



Etape 1 : Etude environnementale de la corrosivité des sols de conduite fonte

Pays de Maïche (25)

  		CCTA 12 rue d'Hélios - 31240 L'UNION +33 (0)5 61 343 888 - www.ccta.fr - contact@ccta.fr	2023.09.623__Rapport_A3DV E1 DN250 Pays de Maïche		
		VONROLL HYDRO 20 Route d'Orschwiller 67600 SELESTAT			
Rév.	Date	Description de la révision	Rédacteur	Vérificateur	Approbateur
00	14/09/2023	Emission originale	FC	FE	FB

SOMMAIRE

1	Synthèse	3
1.1	Objet.....	3
2	Caractéristiques de l'ouvrage étudié	4
3	Documents de références	4
3.1	Normes et spécifications	4
3.2	Rapports antérieures et documents de références	4
4	Etude de la corrosivité des sols	5
4.1	Type de sol le long du tracé.....	5
4.2	Etude des données relatives aux sondages.....	6
4.3	Hydrographie.....	6
4.4	Identification des zones humides.....	6
4.5	Influences électriques à courant continu.....	7
4.6	Influences électriques à courant alternatif	7
4.6.1	Influences inductives.....	7
4.6.2	Influences conductives	7
4.7	Historiques des casses.....	7
5	Etude de la corrosivité sur échantillons de sol.....	8
5.1	Mesures de résistivités.....	8
5.2	Détermination du pH des sols	10
5.3	Force corrosive des sols analysés	11
5.4	Coupe topographique.....	11
5.5	Compilation des données.....	12
6	Décomposition du réseau	13
6.1	Zone n°1.....	13
6.2	Zone n°2.....	14
6.3	Zone n°3.....	15
7	Synthèse	16
Annexes		17
7.1	ANNEXE : Corrosivité des sols	17
7.2	ANNEXE 2 : Théorie des courants vagabonds continus.....	19
7.3	ANNEXE 3 : Théorie des vagabonds alternatifs	20
7.3.1	Influences inductives	20
7.3.2	Influences conductives	20
7.4	ANNEXE 4 : Méthodologie à la mesure de résistivité de sol	22

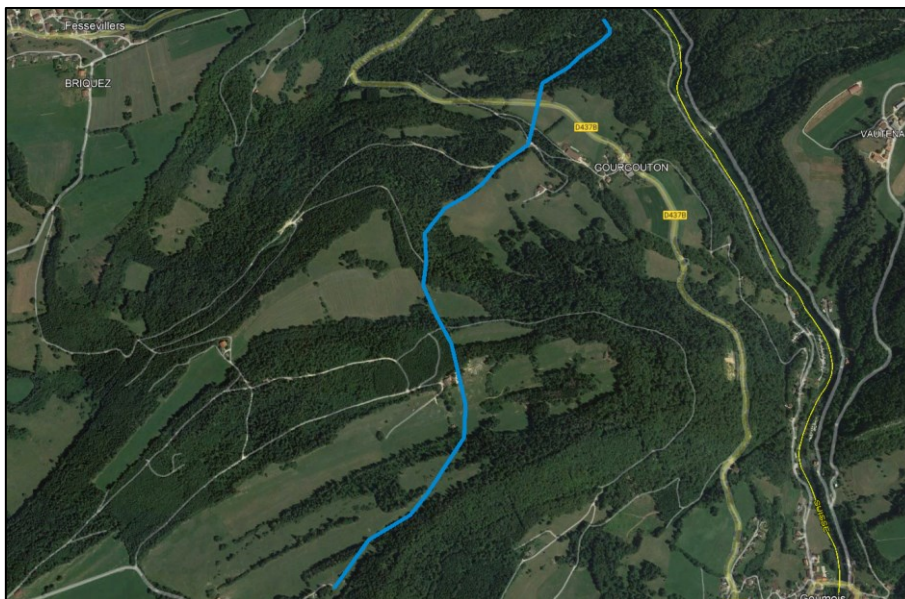
1 Synthèse

1.1 Objet

A la demande de : Pays de Maîche

vonRoll et CCTA sont intervenues : Pour réaliser une étude de l'évaluation de la corrosivité le long du linéaire d'une conduite fonte DN250.

Vue du linéaire :



Etude réalisée par Florent COUTANCEAU

Certifié CEFRACOR CERTIFICATION niveau 3 secteur Terre n°1058

Le rapport a été relu par Florian EDERLE

Certifié CEFRACOR CERTIFICATION niveau 4 secteur Terre n°990

2 Caractéristiques de l'ouvrage étudié

D'après les éléments transmis, les conduites concernées par le diagnostic sont :

	Conduite DN250
Matériau	Fonte ductile
Diamètre nominal	250 mm
Diamètre extérieur théorique	-
Epaisseur de la paroi théorique supposée	-
Revêtement extérieur	-
Date de pose	-

3 Documents de références

3.1 Normes et spécifications

N° NORME	TITRE
NF EN 12 501-1	Protection des matériaux métalliques contre la corrosion - Risque de corrosion dans les sols - Partie 1 : généralités
NF EN 12 501-2	Protection des matériaux métalliques contre la corrosion - Risque de corrosion dans les sols - Partie 2 : matériaux ferreux faiblement alliés ou non alliés.
DIN50929-3	Corrosion of metals – Corrosion likelihood of metallic materials when subject to corrosion from the outside

3.2 Rapports antérieures et documents de références

Le tableau ci-dessous reprend les derniers rapports en lien avec l'étude :

N°DOCUMENT	TITRE

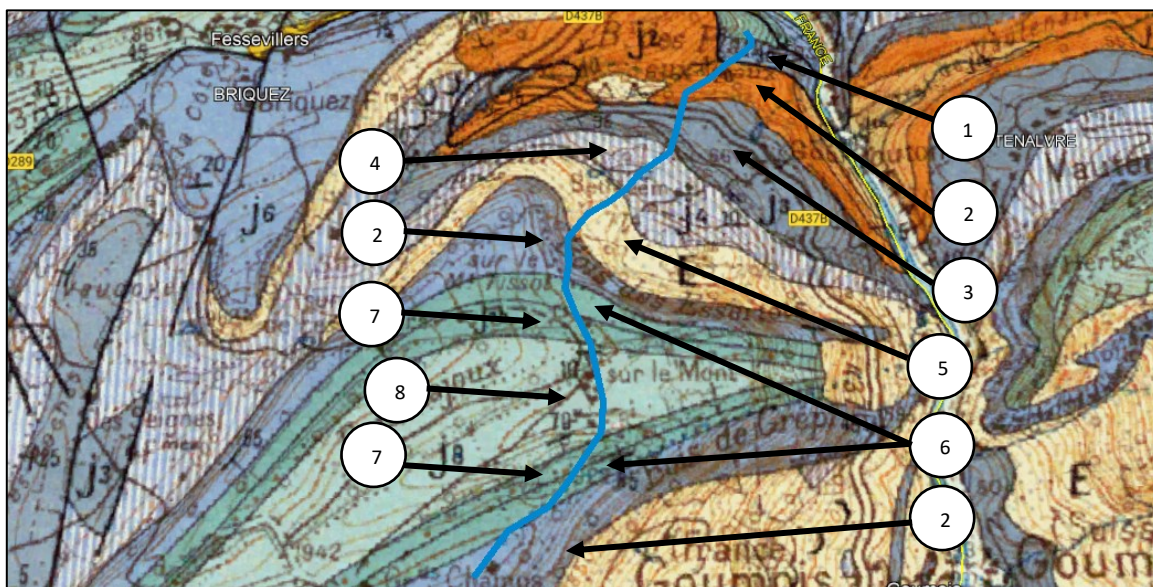
4 Etude de la corrosivité des sols

4.1 Type de sol le long du tracé

La géologie du tracé est étudiée à partir de la carte BRGM 1/50 000 feuille n°505.

La conduite fonte traverse 8 couches géologiques différentes le long du tracé :

- Secteur n°1 : formation calcaire complexe épaisse de 70 à 90 m.
- Secteur n°2 : formation de calcaire compact gris clair, blanc ou crème parfois tacheté de rose disposé en bancs massifs.
- Secteur n°3 : formation marno-calcaire gris.
- Secteur n°4 : ensemble à dominante marneuse.
- Secteur n°5 : éboulis, anciens plus ou moins cimentés ou liés par des argiles de calcification.
- Secteur n°6 : ensemble à dominante marneuse tendre, présente en grande variété lithologique.
- Secteur n°7 : ensemble formé par des calcaires compacts de teinte claire en bancs régulier, avec quelques variations locales.
- Secteur n°8 : marne localement présente sur les bancs les plus élevées, la grande masse est formée par des calcaires compacts beige et crème.



4.2 Etude des données relatives aux sondages

Le site du BRGM permet d'accéder aux données de sondages (BSS) et nous fournissent des informations complémentaires concernant la nature du sol.

Nous notons l'absence de sondages à proximité de l'ouvrage étudié.

4.3 Hydrographie

Le long du tracé, nous avons identifié :

- Un croisement avec un cours d'eau sur la partie nord (visible sur la vue satellite ci-dessous).

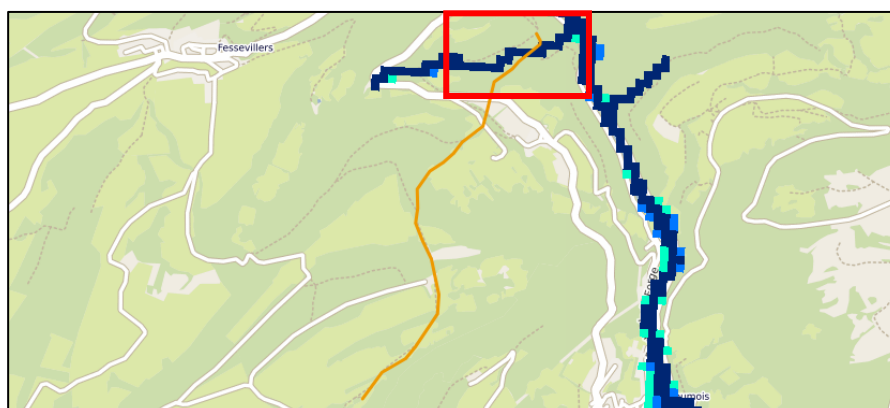


4.4 Identification des zones humides

Le Ministère de l'Ecologie et l'INRAE ont conjointement développé une carte modélisant les milieux potentiellement humides suivant différentes classes indiquées sur le tableur ci-dessous :

France : Milieux potentiellement humides	
	Milieux non humides
Milieux potentiellement humides :	
	- probabilité assez forte
	- probabilité forte
	- probabilité très forte
	Plans d'eau
	Estrans

Sur cette carte, on note que la partie Nord du réseau traverse une zone potentiellement humide de probabilité « très forte ». Cette zone correspond au cours d'eau précédemment identifié.





HYDRO



4.5 Influences électriques à courant continu

La théorie des influences électriques à courant continu est détaillée en annexe 2 de ce document.

On note l'absence de réseau gaz sous protection cathodique à proximité de l'ouvrage.

4.6 Influences électriques à courant alternatif

La théorie des influences électriques à courant alternatif (conductives et inductives) est détaillée en annexe 3 de ce document.

4.6.1 Influences inductives

On note l'absence de ligne haute tension de type HTB le long du tracé.

4.6.2 Influences conductives

On note l'absence de poste HTA/BT à proximité directe de la conduite.

4.7 Historiques des casses

D'après les éléments communiqués par le client, plusieurs fuites ont été identifiées sur la partie nord du réseau étudié.

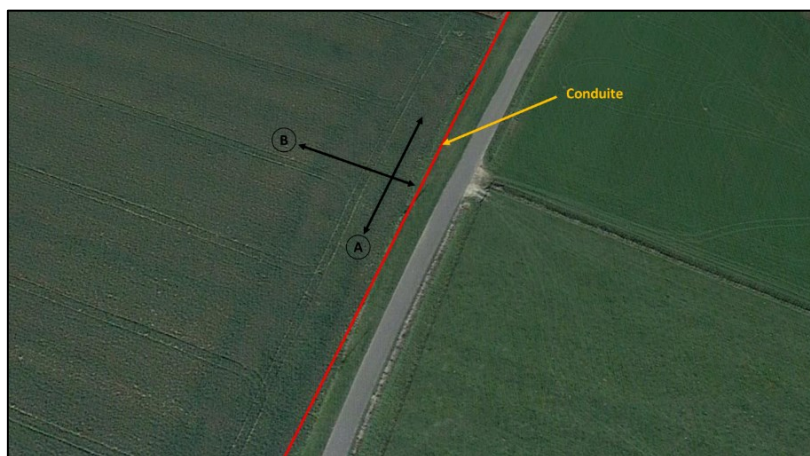
5 Etude de la corrosivité sur échantillons de sol

5.1 Mesures de résistivités

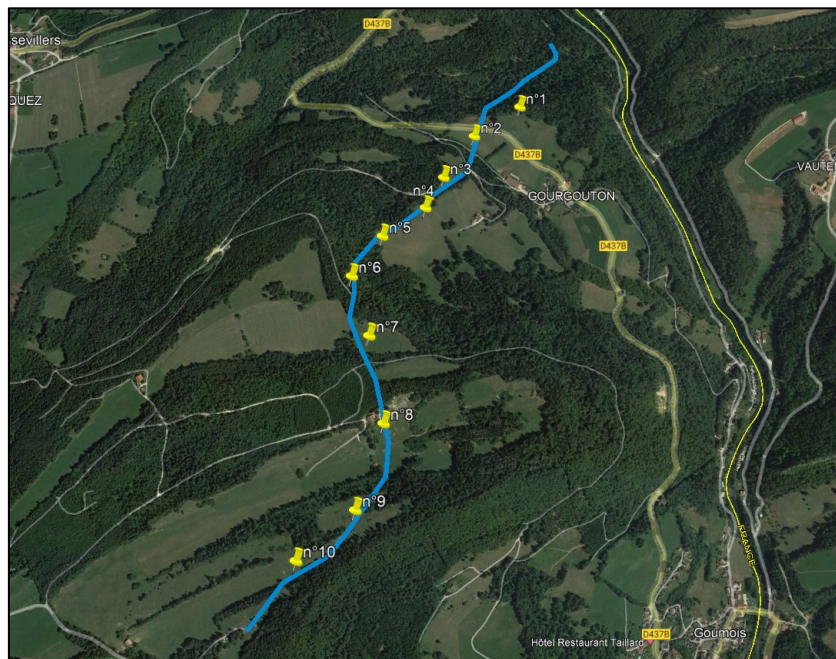
Les mesures ont été réalisées le 17 août 2023, les terrains rencontrés sur les différents points de mesures étaient de nature plutôt humide.

Les mesures de résistivité ont été réalisées selon 3 distances d'espacement (1m, 2m et 3m).

A chaque point de mesure, les mesures sont faites une première fois dans le sens de la conduite (noté A) puis une seconde fois dans le sens transverse à la conduite (noté B).



Au total 10 mesures de résistivité ont été réalisées et représentées sur la vue satellite ci-dessous :

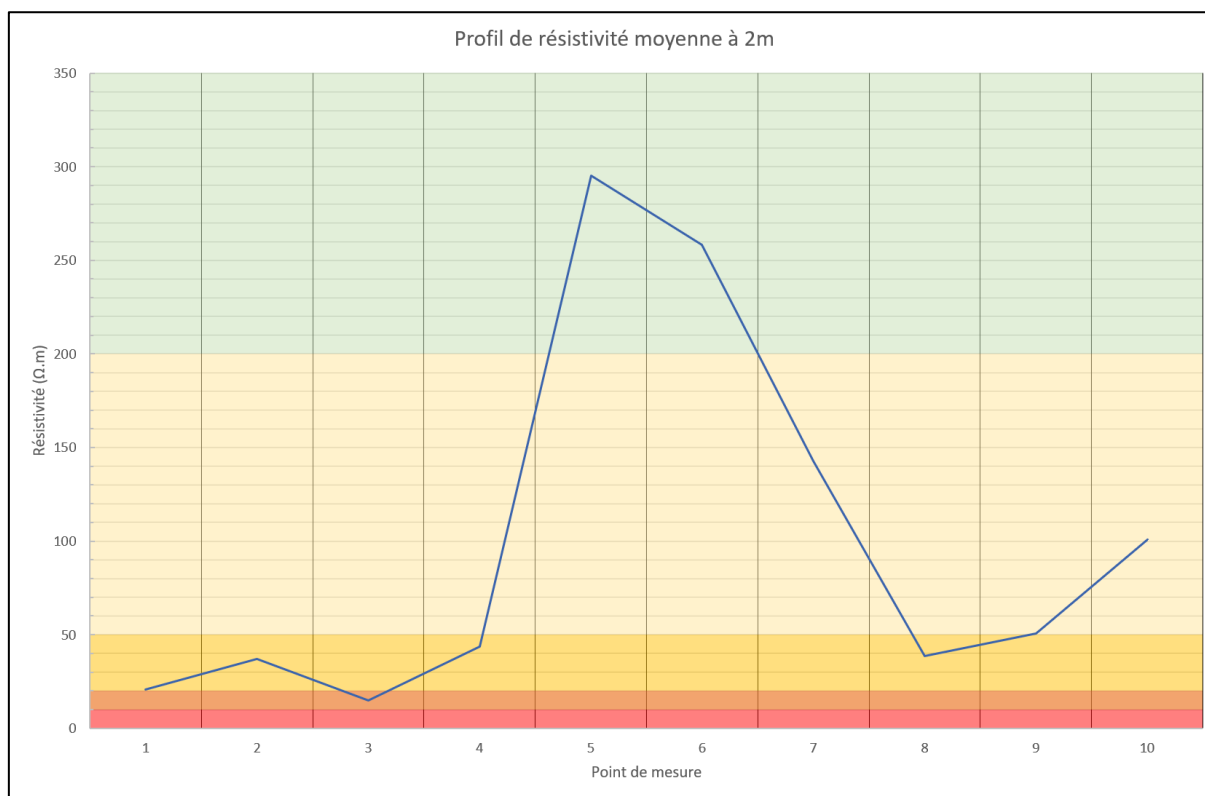


Les résultats de mesure sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

n° mesure	Latitude	Longitude	Résistivité du sol (en $\Omega.m$)								Résistivité moyenne à 2m
			à 1 m	à 2 m	à 3 m	rapport ρ_{max}/ρ_{min}	à 1 m	à 2 m	à 3 m	rapport ρ_{max}/ρ_{min}	
1	47.278266837778	6.9383879005909	22,6	25,1	21,7	1,1	27,6	16,3	19,8	1,7	20,7
2	47.277603093096	6.9368694350123	25,5	35,2	39,6	1,4	29,5	39,0	32,6	1,3	37,1
3	47.2758865	6.9354471	14,6	13,9	15,6	1,0	14,5	15,7	17,7	1,1	14,8
4	47.275126601398	6.9351615384221	49,1	45,5	13,6	1,1	54,6	41,7	41,8	1,3	43,6
5	47.2745322	6.9331684	223,7	261,4	281,5	1,2	255,1	329,2	401,5	1,3	295,3
6	47.269699	6.9316727	255,1	233,7	275,6	1,1	403,4	282,7	178,5	1,4	258,2
7	47.2684692	6.9331182	166,5	160,8	143,2	1,0	142,6	124,4	151,4	1,1	142,6
8	47.2645138	6.9314594	62,3	44,0	77,2	1,4	49,6	33,0	50,5	1,5	38,5
9	47.2637017	6.9292127	93,6	65,3	81,0	1,4	40,8	36,1	32,8	1,1	50,7
10	47.2625966	6.928152	83,8	144,8	196,7	1,7	118,1	258,9	395,8	2,2	101,0

Les mesures de résistivités montrent que le réseau peut être décomposé en trois secteurs différents :

1. Du n°1 au n°4, milieu peu résistif et donc corrosivité potentiellement élevée. La résistivité moyenne à 2m est inférieure à 50 $\Omega.m$.
2. Du n°4 au n°7, milieu très résistif et donc corrosivité potentiellement faible. La résistivité moyenne à 2m est supérieure à 100 $\Omega.m$.
3. Du n°7 au n°10, milieu peu résistif et donc corrosivité potentiellement élevée. La résistivité moyenne à 2 m est inférieure à 50 $\Omega.m$ sur la majorité des points de mesures.



5.2 Détermination du pH des sols

Des échantillons de sols ont été prélevés lors de l'étude, ils ont été analysés à l'aide d'un pH mètre HI99121 de chez Hanna instruments.



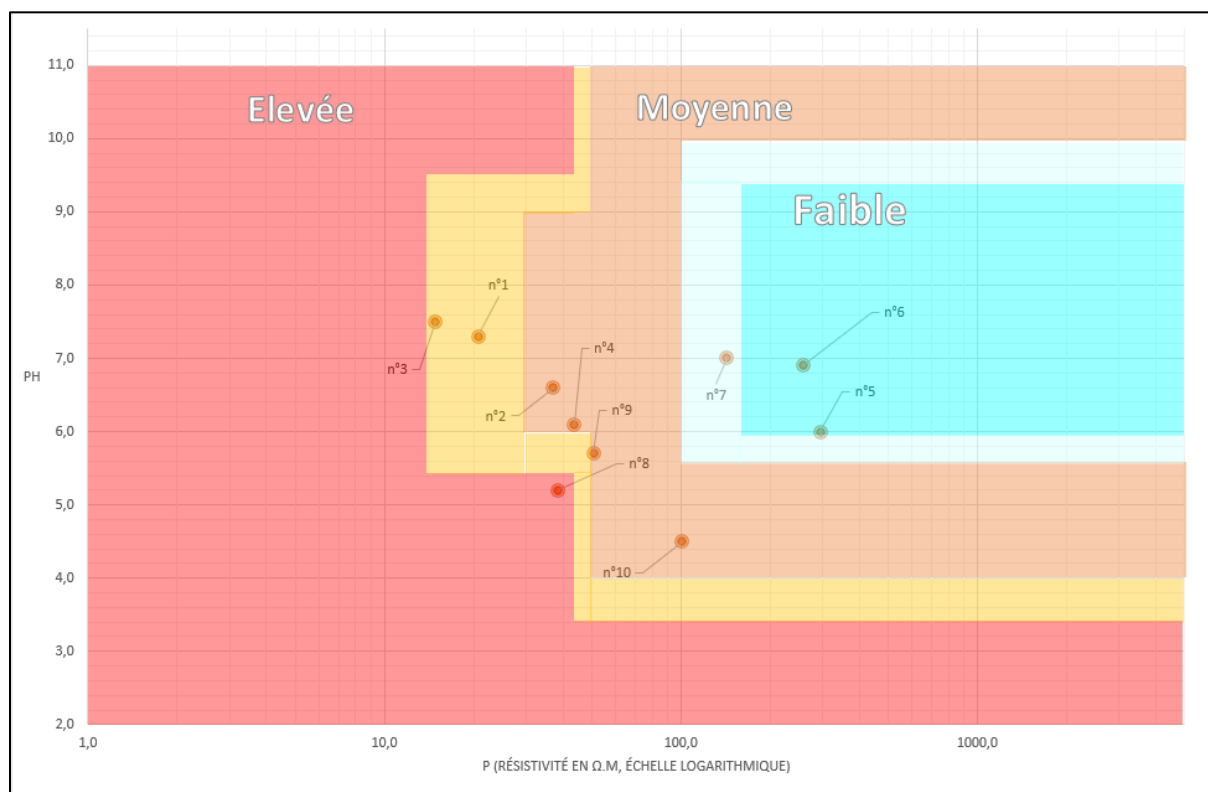
L'ensemble des résultats obtenus sont compilés dans le tableau ci-dessous :

	N° mesure	pH
DN250	1	7,3
	2	6,6
	3	7,5
	4	6,1
	5	6,0
	6	6,9
	7	7,0
	8	5,2
	9	5,7
	10	4,5

Les mesures indiquent un milieu au pH de nature légèrement acide, excepté sur la partie sud du réseau où le milieu est particulièrement acide.

5.3 Force corrosive des sols analysés

L'ensemble des résultats obtenus est compilé dans le diagramme représentant la force corrosive d'un milieu tel que défini dans la norme NF EN 12501-2 :



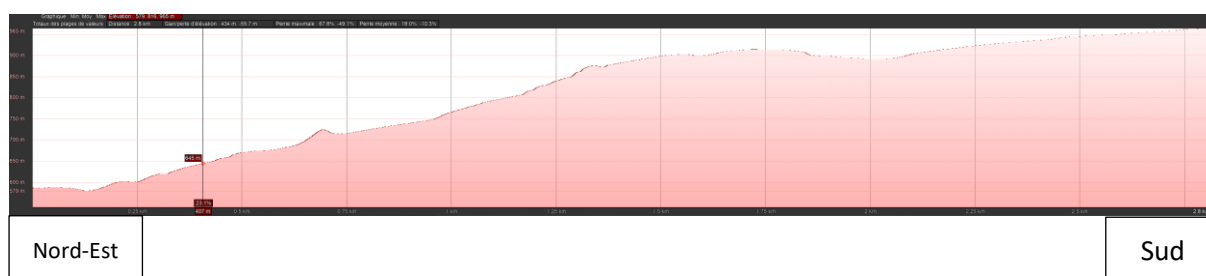
Les informations obtenues des mesures de résistivités et de pH indiquent :

- La force corrosive est considérée comme **faible** : n°5 / n°6 et n°7.
- La force corrosive est considérée comme **moyenne** : n°2 / n°4 / n°8 / n°9 / n°10.
- La force corrosive est considérée comme **moyenne à élevée** : n°1 et n°3

5.4 Coupe topographique

Vue de la coupe topographique de la conduite étudiée.

- Elévation max : 965 m
- Elévation min : 579 m
- Elévation moyenne : 816 m



HYDRO

5.5 Compilation des données

Vue satellite des données compilées, données environnementales et électriques :

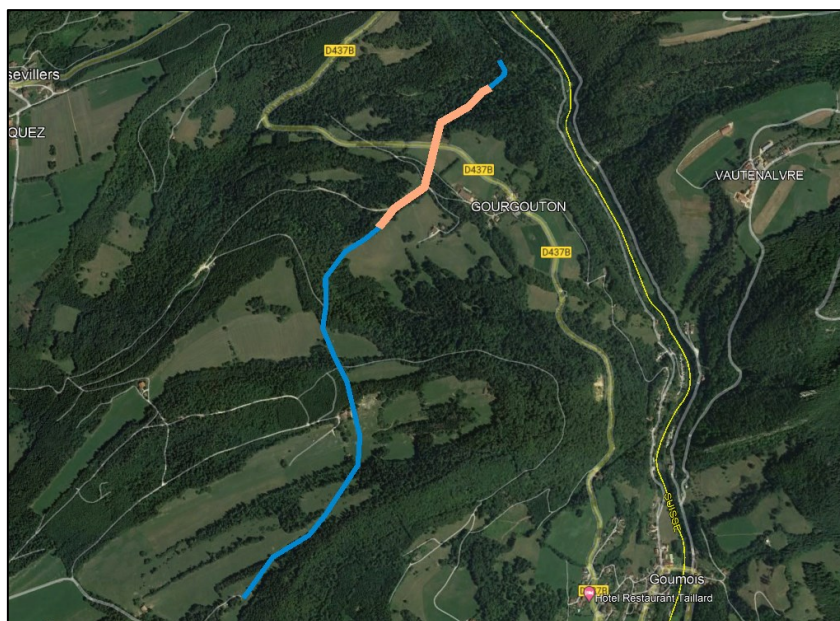


6 Décomposition du réseau

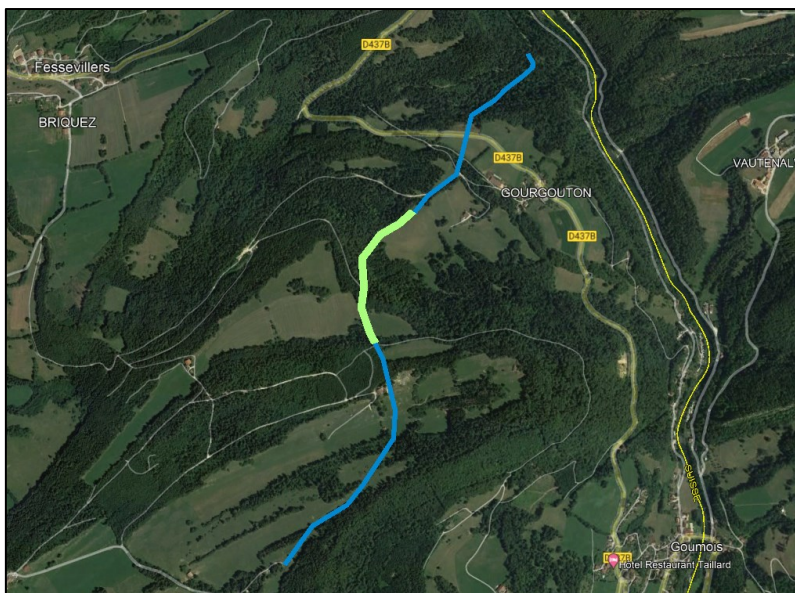
Le réseau a été décomposé en 3 zones présentant chacune certaines spécificités :

- En rouge la spécificité est considérée comme « majeure »
- En orange la spécificité est considérée comme « mineure »

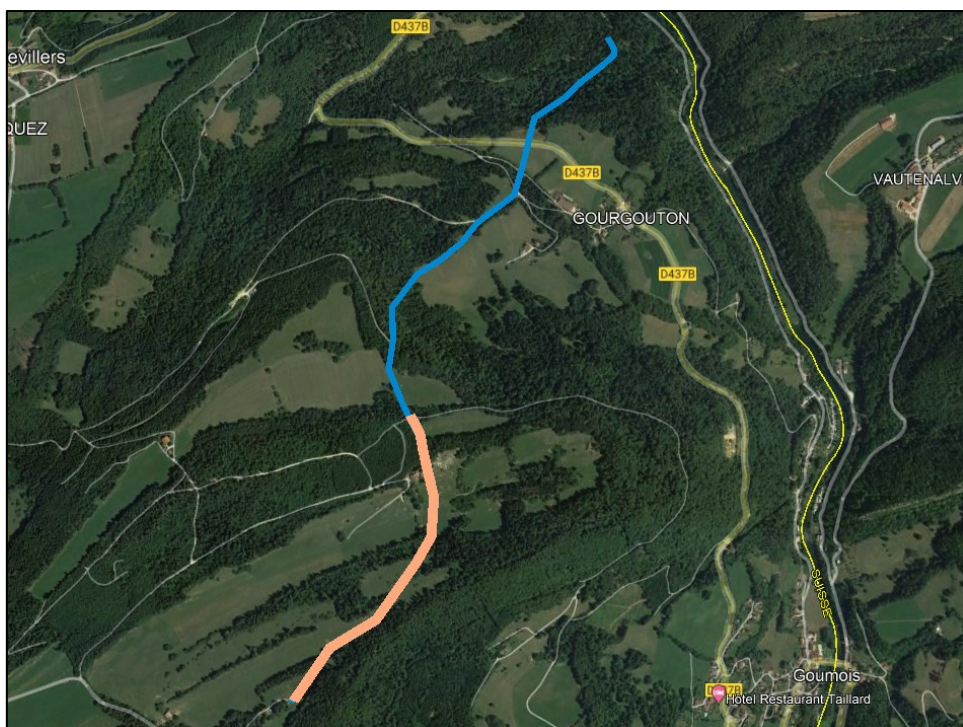
6.1 Zone n°1



	Cause	Notation
Nature de sol	Marne (dominante)+ Calcaire	1
Influence électrique continue	Absente	0
Influence électrique alternative	Absente	0
Hydrographie	Présente	0,5
Zones potentiellement humides	Présente	0,5
Résistivité (prélèvements)	Faible	1
Hétérogénéité verticale $\rho_{\max}/\rho_{\min}$	Absente	0
pH mesuré	6,1	0,5
Force corrosive	Moyenne	0,5
TOTAL		4/9



	Cause	Notation
Nature de sol	Calcaire (dominante) + Marne	0,5
Influence électrique continue	Absente	0
Influence électrique alternative	Absente	0
Hydrographie	Absente	0
Zones potentiellement humides	Absente	0
Résistivité (prélèvements)	Elevée	0
Hétérogénéité verticale $\rho_{\max}/\rho_{\min}$	Absente	0
pH mesuré	6,0	0,5
Force corrosive	Faible	0
TOTAL		1/9

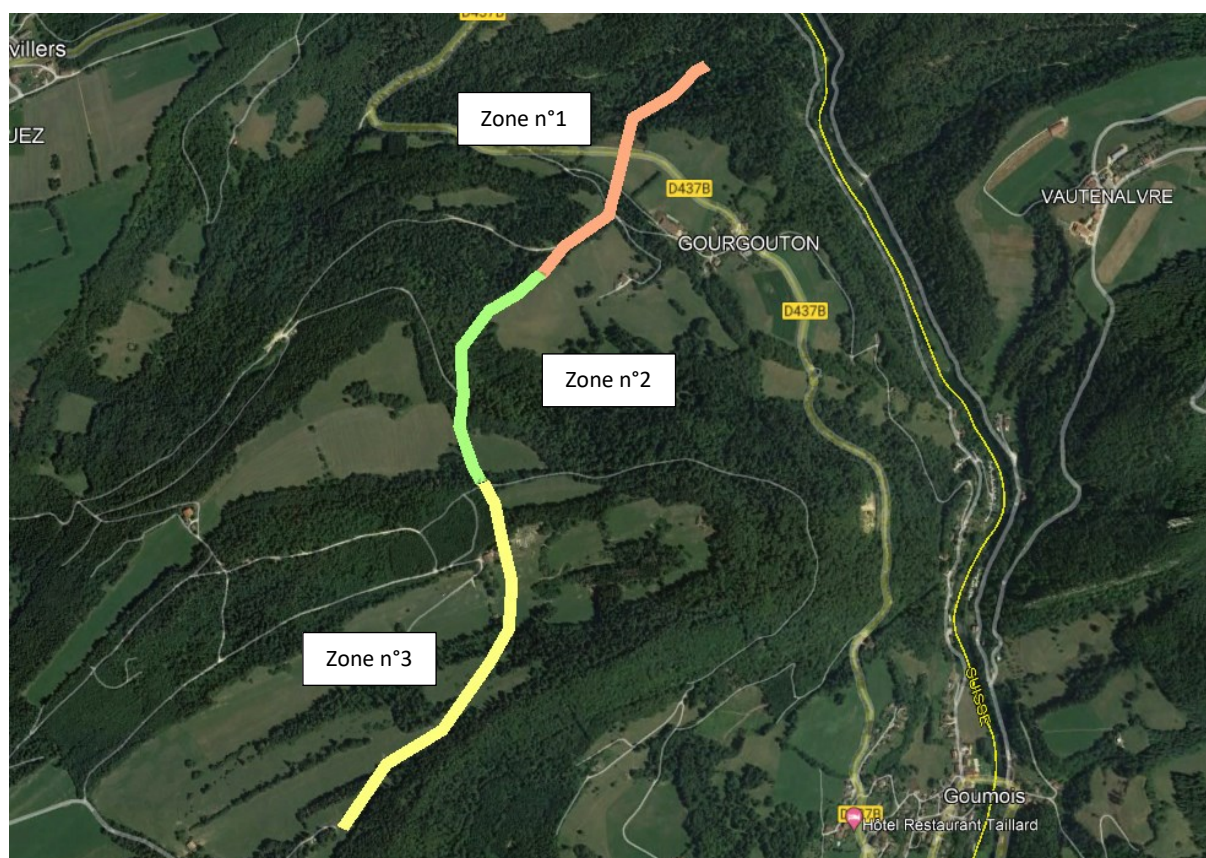


	Cause	Notation
Nature de sol	Calcaire (dominante) + Marne	0,5
Influence électrique continue	Absente	0
Influence électrique alternative	Absente	0
Hydrographie	Absente	0
Zones potentiellement humides	Absente	0
Résistivité (prélèvements)	Moyenne	0,5
Hétérogénéité verticale $\rho_{\max}/\rho_{\min}$	Absente	0
pH mesuré	5,2	1
Force corrosive	Elevée	1
TOTAL		3/9

7 Synthèse

La vue satellite ci-dessous synthétisent les 3 zones identifiées à l'aide des données fournies par l'étude :

Zone	Nature de sol	Influence électrique continue	Influence électrique alternative	Hydrographie	Zones potentiellement humides	Résistivité	Hétérogénéité verticale	pH	Force corrosive	Notation
N°1	X			X	X	X		X	X	4/9
N°2	X							X		1/9
N°3	X					X		X	X	3/9



Annexes

7.1 ANNEXE : Corrosivité des sols

Le sol est un milieu électrolytique particulier car il est composé de 3 phases (solide, liquide et gazeuse), en plus des espèces chimiques présentes. L'expérience accumulée a mis en évidence les facteurs qui interviennent dans la corrosion des fontes par les sols.

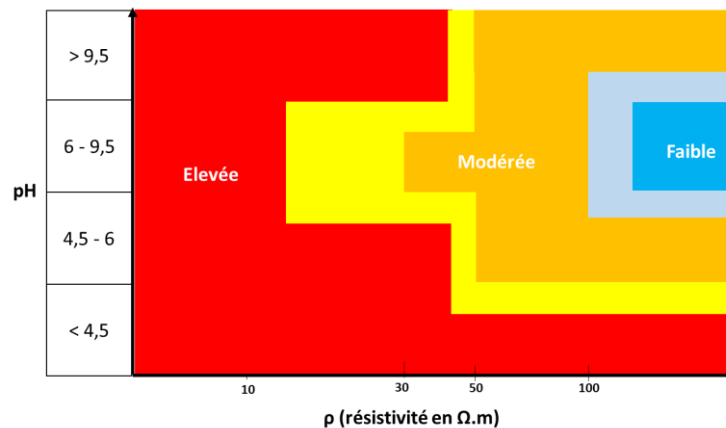
Le facteur prépondérant est la résistivité du sol, exprimé en $\Omega.m$. La résistivité, est l'inverse de la conductivité électrique ($\mu S/cm$), et rend compte de la teneur en sels solubles du sol et de son humidité. Ainsi, la corrosivité d'un sol augmente lorsque la résistivité mesurée diminue (Tableau 1). De plus, la composition du sol influe sur sa résistivité. Par exemple, un sol sableux présentera une résistivité élevée, la corrosivité dans ce milieu sera donc jugée comme faible (Tableau 2).

Tableau 1 - Nature du sol et résistivité

Electrolyte	Résistivité en $\Omega.m$	Conductivité en $\mu S/cm$
Argiles et marnes	5 à 20	2000 à 500
Tourbières	5 à 200	200 à 50
Alluvions anciennes	10 à 20	1000 à 500
Limons des plateaux	30 à 50	300 à 200
Terre sablonneuse	50 à 150	200 à 65
Sable sec / graves	200 à 2000	50 à 5

Un autre paramètre recensé comme influent est le pH. Dans la majorité des cas, le pH est compris entre 5 et 9 pour un sol dit « naturel ». On considère que le pH devient préjudiciable lorsqu'il est inférieur à 6.

Tableau 2 - Force Corrosive d'un sol (issu de la norme NF EN 12501-2)



De plus, la présence dans le milieu de certaines espèces chimiques peut favoriser la corrosion des fontes. On retrouve notamment les chlorures, les sulfates et les sulfures.

Cependant, certains éléments présents dans l'environnement des conduites peuvent avoir une influence défavorable sur la pérennité des matériaux métalliques dans les sols. Il s'agit principalement des ions SO_4^{2-} et Cl^- .

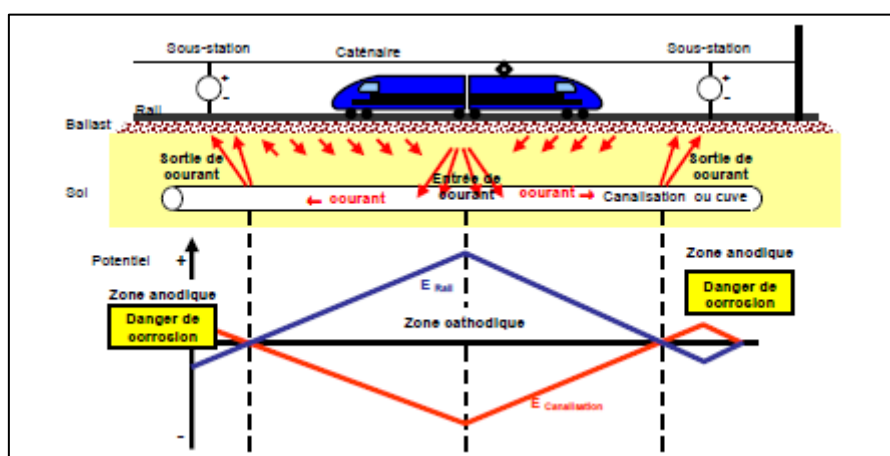
En effet, les ions chlorures et sulfates sont des éléments défavorables, tant par l'abaissement de résistivité qu'ils génèrent, que par leur propre rôle : intervention des sulfates dans les processus de développement des bactéries sulfatoréductrices et action dépassivante des chlorures sur les structures métalliques.

Ces dernières peuvent donc indiquer la présence de bactéries sulfato-réductrices. Ces bactéries, étant anaérobies, se rencontrent sous les couches d'oxydes, au contact du métal, là où l'oxygène ne parvient pas. Elles transforment les sulfates en hydrogène sulfurée qui se combine avec les sels ferreux pour donner un sulfure noir.

7.2 ANNEXE 2 : Théorie des courants vagabonds continus

Un courant continu utilisant le sol comme conducteur risque de provoquer des phénomènes d'influence ou des interactions pouvant conduire à une dégradation par électrolyse des structures enterrées voisines telles que : canalisations métalliques, câbles enterrés, armatures métalliques de construction. Les sources d'émission de ces courants sont en général des installations industrielles de tractions électriques (tramways, voies ferrées), de protections cathodiques de canalisations, de soudures à l'arc, etc ...

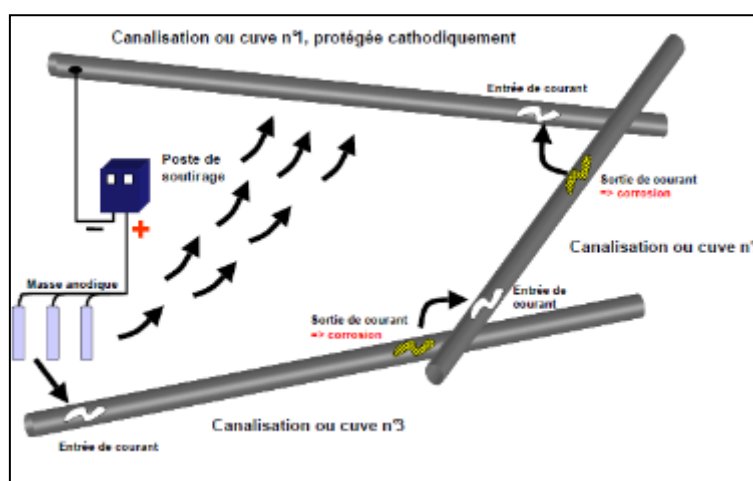
Les matériaux métalliques influencés peuvent être soit nus ou peu isolés, soit protégés par des revêtements isolants ou non de diverses natures et subir des influences cathodiques ou anodiques plus ou moins importantes, c'est-à-dire susceptibles d'engendrer des dégradations plus ou moins graves par électrolyse.



Principe des courants vagabonds générés par une voie ferrée électrifiée

Même si ces sources de courants vagabonds sont éloignées, elles peuvent influencer des structures métalliques situées parfois à plusieurs kilomètres par le biais de réseaux tiers métalliques, électriquement continus comme les terres du réseau d'éclairage public, de canalisations en acier d'eau ou de gaz ...

On parle alors d'influence de courants vagabonds par le biais d'ouvrage relais.



Principe de circulation des courants vagabonds par ouvrage relais

7.3 ANNEXE 3 : Théorie des vagabonds alternatifs

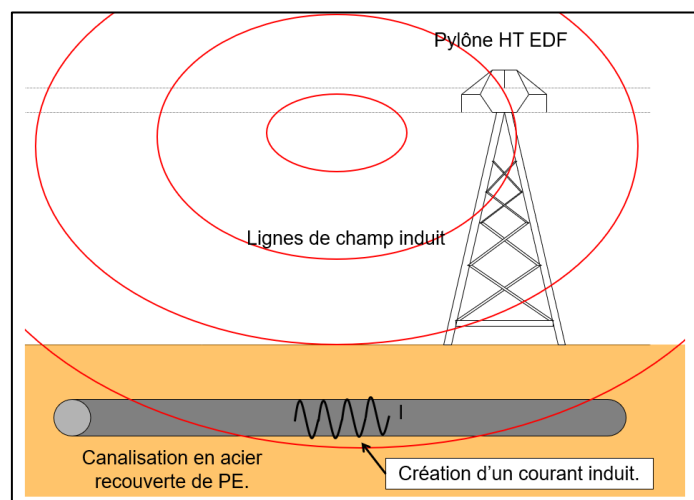
7.3.1 Influences inductives

Les courants vagabonds alternatifs issus de l'induction des lignes de transport d'énergie ou du fonctionnement de certaines activités (alimentation du TGV) peuvent générer des phénomènes de corrosion sur les ouvrages enterrés situés à proximité de ces sources.

Les risques d'influence issus des lignes électriques enterrées sont réduits du fait du rapprochement des phases.

L'intensité des phénomènes d'induction est proportionnelle à la valeur du champ magnétique ainsi qu'à l'orientation entre la ligne électrique et la canalisation par le cosinus de l'angle entre les deux ouvrages.

L'induction est maximale lorsque les deux ouvrages sont parallèles, elle est minimale lorsque les deux ouvrages sont perpendiculaires.



Source de courant alternatif

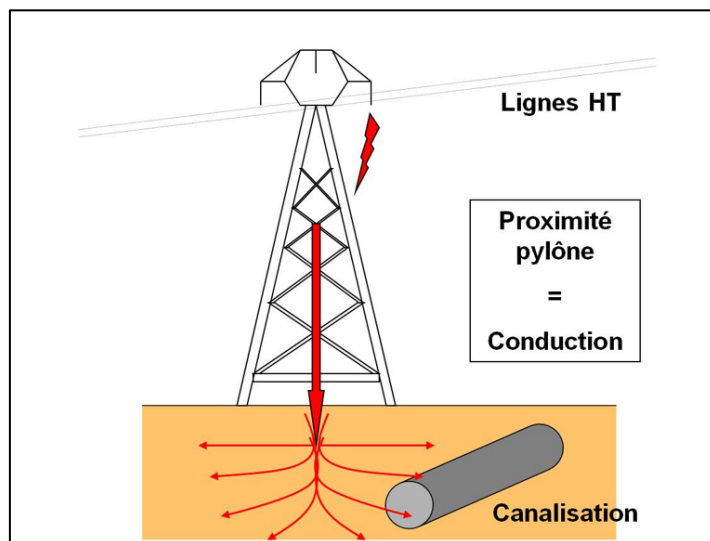
7.3.2 Influences conductives

Lorsqu'un courant important (courant de court-circuit phase-terre ou courant d'évacuation foudre) est écoulé à travers la mise à la terre, il entraîne une montée en potentiel du sol. Dans ces conditions, une partie du courant évacué par la mise à la terre du pylône est susceptible d'être véhiculée et écoulée par l'ouvrage.

Afin d'éviter les risques liés aux phénomènes de conduction, il est vivement conseillé de respecter une distance de sécurité entre la mise à la terre d'un pylône HT/Poste HTA et l'ouvrage en acier.

La conduite peut être soumise à une influence en cas de défaut sur la ligne électrique/poste HTA. L'apparition d'un défaut de fonctionnement sur la ligne peut entraîner l'apparition d'une tension élevée sur la conduite de gaz.

Si cette tension dépasse 5 000 Volts, il y a un risque pour l'intégrité du revêtement avec un risque de claquage et de détérioration du revêtement, voir du métal.



Phénomène de conduction

Ce risque dépend des caractéristiques intrinsèques et de fonctionnement des ouvrages influençant et influencé, et de leur position l'un par rapport à l'autre.

Le pylône/poste HTA d'une ligne en court-circuit peut écouler un courant de défaut qui est source d'une montée de tension par conduction pouvant impacter l'intégrité de la conduite.

7.4 ANNEXE 4 : Méthodologie à la mesure de résistivité de sol

La résistivité rend compte de la teneur en sels solubles du sol et de son humidité. Elle renseigne sur les qualités du sol comme électrolyte et joue un rôle important dans la résistance interne des piles de corrosion. La résistivité des sols est déterminée par la méthode dite des quatre terres ou Wenner.

Méthode dite des Quatre terres ou Wenner :

C'est une mesure qui s'effectue à partir de la surface. On dispose de façon équidistante, sur une ligne droite, quatre piquets métalliques (longueur 50 cm, diamètre 1 cm). On raccorde ces piquets par des conducteurs à un pont de résistance quadripolaire. La profondeur du sol englobée par la mesure correspond approximativement à l'écartement entre piquets. La résistance spécifique apparente du sol peut être calculée d'après la formule :

$$\rho (\Omega.m) = 2. \Pi . a. R \text{ (avec } a \text{ en m et } R \text{ en } \Omega)$$

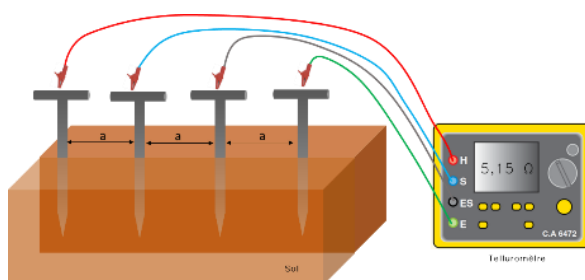


Figure 1 - Principe de la mesure de résistivité des sols par la méthode WENNER

R = résistance (Ω - Valeur lue sur le telluromètre)

a = espacement des piquets (m).

ρ = résistivité (Ω.m / $\rho = 2.\pi.a.R$).



Figure 2 - Vue de la mesure de résistivité par la méthode des 4 piquets (WENNER)