrique in situ.

2.2 Travaux réalisés

Les mesures géophysiques ont été réalisées selon les référentiel AGAP, fiches n°92.1 EMA21 et n°92.1 ELE 31 du code de bonne pratique édité par l'Association pour la qualité en Géophysique Appliquée.

On se référera au plan d'implantation de la reconnaissance géophysique en annexe 1.

Electromagnétisme : Il a été réalisé 202 stations de mesures électromagnétiques (mesure de la résistivité apparente) sur la tranche de sol 0/6m, selon une maille de l'ordre de 10m x 10m.

L'ensemble des données (Cartes d'isorésistivité apparente & de Phase) a été traité puis mis en forme à l'aide du logiciel SURFER 12, produit par la société GOLDEN Software.

Les coordonnées GPS ont été recueillies à l'aide d'un GPS non différentiel selon le système géodésique Lambert IV. Leur précision est de $\pm 3m$.

Panneaux électriques : Il a été réalisé 4 panneaux électriques terrestres notés PE01 à PE04, selon la configuration suivante :

Nom	Longueur	Nbre d'électrodes	Distance inter-électrodes	Configuration	Paramètre mesuré	Prof. théorique
PE01	155m	32	5m	Wenner-Schlumberger	Résistivité	$\pm 30m$
PE02	315m	64	5m	Wenner-Schlumberger	Résistivité	$\pm 30m$
PE03 & PE04	62m	32	2m	Wenner-Schlumberger	Résistivité	$\pm 12m$

Les données obtenues lors de la prospection électrique ont été filtrées (élimination des mesures considérées comme non significatives), traitées et dépouillées à l'aide du logiciel 2D de modélisation par inversion RES2DINV, version 3.4 de Décembre 2001, produit par la société GEOTOMO Software. L'ensemble des données a été mis en forme à l'aide du logiciel SURFER 12, produit par la société GOLDEN Software. Une topographie sommaire des profils, extrapolée à partir du plan Autocad fourni et des relevés de terrain, a été prise en compte dans le processus d'inversion.

3. Résultats de la reconnaissance

3.1 Documents remis en annexes

➤ **Annexe 1 : Reconnaissance géophysique**

- Implantation & nomenclature de la reconnaissance géophysique (A1)
- Carte d'isorésistivité apparente sur la tranche de sol 0/6m (A1)
- Coupes géoélectriques incluant la topographie (A3)
- Tableau des mesures EM et des points GPS (5 x A4)
- Sections brutes, calculées, modélisées avec le logiciel de traitement Res2DInv (4 x A4)

➤ **Annexe 2 : (17 pages)**

Principe des méthodes employées.

3.2 Synthèse de la reconnaissance

Reconnaissance électromagnétique (EM31) :

La reconnaissance par méthode électromagnétique permet de caractériser le sous-sol selon sa résistivité apparente, sur la tranche de sol 0/6m.

La carte d'isorésistivité obtenue par « Krigeage » représente Les variations en plan de la résistivité apparentes. Elle indique que, sur l'ensemble de la zone d'étude, les résistivités apparentes sont globalement comprises entre 650 et 1100 Ohm.m.

La carte montre deux ensembles bien différenciés :

La plateforme supérieure est une zone de forte résistivité (entre 800 et 1100 Ohm.m) constituée de matériaux graveleux à faible teneur en eau supposée. Ces matériaux correspondent à des déblais de minage.

La plateforme inférieure est une zone un peu plus conductrice (entre 650 et 850 Ohm.m) qui correspond vraisemblablement à la frange altéré/fracturée du massif granitique avec la présence de probables circulations d'eau.

Sur la bordure NE de la plateforme existe également une zone plus conductrice assimilée à une probable zone de fracturation préférentielle avec circulations d'eau.

Remarques :

- La carte d'isorésistivité présentée en annexe est un modèle calculé par interpolation entre points de mesure : Les limites supposées entre les différents ensembles sont donc théoriques.
- Les passages entre les diverses formations géologiques sont marqués par des gradients et non par des transitions brutales. Les limites reportées sur les cartes correspondent aux gradients de résistivité jugés les plus significatifs. Elles déterminent donc les transitions supposées entre les différents ensembles définis ci-dessus.

Panneaux électriques :

Les résistivités dites « vraies » obtenues par inversion sur les coupes géoélectriques s'intègrent dans une gamme étendue. Elles s'échelonnent pour l'essentiel entre 400 Ohm.m et 9000 Ohm.m, ce qui implique la présence de matériaux de nature géoélectrique bien contrastée.

Les coupes géoélectriques PE01 à PE04 présentent des contrastes significatifs permettant de définir les principaux ensembles (ou unités géoélectriques) suivants :

Unité Géoélectrique	Plage de Résistivité	Interprétation géophysique correspondante
A	Résistivité moyenne à forte, globalement comprise entre 2000 et 9000 Ohm.m	Unité de surface et subsurface (présente uniquement sur PE02 & PE03) attribuée à des déblais de minage constitués de matériaux granitiques aérés, graveleux à blocs. La résistivité élevée indique vraisemblablement que la teneur en eau de cet horizon est très faible.
B	Résistivité assez faible à moyenne, globalement comprise entre 600 et 2000 Ohm.m	Unité de surface et subsurface (uniquement visible sur PE02 & PE04) pouvant correspondre à la une frange altérée/fracturée du substratum granitique. La résistivité assez faible indique vraisemblablement la présence de circulations d'eau.
C	Résistivité moyenne à forte, globalement comprise entre 2000 et 8000 Ohm.m	Unité globalement plus profonde sur PE02 mais pouvant également être rencontrée en surface, notamment sur PE01, et attribuée au substratum granitique considéré comme ± altéré/fracturé à sain.
Anomalies conductrices	Résistivité faible à moyenne, globalement comprise entre 400 et 2000 Ohm.m	Zones anomaliques au sein du massif granitique pouvant correspondre à des zones de fracturation/altération prononcée avec des circulations d'eau préférentielles.

Remarques :

- Les limites reportées sur les coupes (résistivité et chargeabilité) correspondent à des interfaces marquées liées aux gradients les plus significatifs. Elles déterminent donc les transitions supposées entre les différentes unités géoélectriques définies ci-dessus.
- Les profils géoélectriques présentés en annexe sont des modèles calculés par inversion mathématique des mesures. Les profondeurs et les limites supposées entre les différents ensembles sont donc théoriques.
- Les passages entre les diverses formations géologiques, présentant a priori des propriétés de résistivité électrique contrastées, sont marqués par des gradients et non par des transitions brutales. Cela s'explique à la fois par la mesure géophysique et par le processus d'inversion du signal, qui concourent à lisser les interfaces contrastées.
- Les sections de mesure brutes, calculées et modélisées à l'aide du logiciel Res2DInv sont présentées en annexe.

4. Conclusion

La prospection géophysique réalisée fournit une vision spatiale au droit du site.

Elle permet un zonage en grands ensembles lithologiques et précise la géométrie du sol-support, ainsi que la nature et la qualité supposée des différentes unités en présence.



Elle met en évidence des hétérogénéités (Fracturation et circulations d'eau probables) affectant le substratum granitique.

Cette prospection géophysique étant dite « aveugle » (car non destructive et réalisée depuis la surface), les caractéristiques indiquées précédemment (nature lithologique, limites entre différents ensembles...) ont un caractère représentatif mais non absolu.

Les caractéristiques géophysiques obtenues devront être corrélées avec les données géologiques, hydro-géologiques et géotechniques existantes ou futures, afin de confirmer les hypothèses émises.

Le détail des résultats obtenus est précisé dans le texte et en annexe.

Fait à Clermont - Ferrand,
Le 17/04/2019

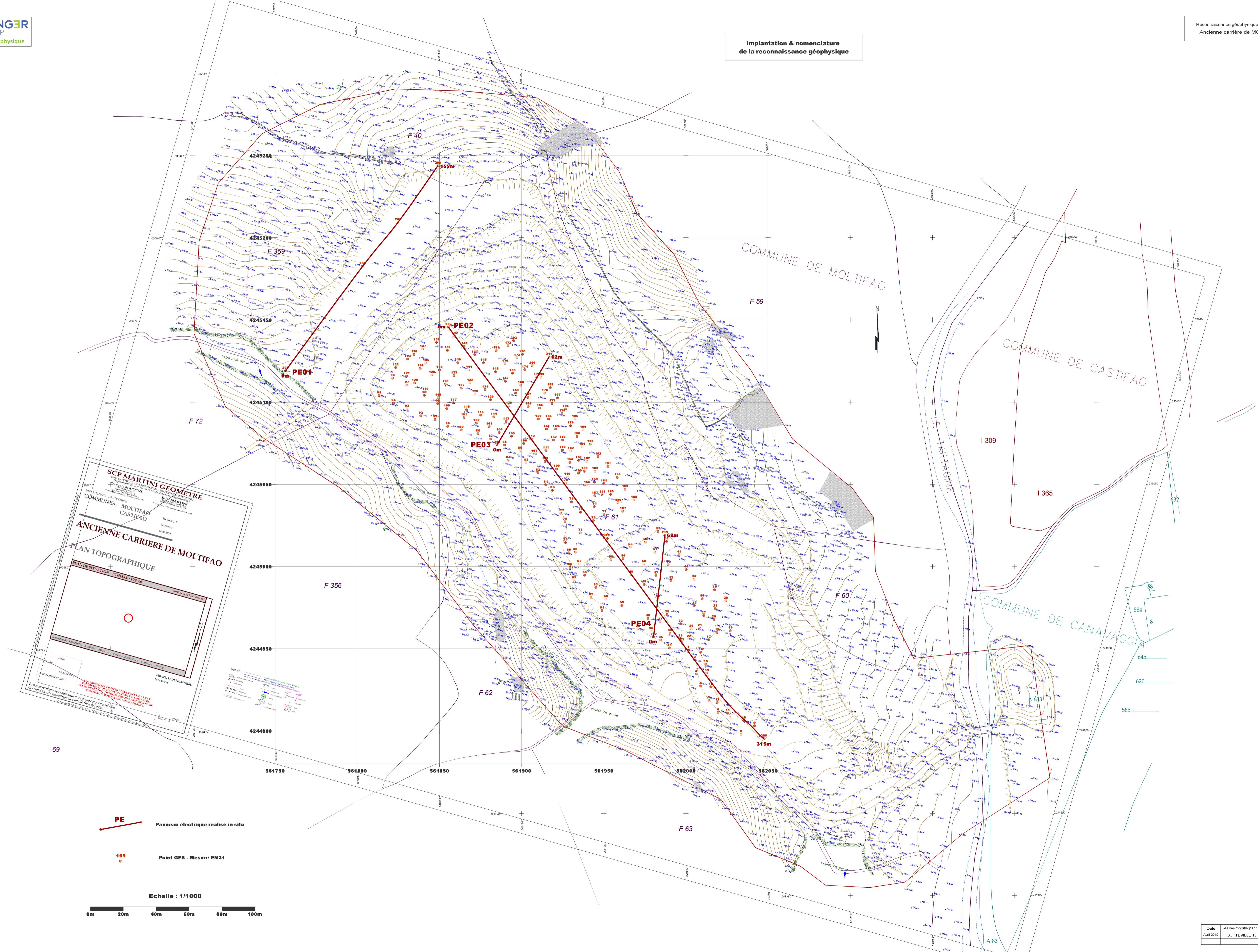
Rédaction	Contrôle
 T. HOUTTEVILLE Ingénieur Géophysicien Chargé d'Affaires	 F. CHALUS Ingénieur Géophysicien Chargé d'Affaires

ANNEXES

Annexe 1 : Reconnaissance géophysique

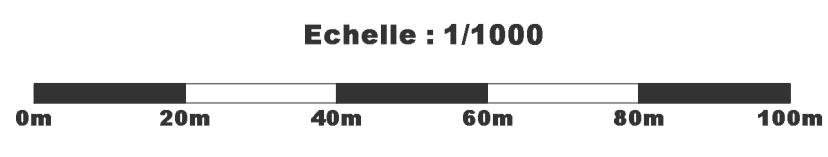
- Implantation & nomenclature de la reconnaissance géophysique (A1)
- Carte d'isorésistivité apparente sur la tranche 0/6m (A1)
- Coupes géoélectriques incluant la topographie (A3)
- Tableau des mesures EM et points GPS (5 x A4)
- Sections brutes, calculées, modélisées avec le logiciel de traitement Res2DInv (4 x A4)

**Implantation & nomenclature
de la reconnaissance géophysique**



PE Panneau électrique réalisé in situ

169 Point GPS - Mesure EM31



**Carte d'isorésistivité apparente
sur la tranche de sol 0/6m**



**Plateforme supérieure = Zone de forte résistivité :
Matériaux graveleux supposés à faible teneur en eau
(déblais de minage)**

**Zone plus conductrice :
Probable zone de fracturation préférentielle
avec circulations d'eau**

**Plateforme inférieure = Zone plus conductrice :
frange altérée/fracturée supposée du massif granitique
Probables circulations d'eau**

SCP MARTINI GEOMETRE
Société de Géométrie et de Topographie
17 rue de Pré Castel
42000 CHATEAUGUAY
Tél : 04 77 37 21 00
Fax : 04 77 37 21 01
www.scp-martini.com

PROJET : Ancienne Carrière de Moltifao
COMMUNES : MOLTIFAO
CASTIFAO

PLAN TOPOGRAPHIQUE
PLAN DE SITUATION - ECHELLE 1:25000

Le présent plan de situation a été dressé par le géomètre en vertu de son pouvoir public. Il est établi en vertu de la loi n° 125 du 11 mai 1982 relative à l'organisation de la profession de géomètre. Il est soumis à la validation de l'Etat.

PE Panneau électrique réalisé in situ

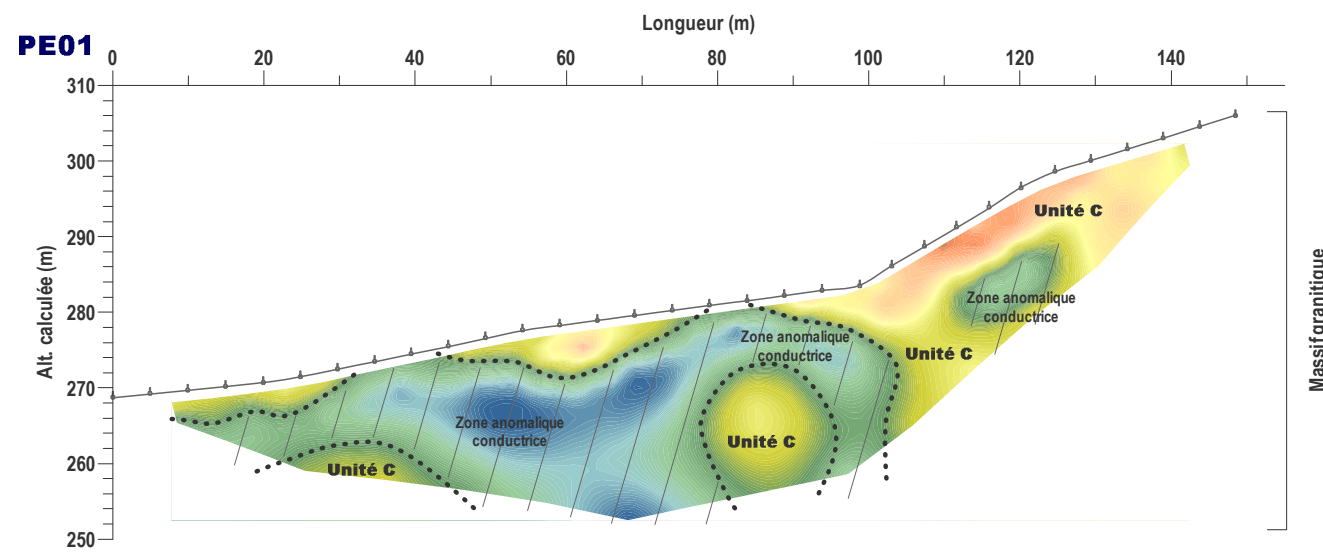
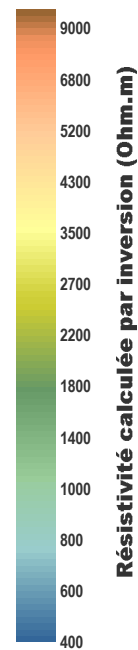
169 Point GPS - Mesure EM31

Echelle : 1/1000

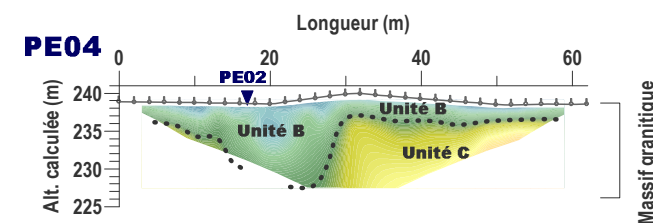
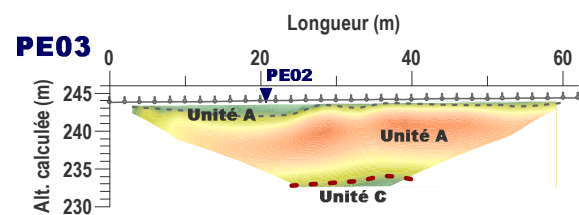
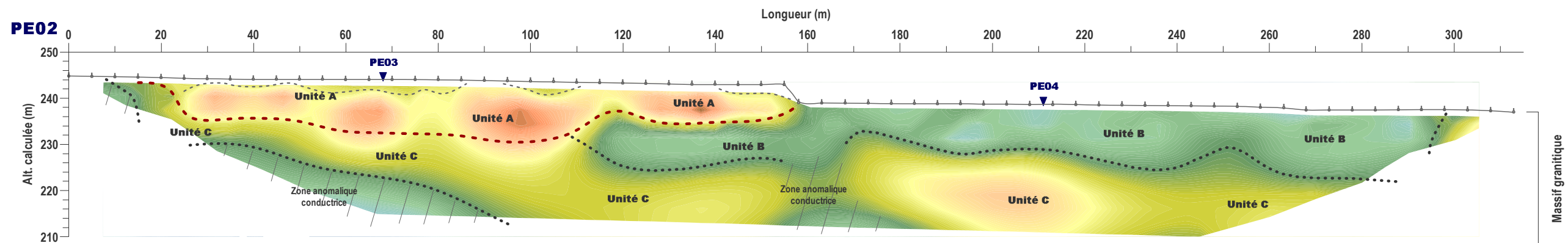
0m 20m 40m 60m 80m 100m

Résistivité apparente sur 0/6m (Ohm.m)

1100
1020
940
860
780
700
620



Unité Géoélectrique	Plage de Résistivité	Interprétation géophysique correspondante
A	Résistivité moyenne à forte, globalement comprise entre 2000 et 9000 Ohm.m	Unité de surface et subsurface (présente uniquement sur PE02 & PE03) attribuée à des déblais de minage constitués de matériaux granitiques aérés, graveleux à blocs. La résistivité élevée indique vraisemblablement que la teneur en eau de cet horizon est très faible.
B	Résistivité assez faible à moyenne, globalement comprise entre 600 et 2000 Ohm.m	Unité de surface et subsurface (uniquement visible sur PE02 & PE04) pouvant correspondre à la une frange altérée/fracturée du substratum granitique. La résistivité assez faible indique vraisemblablement la présence de circulations d'eau.
C	Résistivité moyenne à forte, globalement comprise entre 2000 et 8000 Ohm.m	Unité globalement plus profonde sur PE02 mais pouvant également être rencontrée en surface, notamment sur PE01, et attribuée au substratum granitique considéré comme ± altéré/fracturé à sain.
Anomalies conductrices	Résistivité faible à moyenne, globalement comprise entre 400 et 2000 Ohm.m	Zones anormales au sein du massif granitique pouvant correspondre à des zones de fracturation/altération prononcée avec des circulations d'eau préférentielles.



Echelle horizontale & verticale : 1/1000



Date	Realisé/modifié par :	GINGER-CEBTP Pôle Géophysique
Avril 2019	HOUTTEVILLE T.	17 rue du Pré Comtal ZA des Gravanches 63000 Clermont Ferrand tel: 04.73.27.72.00

N°GPS	X-Lbt4 (m)	Y-Lbt4 (m)	R.app. (Ohm.m)
1	562001.47	4244949.03	740.7
2	562005.35	4244943.19	714.3
3	562006.30	4244934.63	746.3
4	562008.95	4244927.37	689.7
5	562013.94	4244918.63	757.6
6	562019.56	4244911.29	781.3
7	562026.72	4244908.41	689.7
8	562033.49	4244898.03	800.0
9	562041.73	4244903.15	787.4
10	562035.13	4244906.30	769.2
11	562025.37	4244910.75	757.6
12	562018.99	4244917.26	740.7
13	562015.09	4244926.86	735.3
14	562012.68	4244935.25	746.3
15	562012.09	4244940.55	735.3
16	562008.95	4244947.88	724.6
17	562013.78	4244955.51	714.3
18	562018.88	4244959.82	704.2
19	562027.02	4244961.03	757.6
20	562017.00	4244967.80	740.7
21	562008.43	4244962.54	714.3
22	562001.78	4244955.99	689.7
23	561997.51	4244953.75	699.3
24	561989.93	4244950.58	680.3
25	561996.65	4244956.25	714.3
26	562003.19	4244962.12	657.9
27	562010.78	4244970.20	666.7
28	562017.87	4244974.45	699.3
29	562024.25	4244979.19	684.9
30	562017.44	4244985.89	653.6
31	562009.96	4244980.50	680.3
32	562005.11	4244976.21	653.6
33	561996.76	4244965.17	645.2
34	561990.21	4244959.41	689.7
35	561984.68	4244955.29	675.7
36	561978.72	4244960.72	714.3
37	561984.21	4244966.39	704.2
38	561988.38	4244970.85	666.7
39	561970.78	4244962.08	729.9
40	561976.86	4244968.48	699.3
41	561982.93	4244980.22	649.4
42	561990.84	4244991.55	632.9
43	562004.96	4244992.35	694.4
44	562000.20	4244998.21	729.9
45	561995.93	4245007.23	775.2
46	561989.25	4245001.12	719.4
47	561981.69	4244994.61	699.3
48	561974.63	4244989.14	666.7
49	561966.56	4244995.06	657.9

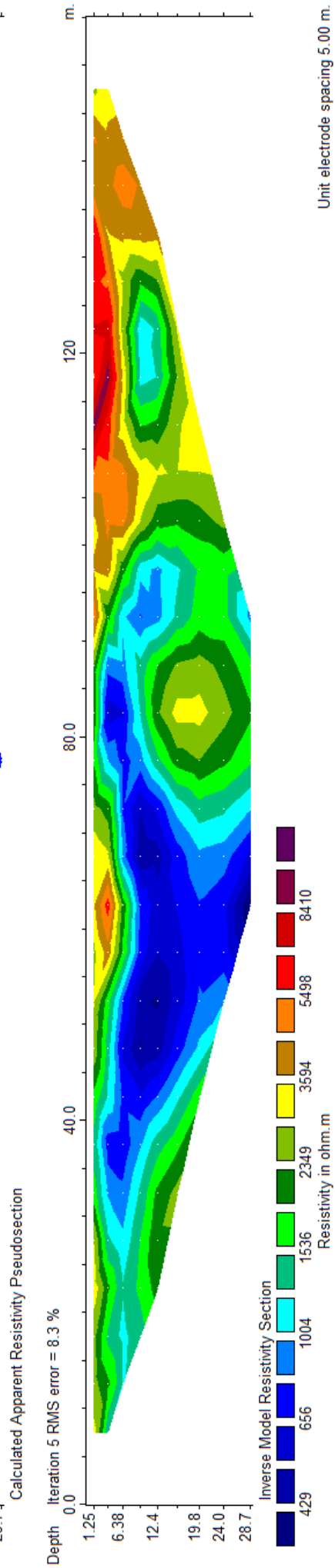
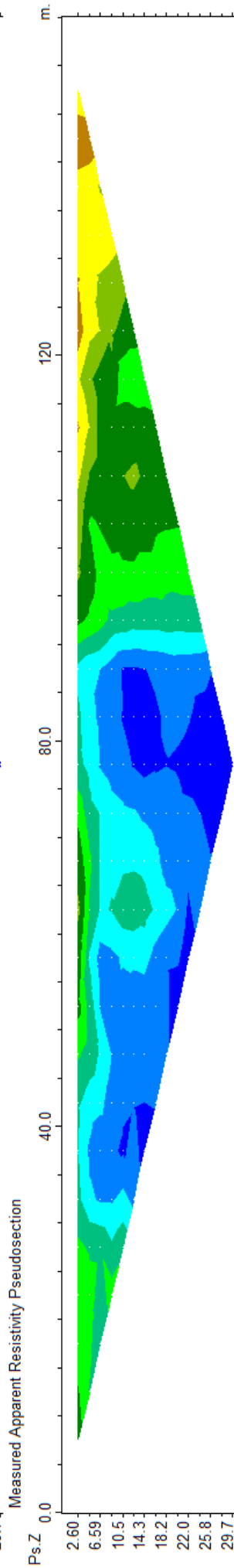
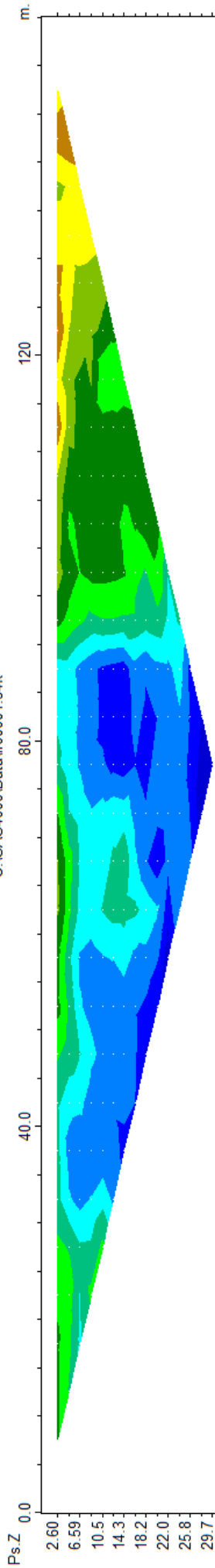
N°GPS	X-Lbt4 (m)	Y-Lbt4 (m)	R.app. (Ohm.m)
50	561974.45	4245001.60	653.6
51	561981.14	4245008.72	704.2
52	561988.19	4245015.30	787.4
53	561983.09	4245021.35	769.2
54	561975.29	4245014.82	740.7
55	561966.12	4245011.86	757.6
56	561961.82	4245004.82	714.3
57	561954.36	4245004.23	671.1
58	561952.26	4245017.09	689.7
59	561960.97	4244976.34	769.2
60	561951.26	4244980.24	787.4
61	561948.93	4244973.26	833.3
62	561942.27	4244981.30	813.0
63	561945.08	4244987.32	826.4
64	561938.31	4244994.69	800.0
65	561931.93	4244991.95	806.5
66	561929.50	4244999.55	826.4
67	561935.03	4245001.56	854.7
68	561932.64	4245008.72	869.6
69	561928.71	4245008.41	862.1
70	561926.73	4245014.60	877.2
71	561935.73	4245020.56	909.1
72	561943.71	4245028.00	833.3
73	561950.27	4245031.64	869.6
74	561944.27	4245036.51	909.1
75	561935.89	4245033.05	934.6
76	561926.37	4245027.27	952.4
77	561923.90	4245032.42	909.1
78	561930.35	4245039.40	885.0
79	561926.95	4245050.83	909.1
80	561918.82	4245046.39	980.4
81	561914.66	4245049.85	952.4
82	561909.87	4245057.15	909.1
83	561902.71	4245063.15	925.9
84	561891.86	4245064.73	892.9
85	561898.99	4245070.43	909.1
86	561889.63	4245074.02	925.9
87	561881.17	4245077.69	892.9
88	561873.41	4245080.86	909.1
89	561863.33	4245083.17	900.9
90	561855.00	4245085.28	869.6
91	561847.31	4245089.57	826.4
92	561838.64	4245091.77	813.0
93	561830.22	4245096.00	800.0
94	561822.03	4245099.46	806.5
95	561813.33	4245104.00	800.0
96	561821.56	4245114.58	885.0
97	561830.13	4245110.48	909.1
98	561840.86	4245104.21	934.6

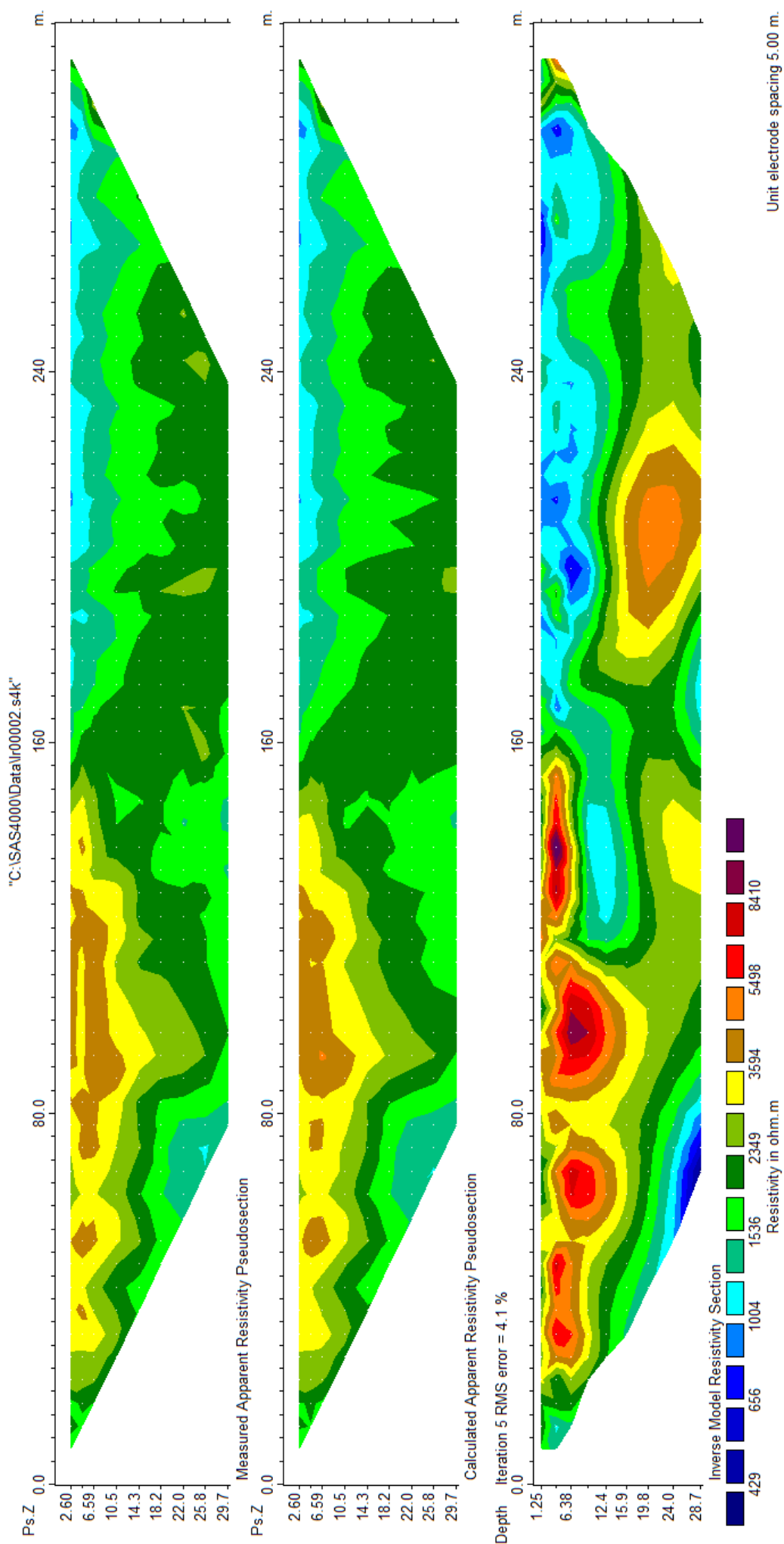
N°GPS	X-Lbt4 (m)	Y-Lbt4 (m)	R.app. (Ohm.m)
99	561848.93	4245099.17	917.4
100	561854.45	4245096.16	952.4
101	561864.88	4245090.65	909.1
102	561872.49	4245087.25	892.9
103	561880.33	4245085.09	925.9
104	561886.47	4245081.57	909.1
105	561893.91	4245079.27	952.4
106	561901.27	4245074.85	892.9
107	561907.63	4245068.56	909.1
108	561914.27	4245063.97	943.4
109	561921.32	4245059.41	952.4
110	561927.73	4245054.57	917.4
111	561914.73	4245070.58	909.1
112	561906.17	4245077.58	934.6
113	561890.47	4245088.24	909.1
114	561883.06	4245091.10	952.4
115	561875.06	4245092.13	943.4
116	561866.55	4245095.46	909.1
117	561858.54	4245099.72	892.9
118	561849.22	4245102.76	925.9
119	561841.44	4245106.26	909.1
120	561834.98	4245111.76	885.0
121	561830.02	4245115.93	862.1
122	561823.34	4245121.08	847.5
123	561830.68	4245126.23	869.6
124	561838.39	4245120.61	877.2
125	561845.39	4245116.61	869.6
126	561853.60	4245110.91	885.0
127	561863.35	4245108.58	909.1
128	561871.65	4245104.90	892.9
129	561881.07	4245101.53	925.9
130	561892.25	4245097.86	943.4
131	561877.69	4245107.72	909.1
132	561868.62	4245111.79	952.4
133	561858.86	4245116.24	909.1
134	561850.01	4245119.65	970.9
135	561841.76	4245123.78	1000.0
136	561834.57	4245129.11	980.4
137	561839.91	4245132.44	980.4
138	561848.26	4245136.34	1000.0
139	561854.83	4245131.52	1020.4
140	561861.12	4245124.11	990.1
141	561867.91	4245119.64	970.9
142	561859.33	4245140.24	990.1
143	561865.11	4245133.90	961.5
144	561871.45	4245128.95	970.9
145	561876.79	4245124.03	952.4
146	561884.15	4245118.60	952.4
147	561890.15	4245112.73	970.9

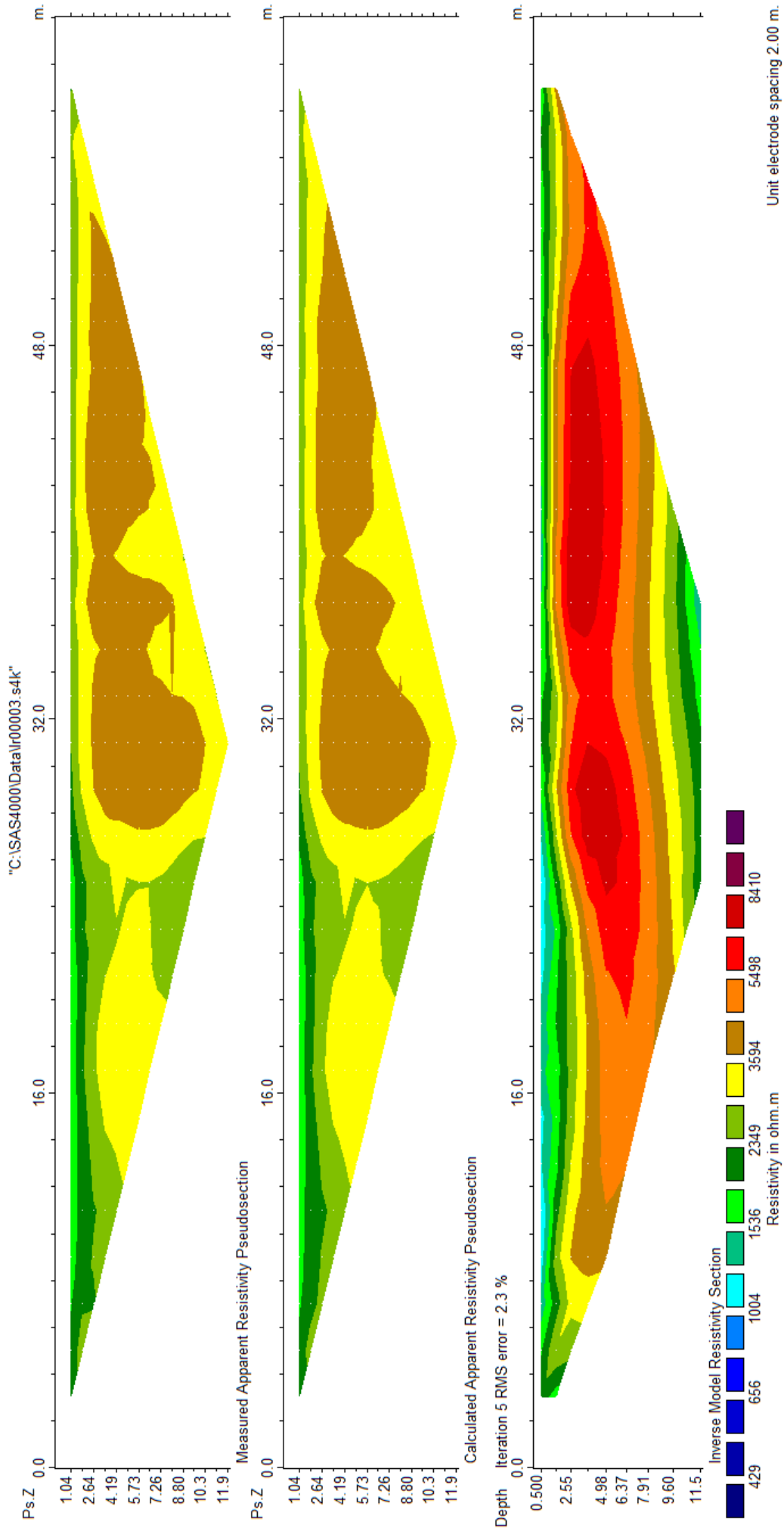
N°GPS	X-Lbt4 (m)	Y-Lbt4 (m)	R.app. (Ohm.m)
148	561896.34	4245105.54	934.6
149	561904.08	4245097.36	952.4
150	561910.22	4245089.83	925.9
151	561915.16	4245083.65	909.1
152	561919.41	4245076.97	934.6
153	561924.93	4245070.95	925.9
154	561929.41	4245063.40	952.4
155	561934.72	4245056.81	909.1
156	561939.75	4245049.63	943.4
157	561944.56	4245043.11	934.6
158	561949.13	4245043.70	952.4
159	561944.40	4245051.34	943.4
160	561938.17	4245057.97	917.4
161	561934.67	4245064.60	909.1
162	561929.92	4245070.35	943.4
163	561924.93	4245077.08	934.6
164	561920.77	4245083.66	952.4
165	561916.40	4245089.77	970.9
166	561911.00	4245096.47	952.4
167	561903.80	4245102.91	990.1
168	561899.49	4245110.36	1000.0
169	561894.46	4245117.65	980.4
170	561889.95	4245123.42	970.9
171	561884.62	4245131.35	1000.0
172	561891.71	4245134.37	1010.1
173	561897.17	4245127.00	990.1
174	561901.95	4245119.81	1000.0
175	561909.25	4245115.16	961.5
176	561914.15	4245105.52	980.4
177	561918.53	4245099.19	970.9
178	561924.63	4245093.10	990.1
179	561929.76	4245085.72	1000.0
180	561933.67	4245079.12	952.4
181	561936.82	4245072.80	970.9
182	561939.66	4245064.11	952.4
183	561944.68	4245058.05	961.5
184	561949.98	4245050.57	943.4
185	561954.15	4245043.88	925.9
186	561958.76	4245038.79	934.6
187	561961.57	4245033.67	909.1
188	561968.35	4245040.56	934.6
189	561962.97	4245047.04	952.4
190	561958.27	4245054.24	970.9
191	561952.45	4245060.90	961.5
192	561946.53	4245066.89	925.9
193	561941.80	4245074.42	961.5
194	561937.38	4245083.21	990.1
195	561932.48	4245089.83	1010.1
196	561926.79	4245095.95	1000.0

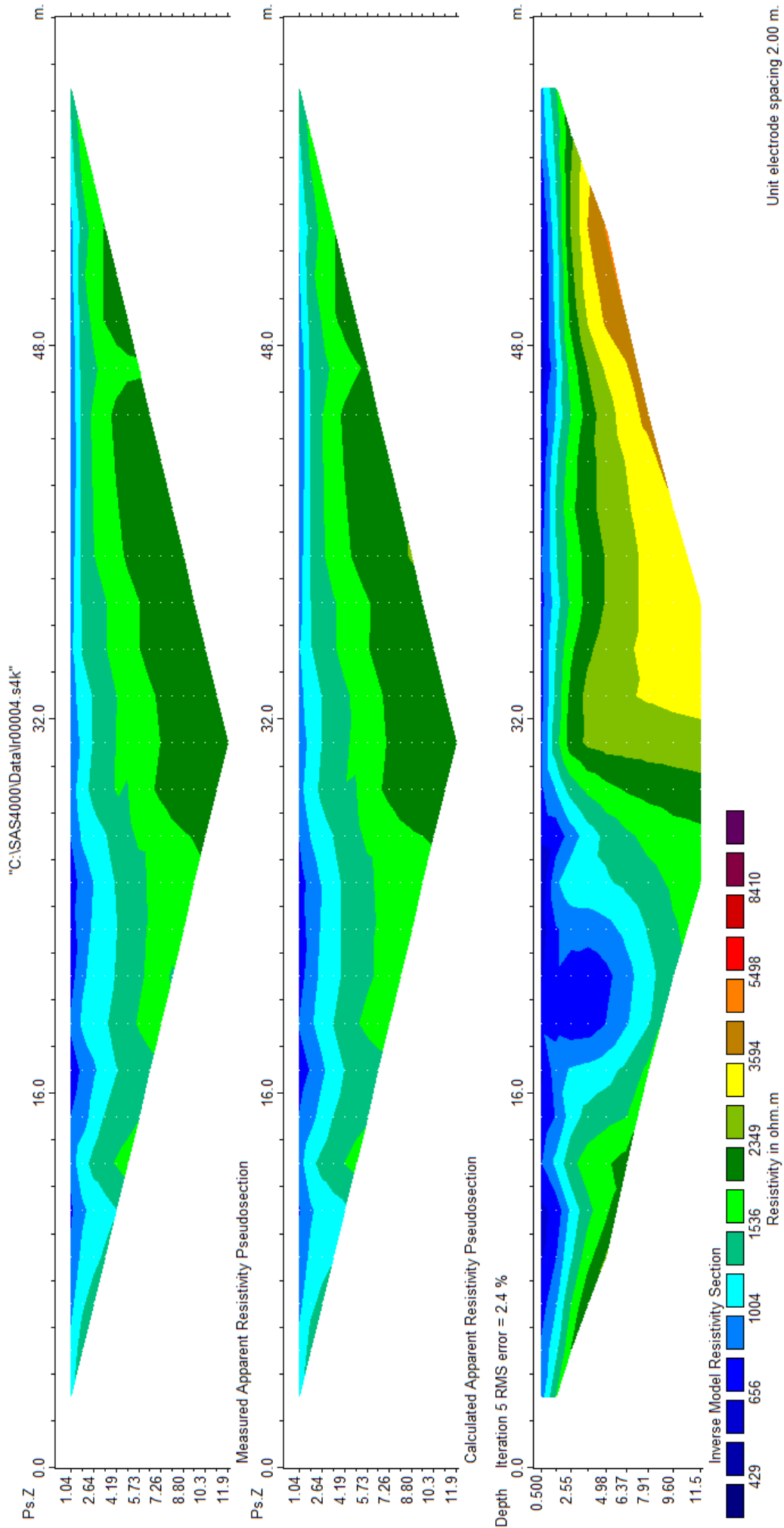
N°GPS	X-Lbt4 (m)	Y-Lbt4 (m)	R.app. (Ohm.m)
197	561921.80	4245102.68	970.9
198	561917.51	4245108.91	952.4
199	561911.80	4245115.25	990.1
200	561906.46	4245122.18	1020.4
201	561900.62	4245129.18	1000.0
202	561895.18	4245137.43	1010.1
203	561756.29	4245119.15	-
204	561803.13	4245182.75	-
205	561824.81	4245209.56	-
206	561849.10	4245243.84	-
207	562047.40	4244895.22	-
208	561950.28	4245017.46	-
209	561855.49	4245145.68	-
210	561885.05	4245074.08	-
211	561916.72	4245127.65	-
212	561980.30	4244957.12	-
213	561987.14	4245018.91	-

"C:\SAS4000\Data\lr00001_s4k"









Annexe 2 : Principe des méthodes employées

**PRINCIPE DE LA METHODE
ELECTROMAGNETIQUE LEGERE A EMETTEUR PROCHE CONTROLE
(EM)**

Fondements théoriques

Les variations d'un champ magnétique provoqué (champ magnétique primaire H_p) par un courant alternatif dans la bobine d'un émetteur à une fréquence donnée induisent des faibles courants dans le sol. Ces courants créent un champ magnétique secondaire H_s , mesuré à l'aide d'un récepteur situé à une certaine distance de l'émetteur.

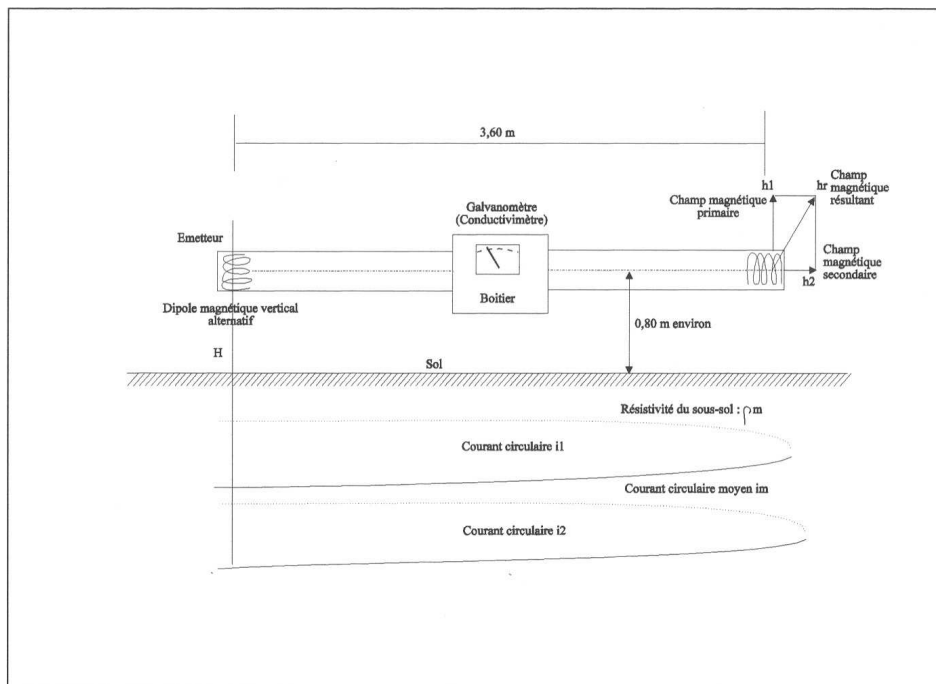
On montre que la conductivité apparente (mS/m)

$$Ca = \frac{4}{2\pi \cdot f \cdot m_0 S^2} \left(\frac{H_s}{H_p} \right)$$

avec m_0 : la perméabilité électromagnétique du milieu.
 S : la distance entre l'émetteur et le récepteur.
 f : fréquence de l'émetteur (pour l'EM31: 9,8 kHz).

Appareillage

Pour l'appareil EM par construction, les paramètres définis dans la formule ci-dessus sont constants ou présentent des variations négligeables. Dès lors, cet appareil permet de réaliser la lecture directe de la conductivité d'une tranche de terrain donnée, exprimée en milliSiemens par mètre et donc d'en déduire immédiatement la résistivité en ohm-mètre.



Les courants induits en sous-sol n'affectent les terrains qu'à proximité immédiate de l'appareil (quelques mètres), le champ secondaire mesuré correspondant à la réponse de ce faisceau de courant induit. Par principe on admet que la mesure réalisée en un point donné correspond à la conductivité du sous-sol en ce point.

Par construction, la précision de lecture est de $\pm 0,2$ mSiemens/mètres,

Toute variation de résistivité du sol est liée à sa nature géologique ou à son état mécanique (altération, fracturation). Ainsi, des argiles ou remblais argileux seront caractérisés par des valeurs de résistivités faibles, de l'ordre de quelques dizaines d'ohms-mètres et les grès, calcaires ou les marno-calcaires par des résistivités de plusieurs centaines d'ohms-mètres, lorsqu'ils sont massifs.

La maille de mesure devra donc être fixée en fonction du problème posé (recherche de "cibles enterrées" telles que fûts métalliques, réseaux, déchets: maille de quelques mètres / recherche géologique: maille de quelques dizaines de mètres).



Suivant le cas, on réalise, à partir d'un maillage ou d'un profil, une mesure de résistivité tous les 2,50 m, 5 m, 10 m ou 20 m, de façon à établir une carte des résistivités apparentes du terrain superficiel. La dimension réduite de l'appareillage et l'absence d'électrodes au sol permettent, par comparaison avec les méthodes électriques traditionnelles :

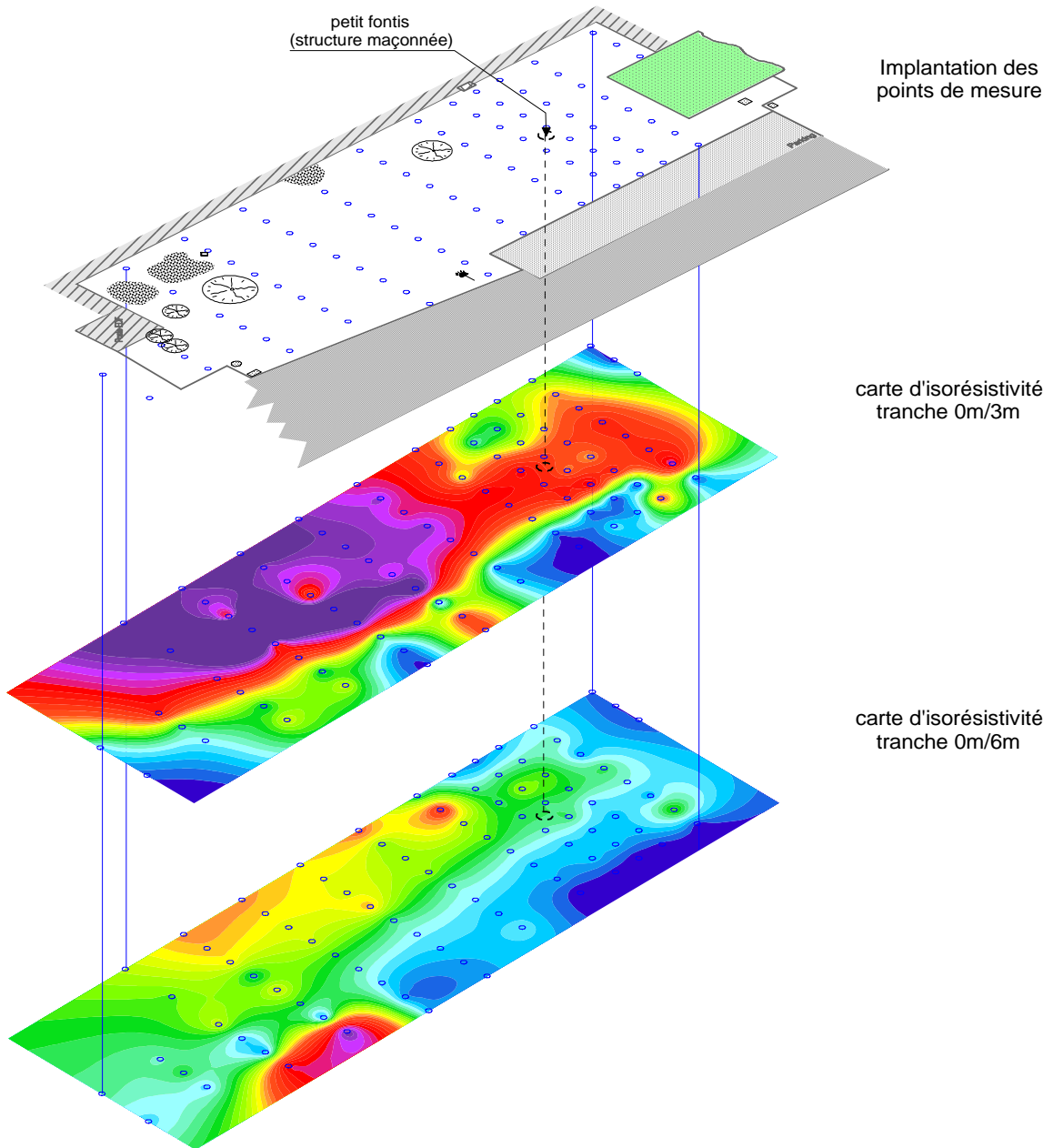
- une focalisation nettement plus importante des mesures de résistivité apparentes.
- une mise en œuvre extrêmement rapide et donc un coût réduit.

Ainsi, toute anomalie conductrice sera repérée et pourra traduire une surépaisseur de terrains argileux (ou sableux). Ces profils de résistivité sont essentiellement destinés à orienter l'implantation de reconnaissances mécaniques.

Les résultats sont stockés sous la forme de fichiers permettant un dépouillement des mesures et leur traduction sous forme graphique entièrement automatique, ce qui réduit d'autant le coût d'une prospection systématique.

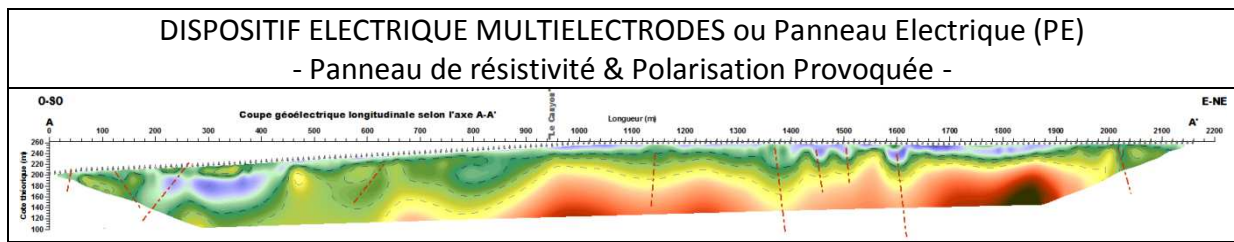
CEBTP	ANNEXE	Méthode EM	2
-------	--------	------------	---

Exemple de reconnaissance par méthode EM :



Valeurs usuelles de la résistivité des matériaux :

Eau douce	20 à 60 ohm.m
Eau de mer	0.18 à 0.24 ohm.m
Argiles, vases	0.5 à 30 ohm.m
Marnes	5 à 50 ohm.m
Craie, Calcaires marneux	80 à 300 ohm.m
Calcaires	300 à 5000 ohm.m
Grès	500 à 4000 ohm.m
Sables secs	1000 à 10000 ohm.m
Schistes	50 à 500 ohm.m
Granites	3000 à 10000 ohm.m
basaltes	800 à 10000 ohm.m



Panneau de résistivité

Notion de résistivité apparente :

Cette méthode consiste à mesurer, à la verticale d'une série d'électrodes MN, la résistivité apparente pour différentes positions d'électrodes d'injection AB.

Un courant électrique est créé en sous-sol à l'aide d'une source de courant I (batterie par exemple) et de deux électrodes A et B, dites d'injection, placées en surface.

Le courant injecté pénètre dans le sol par l'électrode A et en sort par l'électrode B. La répartition des lignes de courant se fait alors en volume.

Il est donc possible de repérer les discontinuités du sous-sol (à la fois les variations latérales de résistivité et les variations en profondeur) en fonction de la distribution des résistivités apparentes.

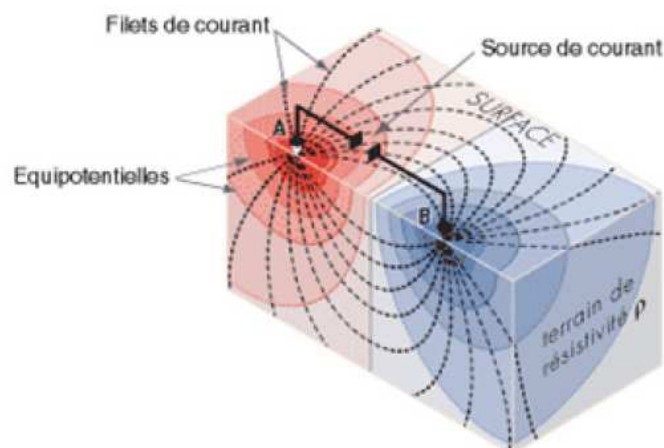


Figure 1 : Distribution du courant créé par deux électrodes dans un terrain homogène et isotrope.

La différence de potentiel entre deux électrodes M et N (dites électrodes de réception) est mesurée.

La résistivité déduite de cette mesure dépend de la géométrie du dispositif de mesure : $\rho = K \frac{\Delta V}{I}$.

Cette formule fait intervenir le facteur géométrique K caractérisant la géométrie du montage.

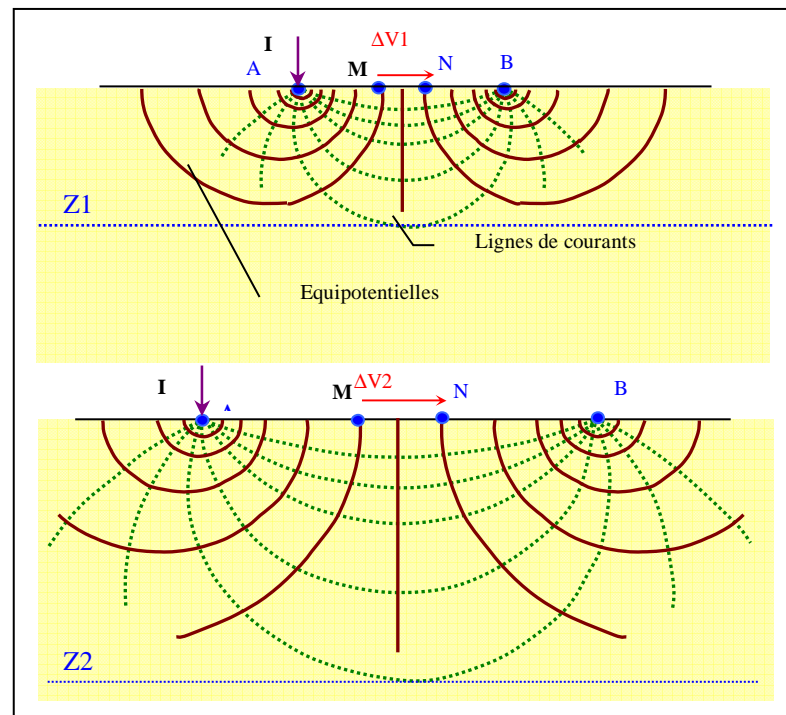


Figure 2 : Répartition des équipotentiels & des lignes de courant en fonction de l'écartement des électrodes : Influence sur la profondeur d'investigation.

La résistivité apparente mesurée n'est pas la résistivité vraie du sous sol, c'est une résistivité prenant en compte l'ensemble des terrains traversés par les équipotentiels utilisées pour la mesure.

La relation entre la résistivité apparente et la résistivité vraie est complexe. Le calcul de la résistivité vraie à partir de la résistivité apparente nécessite l'utilisation d'un programme d'inversion de données.

Appareillage :

L'appareillage se compose d'un système d'acquisition des mesures, d'un système d'injection de courant et de contrôle des électrodes et de plusieurs flûtes de 32 électrodes chacune.

La longueur d'un dispositif (unité de base) peut varier alors, pour un profil donné, entre 16 et 315 mètres.

Il est également possible de mesurer un linéaire en continu en utilisant la technique du roll-along (translation dans une direction du dispositif de mesure).

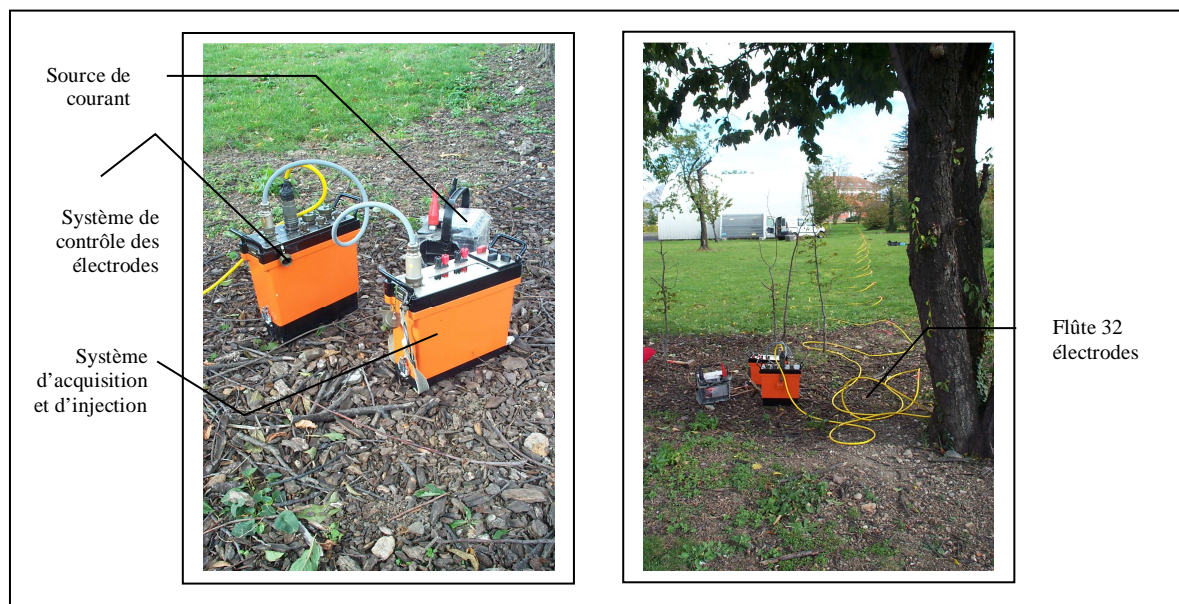


Figure 3 : Résistivimètre SAS4000 & ES464 – Marque ABEM.

Mise en œuvre :

Le panneau électrique peut être mis en œuvre aussi bien en milieu terrestre qu'aquatique.

En configuration **terrestre**, les électrodes en acier inoxydable sont plantées directement dans le terrain et assurent le couplage entre l'appareillage et le sol.

En configuration **aquatique**, la flûte est positionnée au fond de l'eau et dans le sens du courant. L'eau assure alors le contact entre les électrodes et le terrain. Une mesure en laboratoire de la résistivité de l'eau est réalisée et prise en compte dans le processus de traitement et de modélisation des panneaux électriques obtenus. Le CEBTP dispose des moyens nécessaires à la mise en œuvre de ce type de prospection (Barque motorisée).



Figure 4 : Panneau électrique terrestre -flûte de 155m – 32électrodes.

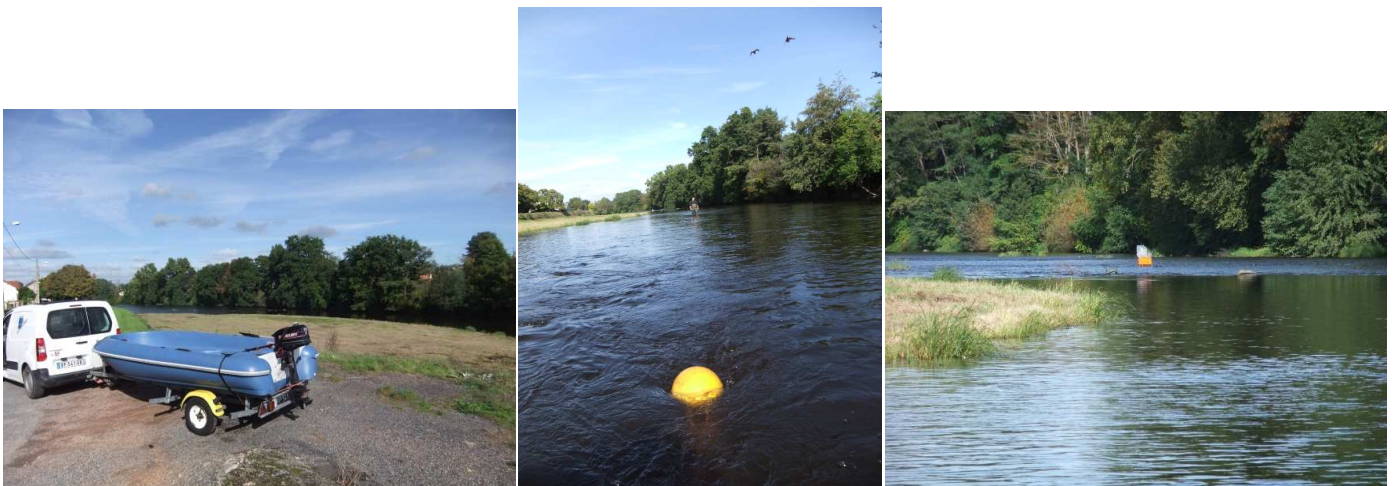


Figure 5 : Panneau électrique aquatique

Mesures :

Le dispositif multi-électrodes permet de mesurer à la fois des variations latérales de résistivité et des variations en profondeur tout en conservant un dispositif de mesure fixe. Ceci permet d'avoir des informations relativement complètes sur les propriétés électriques du sous-sol tout en évitant les « à-coups de prises ».

Il existe plusieurs types de dispositifs de mesure (Wenner, Schlumberger, Pole-pole...) selon la position des électrodes les unes par rapport aux autres. Certains de ces montages sont plus ou moins maniables : Le montage pôle-pôle par exemple est difficile à mettre en place pour de grands écarts entre les électrodes.

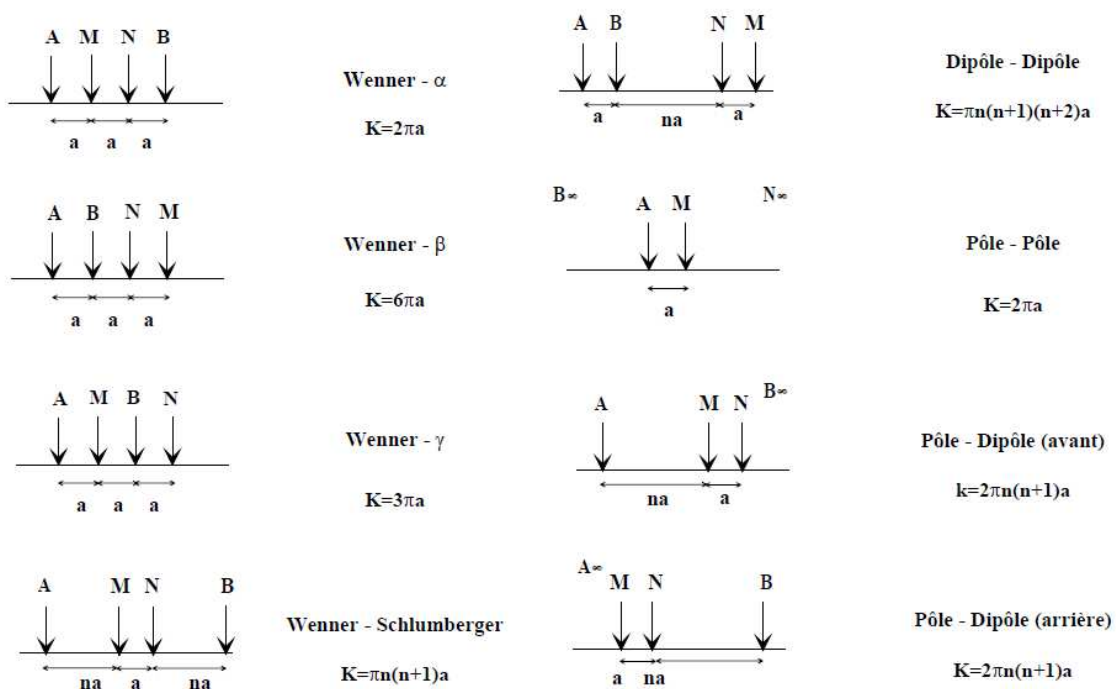


Figure 6 : Exemples de quadripôles et facteur géométrique correspondant.

Le dispositif est choisi en fonction de la sensibilité du montage aux changements verticaux et horizontaux de résistivité, de la profondeur d'investigation souhaitée et de la problématique posée.

La prospection électrique multi-électrodes (PE) est une méthode non destructive, non intrusive et sans impact environnemental. La mise en place des électrodes est possible dans la plupart des cas rencontrés (milieu naturel, aquatique, urbain...).

Les mesures s’effectuent selon le protocole défini antérieurement et enregistré dans le système de contrôle des électrodes.

Pour chaque mesure, le système de contrôle choisit 4 électrodes (A, B, M et N) parmi celles mises en place.

En déplaçant ce dispositif et en faisant varier la géométrie (longueur totale du montage), le système de contrôle parcourt l’ensemble du profil et atteint différentes profondeurs.

La profondeur d’investigation est déterminée par la longueur totale du dispositif et le protocole de mesures utilisé.

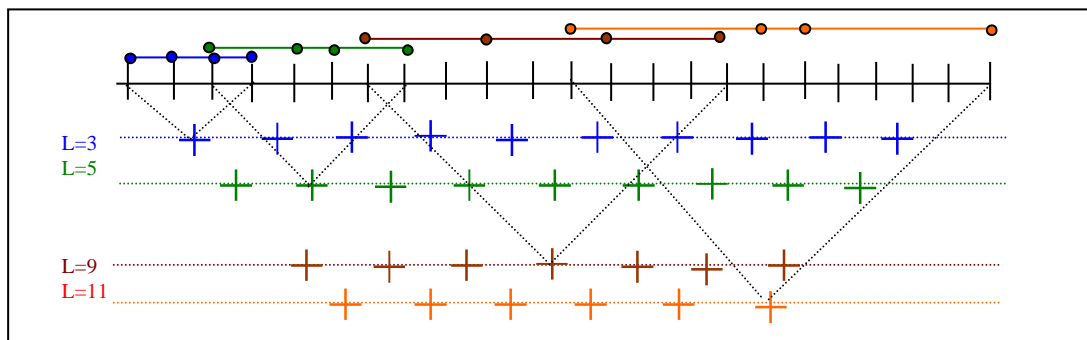


Figure 7 : Influence de la longueur du dispositif sur la profondeur d’investigation, établissement d’une pseudo-section de mesures.

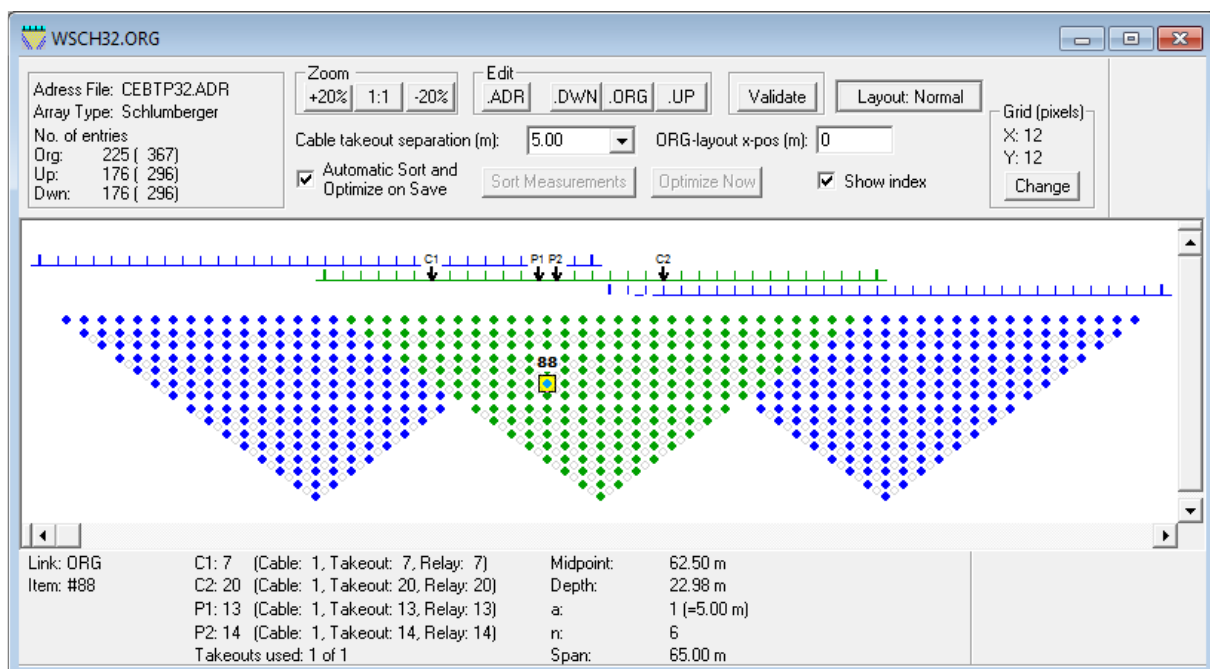


Figure 8 : Exemple de protocole de mesure Wenner-Schlumberger 32 électrodes et pseudo-section correspondante. En bleu, les mesures réalisées en technique Roll-along (logiciel S4kwin – Pôle géophysique).

Résultats obtenus :

Les données du problème sont fournies par les mesures de résistivité apparente sur un site hétérogène.

Le but de l'interprétation est alors de caractériser chacune des couches existant en sous-sol par une résistivité vraie, c'est à dire de définir un modèle multicouche ayant des caractéristiques électriques s'approchant au mieux de la réalité.

Pour ce faire, un calcul mathématique matriciel complexe est réalisé à l'aide notamment d'un logiciel d'inversion des données (Res2DInv). Une correction topographique est également appliquée dans le processus de calcul.

Une coupe géoélectrique 2D permettant de déterminer la géométrie du sous-sol et la nature électrique des différents horizons recoupés est finalement obtenue.

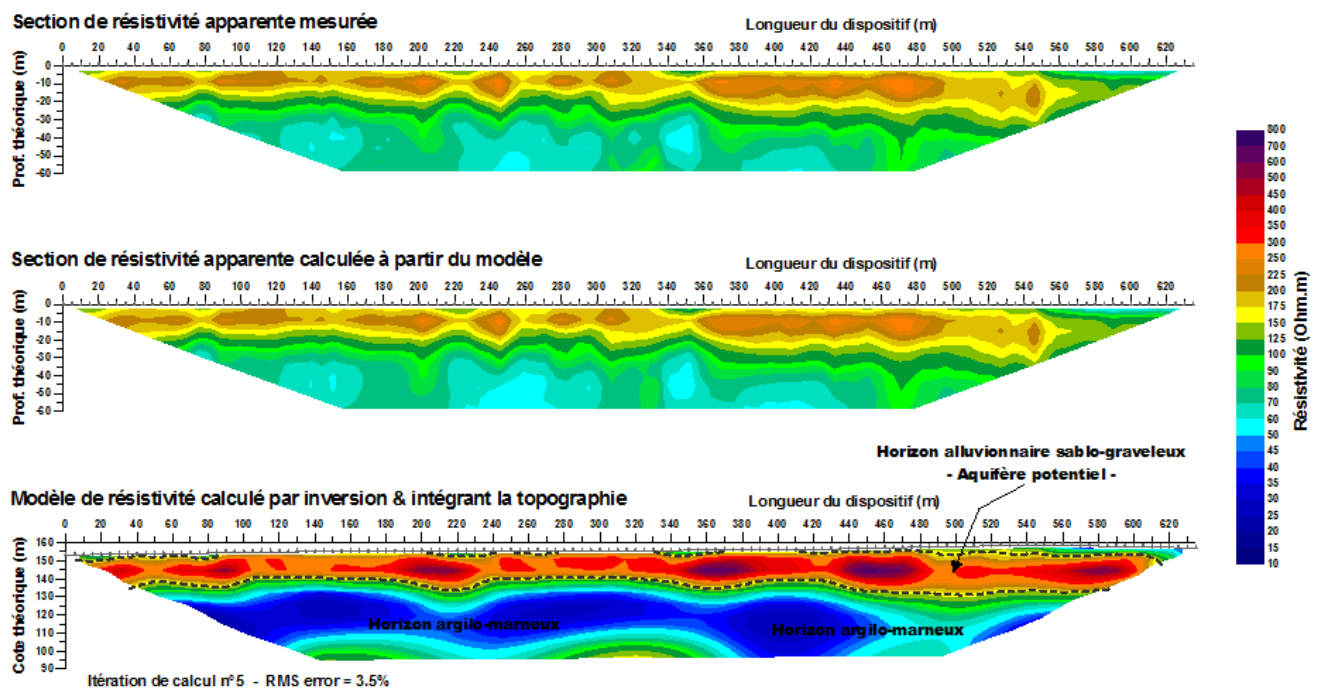


Figure 9 : Exemple de résultat obtenu par la méthode des panneaux électriques en hydrologie de surface. Détermination d'un horizon alluvionnaire sablo-graveleux sur substratum argilo-marneux - Flacourt (78). Panneau électrique 128 électrodes - 635 m – configuration Wenner-Schlumberger.

La ressemblance entre le profil des résistivités mesurées et le profil des résistivités calculées à partir du modèle (figure 8) permet de supposer le modèle valide.

Il est cependant nécessaire de garder à l'esprit pour la plupart des problèmes devant être inversés, il n'y a pas unicité de la solution.

L'interprétation des résultats demande également **une bonne connaissance du contexte géologique** (dans le cas d'une détermination de faciès ou d'une reconnaissance hydrogéologique par exemple). Cette recherche d'informations (carte géologique, logs de forages, relevés d'affleurements...) permet en général de confirmer la validité du modèle.

Exemples de prospection :

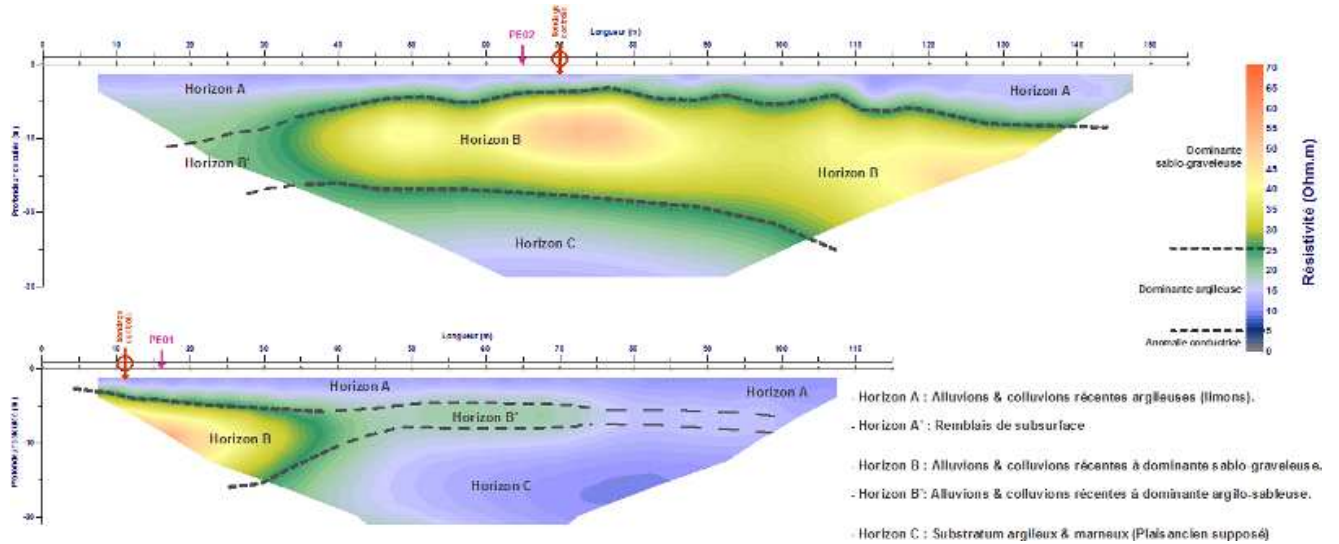


Figure 10 : Recherche hydrogéologique en contexte de vallée alluviale - Mise en évidence d'un horizon sablo-graveleux considéré comme aquifère potentiel - La Roquette/Siagne (06).

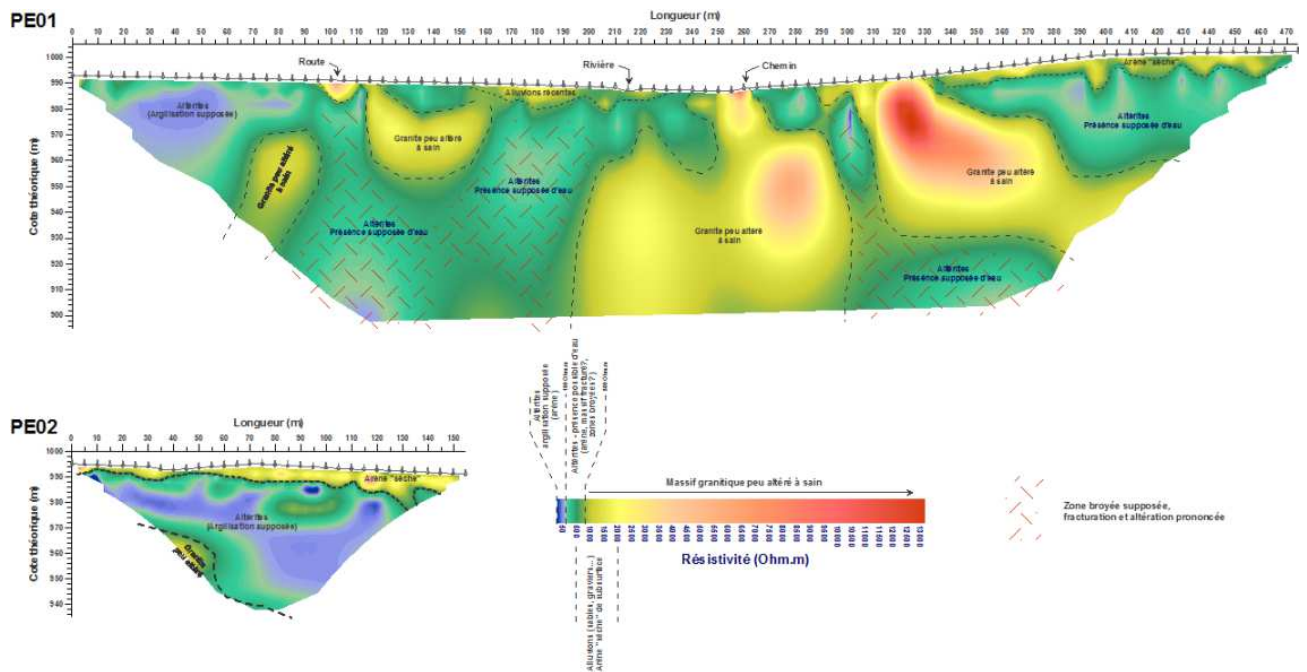
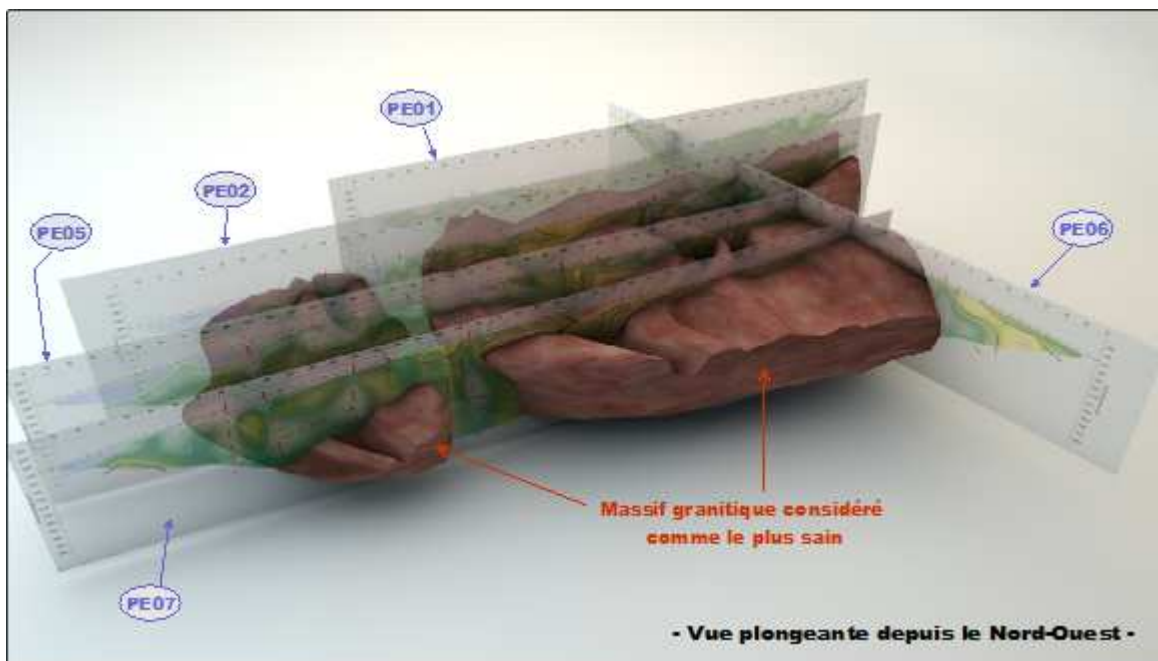
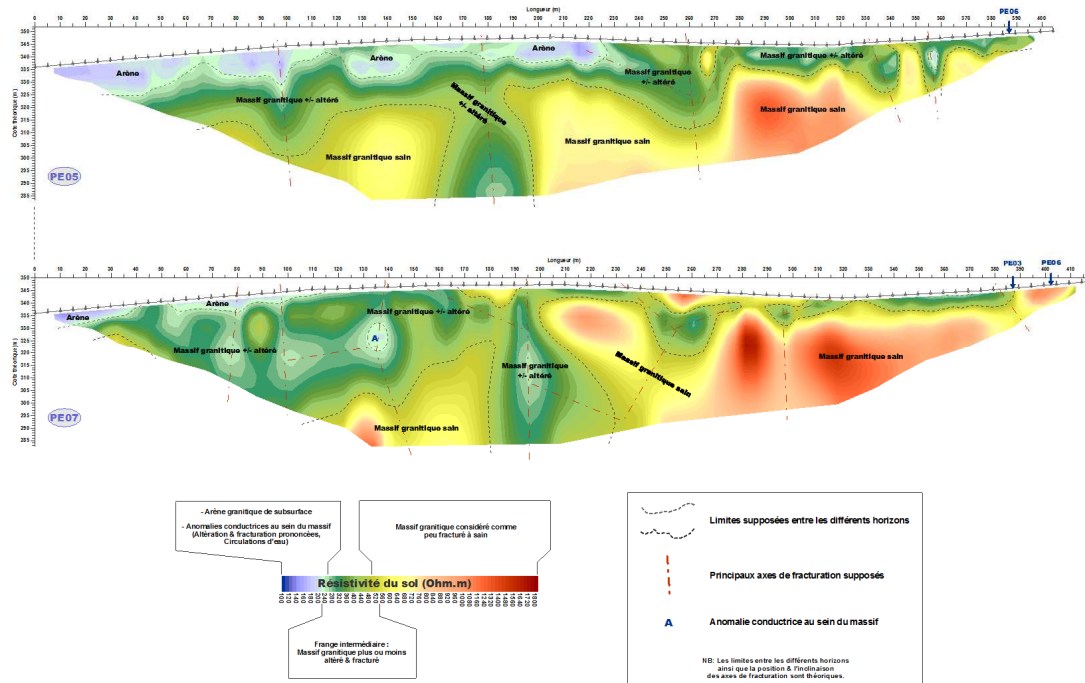


Figure 11 : Recherche hydrogéologique en contexte cristallin – Coupes géoélectriques interprétées montrant la qualité et la géométrie d'un massif granitique, mise en évidence de zones « broyées » (fracturation, altération, failles) potentiellement aquifères – Usine Arcelor-Mittal, St Chély d'Apcher (48).

Lorsque plusieurs panneaux sont réalisés selon un maillage précis et en contexte favorable, il est possible de procéder à une modélisation 3D.



Figures 12 & 13 : Modélisation en 2D & en pseudo 3D d'un massif de granite rose (qualité, géométrie, recouvrement) & de la fracturation associée. Extension de Carrière à Vendenesse-lès-Charolles (71).

Domaines d'application préférentiels :

Cette méthode, principalement qualitative, permet de mettre en évidence les déformations du champ électrique produites par des hétérogénéités quelconques.

Elle est donc principalement utilisée pour les problématiques suivantes :

- Détermination de faciès, d'horizons géologiques, d'hétérogénéités (failles...)
- Recherche de gisements (carrière, domaine minier, alluvionnaire...)
- Hydrogéologie, recherche de fluides.
- Caractérisation, diagnostic de digues
- Recherche de cavités naturelles (karst) ou anthropiques...

Valeurs usuelles de la résistivité de quelques matériaux et fluides :

Eau douce	10 à 1000 Ohm.m
Eau salée	0.1 à 1 Ohm.m
Argiles, vases	1 à 50 Ohm.m
Marnes	5 à 100 Ohm.m
Craie, Calcaires marneux	80 à 500 Ohm.m
Calcaires	300 à 5000 Ohm.m
Grès	500 à 4000 Ohm.m
Sables secs Sables humides	1000 à 10000 Ohm.m 30 à 1000 Ohm.m
Schistes	50 à 1000 Ohm.m
Granites	500 à 10000 Ohm.m
Basaltes	800 à 10000 Ohm.m

Polarisation Provoquée

Généralités :

Le passage d'un courant électrique dans un sol s'accompagne de processus électrochimiques dont le caractère et l'intensité dépendent directement des propriétés chimiques et physiques du sol. Le passage du courant peut se faire de deux façons : Par conductibilité électrique (Potentiel de membrane), pour laquelle il y a déplacement d'électrons libres dans les particules métalliques (pyrite, chalcopirite, ...), et par conductibilité ionique (Potentiel d'électrode), pour laquelle il y a déplacement d'ions dans les solutions contenues dans les pores et les fractures des roches.

La polarisation provoquée origine des processus électrochimiques qui se produisent lorsque le courant passe d'un milieu à conductibilité ionique (eau) à un milieu à conductibilité électronique et d'un milieu à conductibilité ionique à un milieu peu conducteur ou au contact d'un milieu de conductibilité ionique différente.

Lorsqu'un courant injecté traverse le sol, il peut provoquer une polarisation de certains de ses constituants. A la coupure du courant, un retour progressif du milieu à l'état d'équilibre se fait et un faible potentiel résiduel transitoire associé à cet effet capacitif peut être mis en évidence. Le temps de retour à l'équilibre est aussi nommé temps de relaxation. Ce phénomène de charge puis de relaxation est appelé la polarisation provoquée (PP).

Mesures :

Les mesures peuvent se faire dans le domaine temporel ou fréquentiel. Le matériel dont dispose le pôle géophysique du CEBTP fonctionne dans le domaine temporel.

Lorsqu'un courant est injecté dans le sol, puis brutalement interrompu, un délai est nécessaire pour que le voltage redevienne nul : le principe de mesure est présenté sur la Figure suivante.

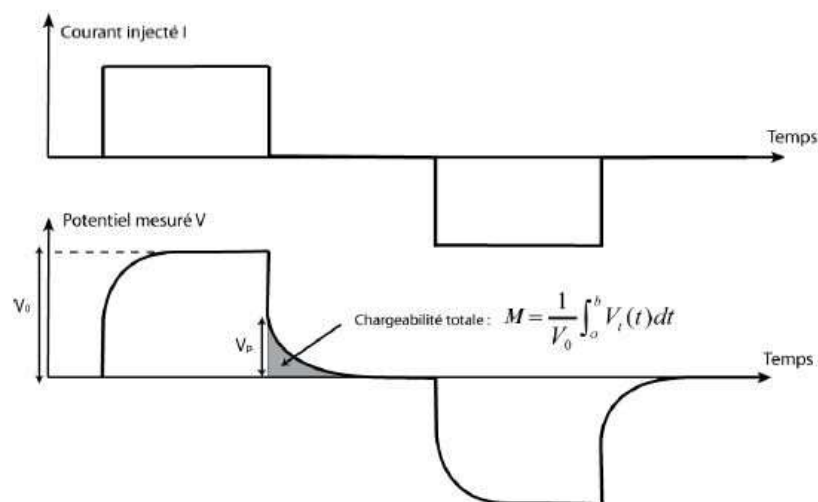


Figure 14 : Principe de mesure de la polarisation provoquée temporelle

Lors de l'application d'un courant en créneaux d'intensité I , le milieu se charge à la façon d'un condensateur jusqu'à une différence de potentiel V_0 (V). Le courant est ensuite brutalement coupé, ce qui permet au milieu de revenir à son état d'équilibre après un temps de relaxation. La tension est alors mesurée de manière discrète sur la durée de la relaxation. Une courbe de décroissance de la chargeabilité est alors obtenue.

Cette mesure correspond à l'intégrale de l'aire sous la courbe de décroissance pondérée par V_0 .

L'injection d'un courant en créneaux positifs puis négatifs permet d'éviter la polarisation résiduelle du milieu.

La vraie chargeabilité d'un milieu ne peut être mesurée ou si elle le peut, elle n'est d'aucun intérêt puisque cela impliquerait que le sous-sol est homogène. Nous recherchons des endroits où il y a des hétérogénéités. Donc ce que nous mesurons vraiment est la chargeabilité apparente qui est une fonction des vraies chargeabilité et résistivités des matériaux sondés.

Pour avoir des chiffres significatifs, on aura des mesures en ms ou mV/V.

Mise en œuvre :

De même que pour la méthode de résistivité électrique, la mesure de la PP ou chargeabilité nécessite l'emploi d'un quadripôle d'électrodes (ABMN) composé d'un dipôle d'électrodes d'injection et d'un dipôle d'électrodes de mesure de potentiel. Le même matériel (ABEM terrameter SAS4000) que pour la mesure de résistivité est utilisé.

Les mesures de PP se font en parallèle avec les mesures de résistivité, selon le même protocole de mesures (dipôle-dipôle, Wenner-Schlumberger...).

L'utilisation d'électrodes impolarisables est fortement conseillée afin d'augmenter le rapport signal/bruit.

Données PP :

Les mesures sont habituellement réalisées avec une configuration d'électrode dipôle-dipôle, Wenner ou Schlumberger. Si l'écartement entre électrodes n'augmente, la résolution diminue (averaging effect).

Le traitement consiste, après filtrage des données anomaliques, à accéder aux distributions de chargeabilités « vraies » à l'aide des mêmes processus que ceux utilisés pour l'inversion des données de résistivité.

Les données PP sont présentées sous forme de pseudo-sections (Distance/profondeur) de chargeabilité.

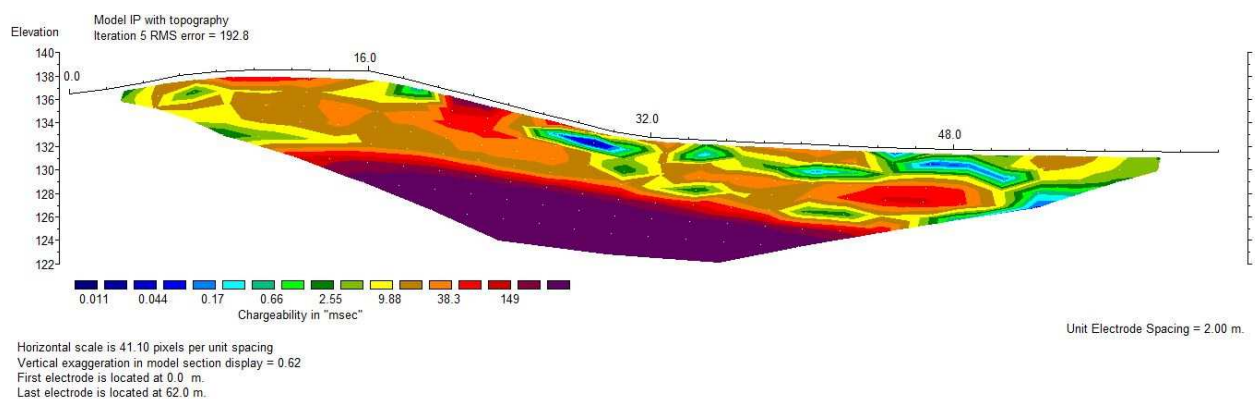


Figure 15 : Pseudo-section de chargeabilité incluant la topographie.

Interprétation – Domaines d’application :

L’interprétation est essentiellement qualitative. L’intensité des anomalies de chargeabilité et la connaissance des facteurs géologiques ou environnementaux locaux (nature des terrains prospectés, présence d’accidents tectoniques...) permettent le plus souvent de se faire une idée sur la nature des corps perturbateurs (gisements métallifères, aquifères, teneur en argile...).

Un couplage avec des mesures de résistivité est nécessaire pour l’interprétation.

Les principaux domaines d’application sont les suivants :

- Prospection minière, recherche de gisements métalliques.
- Géologie (recherche d’accidents tectoniques, évaluation des teneurs en argile...).
- Hydrogéologie (recherche d’alluvions aquifères, de fuites...).
- Environnement (Recherche de fluides, de pollutions...).