HAL
open science

Mise en place d'un dispositif de repérage de réseaux enterrés fondé sur la technologie RFID

Sélim Louvet

To cite this version:

Sélim Louvet. Mise en place d'un dispositif de repérage de réseaux enterrés fondé sur la technologie RFID. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2018. dumas-02093178

HAL Id: dumas-02093178

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02093178

Submitted on 8 Apr 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS

ECOLE SUPÉRIEURES DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

Spécialité : Géomètre et Topographe

par

Sélim LOUVET

Mise en place d'un dispositif de repérage de réseaux enterrés fondé sur la technologie RFID

Soutenu le 6 juillet 2018

JURY

PRESIDENT :	**Monsieur Laurent MOREL**	
MEMBRES :	**Monsieur Emmanuel LE PORCHER**	**Maître de stage**
	Monsieur Jean-Marie PEYREDIEU	**Maître de stage**
	Monsieur José CALI	**Professeur référent**

Remerciements

Je remercie toutes les personnes qui ont contribué au bon déroulement de mon travail de fin d'études et qui m'ont aidé pour la rédaction de ce mémoire.

Tout d'abord, j'adresse mes remerciements à Nada BOUSLAH, étudiante à l'École Supérieure des Géomètres et Topographes qui m'a beaucoup soutenu dans ma recherche de stage de fin d'études.

Je remercie aussi Jean-Marie PEYREDIEU, chef d'agence qui m'a accepté en tant que stagiaire dans son agence COLAS Rouen.

Je tiens également à remercier mon maître de stage, Emmanuel LE PORCHER, Projeteur-Géomètre et responsable de la cellule topographique et projets au sein de l'agence de Rouen. Je le remercie pour son accueil, le temps passé ensemble, le partage de son expérience et enfin sa confiance.

Je remercie toutes les personnes issues des différents pôles de l'agence de Rouen : les chefs de chantier, les conducteurs de travaux et les membres du bureau d'étude.

Je remercie par ailleurs José CALI, mon professeur référent, qui m'a aidé et m'a accompagné durant ce travail de recherche.

Je remercie Éric TARDY, directeur général de l'entreprise ELIOT Innovative Solutions, qui m'a transmis tous les documents nécessaires à la compréhension des systèmes de détection de réseaux enterrés.

Je remercie Mickael TARDIF, responsable du secteur nord-ouest de l'entreprise Ryb et chargé du développement des produits de la gamme ELIOT Innovative Solutions, d'avoir fait une démonstration de l'utilisation du système ELIOT et de m'avoir prêté un lecteur RFID ELIOT.

Enfin, j'adresse mes remerciements à ma famille pour son soutien tout au long de ma scolarité.

Liste des abréviations

AEP : Adduction Eau Potable

AFNOR : Association Française de Normalisation

BT : Basse Tension

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CC50 : Conique Conforme 50

DCE : Dossier de Consultation des Entreprises

DICT : Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux

DT : Déclaration de projet de Travaux

ELIOT : Équipement pour la Localisation et l'Identification d'Ouvrages en Terre

GNSS : Global Navigation Satellite System

HF : High Frequency

HTA : Haute Tension

ITF : Interrogator Talk First

LF : Low Frequency

NFC : Near Field Communication

NRTK : Network Real Time Kinematic

PEHD : PolyEthylène Haute Densité

RF : Radio Frequency

RFID : Radio Frequency Identification

RGF : Réseau Géodésique Français

SAW : Surface Acoustic Wave

SHF : Super High Frequency

TOTAL : Tag Only Talk After Listening

TTF : Tag Talk First

UHF : Ultra-High Frequency

Glossaire

Écart en position : distance entre la position d'un point selon des mesures effectuées en application du présent arrêté et la position de ce même point selon des mesures de contrôle effectuées conformément à l'arrêté du 16 septembre 2003.[1]

Géoréférencement : action qui consiste à relier un objet et les données qui lui sont associées à sa position dans l'espace par rapport au système réglementaire de coordonnées géocentriques cartésiennes.[2]

Incertitude maximale de localisation : seuil à ne pas dépasser par les mesures d'écart de position dans les trois dimensions.[1]

Interrogateurs RFID : Ce sont des dispositifs actifs, émetteurs de radiofréquences qui vont activer les tags qui passent devant eux en leur fournissant l'énergie dont ils ont besoin pour fonctionner.[3]

Localisation : recherche de renseignements sur un ouvrage (type, emplacement, caractérisation…).[2]

Plan de récolement : document graphique précisant le type et la localisation d'un ouvrage après son achèvement et établi à la suite des opérations de réception ; il tient compte des modifications apportées au cours des travaux.[2]

Plan géoréférencé : plan comportant au minimum trois points disposant de relevés de mesure de localisation géoréférencés.[1]

Système RFID : un système RFID « Radio Fréquence Identification » se compose de transpondeurs (aussi nommés étiquettes, marqueurs, tags, identifiant…) et d'un ou plusieurs interrogateurs (également nommés coupleurs, base station…).[3]

Transpondeur RFID : C'est un récepteur, que l'on place sur les éléments à tracer. Il est muni d'une puce et d'une antenne pour permettre les échanges d'informations.[3]

---

[1] Arrêté du 15 février 2012 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution

[2] Norme AFNOR NF S70-003-3, 23 mai 2014, « Travaux à proximité des réseaux – Partie 3 : Géoréférencement des ouvrages »

[3] Site du CNRFID - www.centrenational-rfid.com

Table des matières

Remerciements 2

Liste des abréviations 3

Glossaire 4

Table des matières 5

Introduction 7

I ÉTAT DE L'ART 9

I.1 ANALYSE JURIDIQUE 9

I.1.1 La réforme anti-endommagement des réseaux de 2012 9

I.1.2 Arrêté du 16 septembre 2003 10

I.1.2.1 Présentation générale de l'arrêté du 16 septembre 2003 10

I.1.2.2 Modèle standard appliqué à la classe A 12

I.1.3 Norme NF S70-003 13

I.1.4 Arrêté du 19 février 2013 14

I.2 LES METHODES DE LEVES TOPOGRAPHIQUES DES RESEAUX 16

I.2.1 Levés topographiques en fouille ouverte 16

I.2.1.1 Levé au Niveau et au décamètre par le chef de chantier 16

I.2.1.2 Levé au tachéomètre par le géomètre 16

I.2.1.3 Levé par récepteur GNSS confié au chef de chantier 16

I.2.1.4 Levé après remblaiement par l'intermédiaire de tubes laissés sur fourreaux 17

I.2.1.5 Levé photogrammétrique par vidéo 17

I.2.2 Levés topographiques en fouille fermée 18

I.2.2.1 Détection par géoradar 18

I.2.2.2 Détection par radiodétecteur 19

I.2.2.3 Détection de marqueurs RF (Radio Frequency) 20

I.2.2.4 Détection de marqueurs RFID (Radio Frequency Identification) 21

II LE DISPOSITIF RFID ELIOT 22

II.1 GENERALITES SUR LA TECHNOLOGIE RFID 22

II.1.1 Composantes d'un système RFID 22

II.1.1.1 Les transpondeurs RFID 22

II.1.1.2 Les interrogateurs RFID 23

II.1.2 Classification des transpondeurs 23

II.1.2.1 L'existence d'une puce électronique au sein du transpondeur 23

II.1.2.2 Source d'énergie passive ou active 24

II.1.2.3 Les fonctions d'écriture et de lecture qui peuvent être uniques ou multiples 24

II.1.3 Protocoles de communication RFID 25

II.1.3.1 Entre l'interrogateur et un seul transpondeur 25

II.1.3.2 Entre l'interrogateur et plusieurs transpondeurs 25

II.1.4 La place de la fréquence RFID 26

II.2 PRESENTATION DU SYSTEME RFID ELIOT 27

II.2.1 Les marqueurs de la gamme ELIOT 27

II.2.1.1 Les différents marqueurs disponibles 27

II.2.1.2 Caractéristiques du marqueur RFID de type T150 28

II.2.1.3 Canalisation PEHD ELIOT 31

II.2.2 Application ELIOT mobile pour smartphone 31

II.2.3 Lecteur ELIOT 32

II.2.3.1 Caractéristiques du lecteur 32

II.2.3.2 Utilisation du lecteur ... 33
II.2.4 Station d'encodage N-code ... 34
III METHODOLOGIE GENERALE ET CHOIX DE L'EXPERIENCE ... 35
III.1 METHODOLOGIE GENERALE ... 35
III.1.1 Utilisation des marqueurs ... 35
III.1.1.1 Moment d'utilisation des marqueurs ... 35
III.1.1.2 Pose des marqueurs ... 36
III.1.1.3 Encodage des marqueurs ... 37
III.1.2 Géoréférencement des réseaux enterrés ... 37
III.1.2.1 Détection des marqueurs ... 38
III.1.2.2 Géoréférencement des marqueurs ... 39
III.2 CHOIX DE L'EXPERIENCE ... 40
III.2.1 Matériel ... 40
III.2.2 Possibilités d'expérimentation ... 40
III.2.3 Chantier choisi ... 42
IV EXPERIMENTATION ... 43
IV.1 PRESENTATION ... 43
IV.2 TRAVAUX EN TRANCHEE OUVERTE ... 44
IV.2.1 Les réseaux existants ... 44
IV.2.2 Pose des marqueurs ... 45
IV.2.2.1 Encodage des marqueurs RFID ... 45
IV.2.2.2 Pose et mesure des marqueurs ... 46
IV.3 DETECTION ET GEOREFERENCEMENT EN TRANCHEE FERMEE ... 49
IV.3.1 Détection des marqueurs ... 49
IV.3.2 Géoréférencement du levé ... 50
IV.4 ANALYSE DES RESULTATS ... 51
IV.4.1.1 Recueil et assemblage des données ... 51
IV.4.1.2 Données en tranchée fermée ... 51
IV.4.1.3 Données en tranchée ouverte ... 52
IV.4.2 Détermination de la classe de précision interne ... 53
IV.4.2.1 Classe de précision interne planimétrique ... 53
IV.4.2.2 Classe de précision interne altimétrique ... 55
IV.4.2.3 Conclusion expérimentale ... 56
Conclusion ... 57
Bibliographie ... 59
Table des annexes ... 61
Annexe 1 Informations contenues dans les marqueurs RFID ... 62
Annexe 2 Coordonnées des marqueurs provenant de deux mesures au tachéomètre ... 63
Liste des figures ... 64
Liste des tableaux ... 65

Introduction

Les types de réseaux enterrés sont très nombreux (gaz, électricité, eau potable…) et suscitent depuis plusieurs années une attention particulière, car ils sont sujets à de nombreux endommagements qui surviennent chaque année lors de la réalisation de nouveaux travaux. C'est à la suite de ces catastrophes, pouvant causer des victimes humaines, que la réforme anti-endommagement des réseaux de 2012 a vu le jour avec notamment la mise en place, pour les exploitants de réseaux, d'un géoréférencement obligatoire d'une partie des réseaux suivant une classe de précision A correspondant à 40 cm d'incertitude maximale sur leur génératrice supérieure.

La filiale COLAS Ile-de-France Normandie dispose d'un ensemble de 50 agences de travaux implantées dans les régions d'Ile-de-France et de Normandie. Les activités de COLAS IDFN sont diverses et variées, car elles comprennent les domaines des travaux routiers, de la déconstruction, du génie civil, du bâtiment, de l'assainissement, de l'environnement et de l'aéroportuaire.

L'entreprise de travaux publics COLAS est directement concernée par certaines obligations législatives et réglementaires parues ces dernières années. La dernière obligation en date est celle qui est applicable à partir du 1er janvier 2018. Il s'agit d'un texte mettant en évidence deux certifications : la certification des prestataires en géoréférencement et la certification des prestataires en détection de réseaux.

Le groupe COLAS cherche à étudier différentes méthodes de géoréférencement des réseaux que ce soit en fouille ouverte ou en tranchée fermée. Ces différentes méthodes doivent tout d'abord respecter les obligations en matière de précision, mais doivent aussi être pratiques, économiques tout en tenant compte de l'organisation d'une agence de travaux publics.

Le stage s'est déroulé dans le département de la Seine-Maritime, au sein de l'agence de Rouen composée de 150 personnes. Sa clientèle se compose à la fois de collectivités territoriales, de professionnels et de particuliers.

Le nombre de géomètres dans une agence de travaux publics ne permet pas toujours de répondre aux besoins des chefs de chantiers. Le géomètre ne peut pas être présent quotidiennement sur tous les chantiers en cours. Cela pose un problème étant donné qu'une tranchée ouverte doit être fermée le jour même pour des raisons de sécurité, mais doit aussi être géoréférencée.

Plusieurs méthodes de géoréférencement et de localisation en tranchée ouverte ou en tranchée fermée sont actuellement utilisées. Les méthodes de levé en fouille ouverte sont actuellement les suivantes : utilisation d'un niveau et d'un décamètre, mesure par tachéométrie, levé au GNSS. Depuis quelques années, d'autres méthodes font leur apparition comme la photogrammétrie ou encore la lasergrammétrie.

La géolocalisation des réseaux en fouille fermée peut se faire grâce à l'utilisation d'un géoradar lorsque les matériaux des réseaux ne sont ni accessibles ni conducteurs (acier, fonte, câble électrique, cuivre…), sinon l'usage d'un détecteur de réseau est privilégié. Enfin, lorsque le réseau est accessible, les exploitants ou les entreprises de détection de réseaux utilisent une sonde flexitrace.

Depuis quelques années, il est possible de géoréférencer les réseaux enterrés grâce à des dispositifs utilisant les ondes électromagnétiques. Deux types de marqueurs existent : les marqueurs RF (Radio Frequency) et les marqueurs RFID (Radio Frequency Identification). Le principe est sensiblement le même : la pose de boules ou de boitiers sur les réseaux est effectuée en fouille ouverte et la lecture de leur positionnement est faite par un lecteur lorsque la tranchée est fermée.

L'avantage des marqueurs RFID sur les marqueurs RF est qu'ils peuvent contenir des informations à l'intérieur de leur puce RFID (type de réseau, diamètre de canalisation, nombre de fourreaux, date de pose…).

Ce mémoire présente la mise en place d'une solution de géoréférencement des réseaux par la technologie RFID associée au système GNSS. Elle permet de localiser et de géoréférencer les réseaux enterrés par la mise en place d'un ensemble de marqueurs RFID. Ceux-ci se basent sur le principe de la radio-identification et sont installés en fouille ouverte sur les ouvrages par les ouvriers du chantier. A posteriori, lorsque la tranchée est refermée, un lecteur RFID permet de localiser ces marqueurs et d'enregistrer les informations contenues dans leur puce. Le géoréférencement du levé est possible en tranchée fermée par l'utilisation d'un récepteur GNSS (Global Navigation Satellite System).

Ce mémoire s'articule en quatre parties. En première partie, nous ferons un état de l'art juridique et technique. En deuxième partie, nous présenterons le dispositif RFID ELIOT. Ensuite, en troisième partie, nous expliquerons la méthodologie générale et le choix de l'expérience. Enfin, en dernière partie, nous détaillerons une expérience faite sur un chantier spécifique et l'analyse de ses résultats.

I État de l'art

I.1 Analyse juridique

Le géoréférencement et la détection des réseaux sont encadrés par des procédures précises émanant du droit. Dans cette partie, nous présenterons différents textes juridiques avec tout d'abord la réforme anti-endommagement de 2012, puis l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision, ensuite la norme NF S70-003 relative aux travaux à proximité des ouvrages et pour finir l'arrêté du 19 février 2013 qui pose le cadre en matière de géoréférencement et de détection des réseaux.

I.1.1 La réforme anti-endommagement des réseaux de 2012

La réforme anti-endommagement fait suite à de nombreux endommagements survenus lors de travaux à proximité des réseaux sensibles (gaz, électricité, eau potable, chauffage urbain…). La réforme agit sur différents points afin d'éviter ces évènements et ainsi améliorer la sécurité.

Depuis le 1er juillet 2012, les gestionnaires de réseaux doivent obligatoirement fournir les coordonnées géoréférencées (système géodésique RGF 93) des nouveaux réseaux selon la classe de précision A. La classe A correspond à une incertitude maximale de localisation de 40 cm en ce qui concerne les réseaux rigides.

L'article 1 de l'arrêté du 15 février 2012[4] relate les différentes classes de précision cartographique des ouvrages :

Classe de précision	Incertitude maximale de localisation (m)		
	Ouvrage rigide	Ouvrage flexible	Ouvrage particulier[5]
A	0,4	0,5	0,8
B	> 0,4 et < 1,5	> 0,5 et < 1,5	> 0,8 et < 1,5
C	> 1,5	> 1,5	> 1,5

Tableau 1 : Classes de précision cartographique des ouvrages

L'article 15 du présent arrêté explicite les modalités de réalisation des relevés topographiques. Cet article définit plus précisément les emplacements caractéristiques de

[4] Arrêté du 15 février 2012 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.

[5] Ouvrages souterrains de génie civil attachés aux installations destinés à la circulation de transport ferroviaire ou guidé lorsque ces ouvrages ont été construits antérieurement au 1er janvier 2011.

l'ouvrage à géoréférencer. « Tout relevé est effectué en génératrice supérieure de l'ouvrage ou du tronçon d'ouvrage si celui-ci est souterrain ou subaquatique, ou en génératrice inférieure pour un ouvrage ou tronçon d'ouvrage aérien »[6]. L'entreprise cartographie avec précision les réseaux qu'elle construit.

Afin de situer les réseaux par rapport à des éléments fixes en surface, il est nécessaire de localiser le réseau de manière plus précise que la classe A. Pour cela, il convient d'appliquer le modèle standard de l'arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision, mais ce n'est pas une mesure obligatoire.

I.1.2 Arrêté du 16 septembre 2003

I.1.2.1 Présentation générale de l'arrêté du 16 septembre 2003

L'arrêté de 2003 porte sur les classes de précision qui s'appliquent à certains travaux topographiques. Ceux-ci sont définis dans l'article 1er : « Tous les travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte doivent être spécifiés et évalués selon les modalités définies dans le présent arrêté, à l'exception des levés hydrographiques »[6].

La précision d'un levé peut être déterminée de deux manières, comme précisé dans l'article 2 de cet arrêté : « La précision d'un lever d'objets géographiques peut-être spécifiée soit par un gabarit d'erreurs spécifique, soit par un modèle standard »[6]. Nous expliciterons la procédure du modèle standard caractérisée par trois critères devant être remplis pour valider la classe de précision [xx].

Les objets géographiques ponctuels sont caractérisés par une, deux ou trois coordonnées. Un appareil de mesure peut donner lieu à plusieurs classes de précision. Il est possible de fragmenter les classes de précision en fonction des coordonnées. Si les coordonnées sont issues d'un système géodésique, il n'y aura qu'une classe de précision globale tandis que si les coordonnées sont dans deux systèmes différents (planimétrique et altimétrique) il y aura deux classes de précision : la première pour les composantes planimétriques et la seconde pour la composante altimétrique.

---

[6] Arrêté du 15 février 2012 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.

Il est précisé dans cet arrêté qu'un coefficient de sécurité nommé C doit être au moins égal à 2. Ce coefficient de 2 signifie que le contrôle du levé doit être effectué par une méthode deux fois plus précise que le levé préalable.

Selon l'article 5 du présent arrêté : « Pour tout échantillon comportant N objets géographiques, on calcule l'écart moyen en position E_{MoyPos}. Celui-ci est défini par la moyenne arithmétique des écarts en position E_{Pos} relevés sur les points des objets géographiques. La population dont est issu l'échantillon comportant N objets est de classe de précision [xx] cm lorsque simultanément les trois conditions a, b, et c sont remplies : »[7].

a) l'écart moyen en position (E_{MoyPos}) doit être inférieur à :

$$\boldsymbol{T0 = [xx].(1 + \frac{1}{2.C^2})}$$

b) Le nombre d'écarts dépassant le seuil T1 n'excède pas N' :

$$\boldsymbol{T1 = k.[xx].(1 + \frac{1}{2.C^2})}$$

N' étant l'entier immédiatement supérieur à :

$$\boldsymbol{0,01.N + 0,232.\sqrt{N}}$$

En fonction du nombre de coordonnées, un coefficient k sera attribué :

n	**1**	**2**	**3**
k	3,23	2,42	2,11

Tableau 2 : Valeurs de k en fonction de n, nombre de coordonnées.

N' représente le nombre maximal d'écarts tolérés en fonction d'un nombre N représentant quant à lui le nombre d'objets ponctuels composant le levé. On peut retrouver une liste des valeurs de N' en fonction de N à travers un tableau.

N	de 1 à 4	de 5 à 13	de 14 à 44	de 45 à 85	de 86 à 132	de 133 à 184	de 185 à 240	de 241 à 298	de 299 à 359	de 360 à 422	de 423 à 487
N'	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**

Tableau 3 : Valeurs de N', nombre maximal d'écarts tolérés en fonction de N

c) Aucun écart moyen en position n'excède T2 :

$$\boldsymbol{T2 = 1,5.k.[xx].(1 + \frac{1}{2.C^2})}$$

[7] Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision

Il est à noter que cet arrêté indique de ne pas prendre en compte l'interpolation entre les points. En effet, il existe d'innombrables méthodes d'interpolation, le contrôle se fait uniquement au plus proche des points de contrôle.

Enfin, l'article 6 de l'arrêté du 16 septembre 2003 définit les sources d'erreurs individuelles majeures. Elles sont au nombre de trois :

- « **L'erreur interne** s'analyse à partir de l'écart entre les coordonnées obtenues pour chaque point par les mesures de contrôle et celles que l'on obtient par calcul dans un système indépendant en appliquant une translation (et pour 2 ou 3 coordonnées, une rotation), la plus favorable possible, sur l'ensemble des coordonnées fournies pour ces points. »[8]
- « **L'erreur propre** au réseau légal de référence est spécifiée par son gestionnaire, avec éventuellement plusieurs niveaux possibles en fonction des éléments du réseau effectivement utilisés lors du rattachement. »[8]
- « **L'erreur de rattachement** s'analyse lorsque cela est possible, à partir des écarts sur les mesures permettant le lien entre le réseau légal et le canevas lui-même. »[8]

L'erreur totale correspond à la racine carrée de la somme des carrés des erreurs individuelles.

I.1.2.2 Modèle standard appliqué à la classe A

Il s'agit dans cette partie d'appliquer le modèle standard dont les caractéristiques sont explicitées dans la partie précédente. Le but est d'avoir connaissance de toutes les valeurs des différents seuils pour chaque type de réseaux. En France, les coordonnées planimétriques et altimétriques sont gérées dans deux systèmes distincts (respectivement RGF 93 et NGF-IGN 69). De ces deux systèmes résultent deux classes de précision.

Les résultats de mes calculs issus des différentes formules sont recensés dans les tableaux suivants :

Réseau rigide	Planimétrie (cm)	Altimétrie (cm)
[xx]	9,8	7,3
T0	11,0	8,2
T1	26,7	26,6
T2	40	40

Tableau 4 : Classe A sur les réseaux rigides par application de l'arrêté de 2003

[8] Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision

Réseau flexible	Planimétrie (cm)	Altimétrie (cm)
[xx]	12,2	9,2
T0	13,8	10,3
T1	33,3	33,3
T2	50	50

Tableau 5 : Classe A sur les réseaux souples par application de l'arrêté de 2003

Ouvrage particulier	Planimétrie (cm)	Altimétrie (cm)
[xx]	19,6	14,7
T0	22,0	16,5
T1	53,3	53,3
T2	80	80

Tableau 6 : Classe A sur les ouvrages particuliers par application de l'arrêté de 2003

I.1.3 Norme NF S70-003

La norme NF S70-003[9], rédigée par l'AFNOR concerne les travaux à proximité des ouvrages.

Cette norme est celle à suivre en matière de précision des ouvrages. Elle reprend l'arrêté de 2003 et l'applique à la classe A.

Concernant les réseaux rigides indiqués dans cette norme, les données officielles sont les suivantes :

Réseau rigide	Planimétrie (cm)	Altimétrie (cm)
[xx]	10	11
T0	11,25	12,38
T1	27	40
T2	41	60

Tableau 7 : Valeurs liées à la classe A selon la norme NF S70-003

Nous pouvons constater quelques différences par rapport à mes calculs basés sur une incertitude maximale de 40 cm, imposée par la réforme anti-endommagement de 2012.

En effet, la norme NF S70-003 diffère de l'arrêté au niveau de l'altimétrie. La valeur d'incertitude maximale utilisée pour l'altimétrie est de 60 cm, ce qui a pour effet de créer une différence sur la classe de précision et les deux premiers seuils. La classe de précision altimétrique obtenue est alors de 11 cm.

On peut se demander si cette norme ne sera pas à l'avenir revue pour permettre de répondre aux exigences de la classe A, à savoir 40 cm d'erreur maximale pour un réseau rigide.

[9] Norme AFNOR NF S70-003-3, 23 mai 2014, « Travaux à proximité des réseaux — Partie 3 : Géoréférencement des ouvrages »

Devant ce constat, nous utiliserons le cadre le plus contraignant, à savoir celle du tableau 4 de la partie précédente.

I.1.4 Arrêté du 19 février 2013

L'arrêté du 19 février 2013[10] pose le cadre en matière de géoréférencement et de détection des réseaux. Deux référentiels se retrouvent dans cet arrêté : le référentiel de certification des prestataires en géoréférencement, que l'on appellera certification n° 1 et le référentiel de certification des prestataires en détection que l'on nommera certification n° 2.

« À compter du 1er janvier 2018, les responsables de projets de travaux doivent recourir à des prestataires certifiés pour 2 types de prestations »[11].

Pour être détenteur d'une ou deux certifications, l'entreprise demandeuse va être soumise à un audit de certification par un organisme certificateur. L'entreprise est certifiée pendant 6 années renouvelables.

L'annexe 3 de cet arrêté présente trois audits qui surviennent en trois temps :

- « **Audit initial** : premier audit réalisé chez un prestataire ayant demandé à être certifié pour l'une des trois options possibles ; »[10]
- « **Audit de surveillance** : audit réalisé au plus tard 3 ans après un audit de certification par le même organisme certificateur ; »[10]
- « **Audit de renouvellement** : audit réalisé au plus tard 6 ans après un audit de certification en vue du renouvellement de la certification d'un prestataire avec le même organisme certificateur. »[10]

La certification n° 2 permet de faire principalement des investigations complémentaires lorsque la classe de précision des réseaux n'est pas suffisante. Cependant, la certification n° 2 combinée à la certification n° 1 permet d'effectuer des levés géoréférencés en tranchée fermée.

---

[10] Arrêté du 19 février 2013 encadrant la certification des prestataires en géoréférencement et en détection des réseaux, et mettant à jour des fonctionnalités du téléservice « réseaux-et-canalisations.gouv.fr ».

[11] www.reseaux-et-canalisations.ineris.fr

La certification n° 1 indique que, lorsque les ouvrages sont construits ou modifiés puis sont rétrocédés à un exploitant de réseaux différent du maître d'ouvrage, alors le plan de récolement de ces ouvrages doit être conçu par une entreprise certifiée en géoréférencement. Cette certification permet à l'entreprise certifiée de faire des levés de réseaux en fouille ouverte.

L'entreprise certifiée située en France métropolitaine doit livrer un plan de récolement géoréférencé conforme au décret du 3 mars 2003. Les points sont levés en coordonnées planimétriques (Est et Nord) dans le système de référence RGF 93 en projection Lambert 93 ou en projection Lambert Conique Conforme et en coordonnée altimétrique (Altitude) dans le système altimétrique de référence NGF-IGN69.

Le plan doit respecter la réforme DT-DICT[12] avec notamment la localisation des réseaux sensibles en classe A. La légende du plan doit faire référence aux types de lignes représentant les différents réseaux. Ces réseaux doivent être distingués même lors d'une impression ou d'une photocopie en noir et blanc. Le plan doit être au minimum au 200ème, être orienté par une flèche Nord, doit posséder un carroyage et doit comporter le nom des rues.

En 2018, la filiale Colas Ile-de-France Normandie a obtenu la certification n° 1. Cependant, la certification n° 2 est indispensable si l'on souhaite utiliser un dispositif RFID dans le but de géoréférencer des réseaux en tranchée fermée. C'est pourquoi, dans le cadre du déploiement de cette méthode de levé dans le futur, COLAS devra obtenir la certification n° 2 en plus de la certification n° 1.

À partir des résultats de mes travaux, l'entreprise décidera de l'utilité d'acquérir cette seconde certification.

[12] Arrêté du 15 février relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.

I.2 Les méthodes de levés topographiques des réseaux

Plusieurs méthodes de levés topographiques des réseaux existent aujourd'hui : certaines s'exécutent en tranchée ouverte tandis que d'autres s'utilisent après remblaiement lorsque la tranchée est fermée.

I.2.1 Levés topographiques en fouille ouverte

Les méthodes de levés topographiques en fouille ouverte nécessitent d'être réalisées par une entreprise certifiée en géoréférencement. Les méthodes les plus courantes sont présentées, mais ne représentent en aucun cas la totalité des méthodes de levé en fouille ouverte. En particulier, COLAS utilise toutes les méthodes présentées ci-après hormis la dernière encore en phase d'étude.

I.2.1.1 Levé au Niveau et au décamètre par le chef de chantier

La mesure au décamètre permet la localisation planimétrique des réseaux tandis que le niveau permet de déterminer l'altimétrie des réseaux. La solution obtenue a une grande incertitude en planimétrie, sa mise en œuvre sur le chantier est plutôt lourde et elle nécessite de positionner des points connus le long de la tranchée. Cependant, cette méthode comporte des avantages comme un faible coût d'investissement et la précision altimétrique de l'ordre d'un centimètre.

I.2.1.2 Levé au tachéomètre par le géomètre

Le levé au tachéomètre permet la localisation planimétrique et altimétrique des réseaux. Il y a un problème majeur de disponibilité du géomètre pour l'intervention avant la fermeture de la fouille. La solution obtenue est parfaitement compatible avec la classe A avec une précision de quelques centimètres en chaque point. Cette solution nécessite de positionner seulement quelques points connus à proximité du chantier.

I.2.1.3 Levé par récepteur GNSS confié au chef de chantier

Le levé GNSS NRTK (différentiel temps réel) permet de localiser les réseaux, comme avec un tachéomètre. Une formation et une sensibilisation des chefs de chantier au géoréférencement et plus particulièrement au GNSS s'avère nécessaire. L'existence de « zones blanches » où le réseau GPRS est inexistant peut être un frein dans certaines zones.

La présence de masques (bâtiments, arbres) dégradant la précision de la mesure est un réel problème surtout en zones urbaines.

La solution obtenue est aussi compatible avec la classe A avec une précision de 2 à 5 cm. Le levé peut être effectué en toute autonomie par le chef de chantier, ce qui lui permet de fermer plus rapidement les tranchées et donc d'optimiser l'avancée du chantier.

I.2.1.4 Levé après remblaiement par l'intermédiaire de tubes laissés sur fourreaux

Les tubes laissés sur fourreaux permettent au géomètre de lever une fois la tranchée fermée. Le levé est fait au tachéomètre ou par GNSS. Cette technique est imprécise, car les positions des fourreaux sont aléatoires. Le seul avantage se révèle être le report du géoréférencement des réseaux par le géomètre qui permet aussi de regrouper les interventions de levés. Cette méthode doit être abandonnée, car elle ne permet pas un positionnement des réseaux en classe de précision A et ne permet pas d'avoir une densité de points suffisante.

I.2.1.5 Levé photogrammétrique par vidéo

Le levé photogrammétrique par vidéo permet la localisation planimétrique et altimétrique des réseaux. Des repères connus par GNSS sont placés le long de la tranchée. Le chef de chantier prend une vidéo de la tranchée et des repères connus. Le résultat obtenu en post-traitement est un nuage de points géoréférencés.

La solution obtenue, qui est compatible avec la classe A, permet une autonomie du chef de chantier. Il s'agit d'un outil intéressant en matière de BIM Infrastructures qui ne nécessite pas de déplacement du géomètre. Une solution proposée par l'application RESO 3D permet d'effectuer l'intégralité de cette démarche comme l'illustre la figure n°1.

Figure 1 : Application RESO 3D — Crédit : www.reso3d.com

I.2.2 Levés topographiques en fouille fermée

Ces méthodes de levés topographiques nécessitent le cumul de la certification en géoréférencement et de la certification en détection. Le géoréférencement de ces levés est possible par la mise en place de repères géoréférencés en surface. Ici, les méthodes les plus utilisées en travaux publics sont présentées, il ne s'agit pas d'une liste exhaustive. Ces méthodes sont utilisées en fonction de deux paramètres : l'accessibilité du réseau et sa conductibilité.

Pour le moment, COLAS n'effectue pas de levés topographiques en fouille fermée. Cependant, pour être plus compétitif, COLAS cherche à innover et le dispositif RFID, développé dans ce TFE, peut être une des techniques permettant d'y arriver.

Voici donc les différentes méthodes de levés en fouille fermée :

I.2.2.1 Détection par géoradar

Cette méthode est utile lorsque le réseau n'est pas conducteur (acier, fonte, câble électrique) et lorsqu'il n'est pas accessible.

Le géoradar, aussi appelé radar géologique, visible sur la figure n°2, permet la localisation des canalisations par émissions et réceptions d'ondes radar. Il permet le traitement de ces ondes électromagnétiques par analyse de la propagation : réfraction et réflexion. La coupe du terrain peut être directement visible sur tablette.

Cette méthode présente quelques inconvénients avec notamment la calibration obligatoire de l'antenne émettrice en fonction du type de sol et la présence d'eau dans le sol dégradant fortement la mesure. Lorsque la densité des fourreaux est importante, le géoradar peine à les distinguer, et lorsque le diamètre des fourreaux est faible, il est possible qu'il ne les détecte pas. La précision est d'environ 5 % à 10 % de la profondeur de la canalisation. Pour une profondeur d'un mètre, cela représente une précision de 5 à 10 cm.

Figure 2 : Géoradar UtilityScan — Crédit : www.mds-paris.com

I.2.2.2 Détection par radiodétecteur

Deux cas sont possibles :

Si le réseau est conducteur, on utilise directement un radiodétecteur ; c'est le mode passif.

Si le réseau n'est pas conducteur, mais s'il est accessible pour pouvoir y introduire un élément conducteur (qui peut être ensuite repéré par un détecteur) ; c'est le mode actif.

- <u>Mode passif</u>

La méthode passive qui ne nécessite qu'un récepteur est utilisée pour détecter des réseaux conducteurs. Le radiodétecteur, illustré par la figure n°3, est un système comprenant un émetteur et un récepteur qui permet la localisation des canalisations par émission et réception d'ondes électromagnétiques.

Plusieurs modes de fonctionnement sont disponibles afin de détecter les réseaux :

- Le mode 50 Hz détecte les câbles électriques sous tension émettant à une fréquence de 50 Hz ;
- Le mode 100 Hz qui localise les protections cathodiques permet notamment de ralentir la corrosion d'un métal ;
- Le mode 33 Hz permet de détecter le plus de types de réseaux ;
- D'autres modes existent, mais sont peu utilisés.

Figure 3 : Détecteur de réseaux RD8000 — Crédit : www.d3e.fr

- <u>Mode actif nécessitant un récepteur et un générateur</u>

Le branchement d'une pince à champ magnétique sur un réseau conducteur ou une canalisation conductrice peut permettre à un générateur de communiquer son signal. Cette technique permet au radiodétecteur de détecter plus précisément le réseau.

Lorsque les réseaux ne sont pas conducteurs, mais sont accessibles, il est possible de générer de l'énergie dans la canalisation par différents dispositifs :

- La pose d'un câble conducteur appelé flexitrace dans la canalisation permettant au radiodétecteur de localiser tout le réseau. La méthode flexitrace permet notamment de détecter les branchements gaz et eau.
- La pose d'une sonde au bout d'un câble permettant au détecteur de localiser la sonde dans la canalisation. Cela permet notamment de détecter par couplage de détecteur de réseau les endroits obstrués de la canalisation.

I.2.2.3 Détection de marqueurs RF (Radio Frequency)

Les marqueurs RF (Radio Frequency) sont généralement de forme ronde et sont passifs. Ils sont détectables par un radiodétecteur. Ces boules-marqueurs sont placées à côté de la canalisation. La boule-marqueur RF est illustrée par la figure n°4.

Différents marqueurs RF existent, chaque marqueur RF étant doté d'une couleur spécifique correspondant à un type de réseau, mais aussi à une fréquence particulière. Le radiodétecteur doit être par exemple paramétré à une fréquence de 101,4 kHz afin de détecter le marqueur posé à côté du réseau de télécommunication. Ces marqueurs permettent de localiser le réseau en classe A.

Les caractéristiques des marqueurs comportent des petites variantes en fonction des constructeurs : amplitude du champ électromagnétique ; durée de vie variable ; distance entre les marqueurs.

Figure 4 : Boule-marqueur RF — Crédit : www.3mfrance.fr

I.2.2.4 Détection de marqueurs RFID (Radio Frequency Identification)

Leur différence principale avec les marqueurs précédents résulte dans le fait que l'on peut y ajouter des informations très utiles comme la nature, les dimensions ou encore la date de pose des réseaux.

Seulement deux constructeurs de marqueurs RFID existent actuellement en France.

- Les **marqueurs RFID de la gamme 3M** sont de forme ronde et se placent à côté de la canalisation. Un radiodétecteur ayant une option de lecteur RFID peut d'une part lire les informations contenues dans ces marqueurs et d'autre part localiser le réseau en planimétrie et altimétrie en utilisant la propagation d'ondes entre deux antennes. La boule marqueur RFID de type eau potable est illustrée par la figure n°5.

Figure 5 : Boule-marqueur RFID de type eau potable — Crédit : www.3mfrance.fr

- Les **marqueurs RFID de la gamme ELIOT** sont en forme de boitier et se placent sur la canalisation. Ceci est un avantage certain, car son positionnement sur l'axe de la canalisation évite des problèmes de précision de mesures, contrairement au précédent qui ne peut être placé qu'à côté de la canalisation. C'est ce type de marqueur qui a été choisi pour ce travail de fin d'études et que je vais développer par la suite. Le marqueur RFID de la gamme ELIOT est illustré par la figure n°6.

Figure 6 : Marqueur RFID ELIOT — Crédit : www.rybbtp.fr

II Le dispositif RFID ELIOT

II.1 Généralités sur la technologie RFID

II.1.1 Composantes d'un système RFID

Le terme RFID provenant de l'acronyme « Radio Frequency Identification » peut se traduire en français par « identification par fréquence radio ».

Un système RFID, dans sa globalité, est composé d'un transpondeur, d'un interrogateur et d'un programme informatique permettant le traitement des données.

Ces termes en rapport avec la technologie RFID sont définis scientifiquement sur le site du CNRFID (Centre national de la technologie RFID) :

« Un **système RFID** 'Radio Fréquence Identification' se compose de transpondeurs (aussi nommés étiquettes, marqueurs, tags, identifiants…) et d'un ou plusieurs interrogateurs (aussi nommés coupleurs, base station…) »[13]

II.1.1.1 Les transpondeurs RFID

« **Transpondeur RFID** : C'est un dispositif récepteur, que l'on place sur les éléments à tracer (objet, animal…). Il est muni d'une puce contenant les informations et d'une antenne pour permettre les échanges d'informations. »[13]

Le transpondeur RFID, schématisé par la figure n°7, est composé d'une antenne, d'une puce de silicium, le tout disposé dans un boitier ou un emballage appelé capsule.

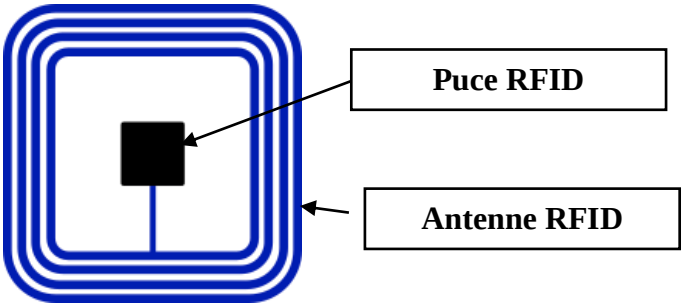

Figure 7 : Schéma d'un transpondeur RFID

[13] Site du CNRFID - www.centrenational-rfid.com

II.1.1.2 Les interrogateurs RFID

« Les **interrogateurs RFID** : Ce sont des dispositifs actifs, émetteurs de radiofréquences qui vont activer les tags qui passent devant eux en leur fournissant l'énergie dont ils ont besoin pour fonctionner. Outre de l'énergie pour l'étiquette, l'interrogateur envoie des commandes particulières auxquelles répond le tag. L'une des réponses, la plus simple possible, est le renvoi d'une identification numérique. »[14.] Il peut s'agir d'un lecteur, d'un téléphone, d'une borne.

II.1.2 Classification des transpondeurs

Les transpondeurs RFID peuvent être classés en différentes catégories selon plusieurs critères :

- L'existence d'une puce électronique au sein du transpondeur
- La source d'énergie qui peut être active ou passive
- Les fonctions d'écriture et de lecture qui peuvent être uniques ou multiples

II.1.2.1 L'existence d'une puce électronique au sein du transpondeur

Actuellement, 3 types de transpondeurs, possédant ou non une puce électronique, peuvent être répertoriés :

Le **transpondeur RFID SAW** qui n'est pas équipé de circuits intégrés. Ce type de transpondeur est actuellement peu utilisé.

Le **transpondeur RFID 1 bit**, dont l'utilisation reste limitée à des systèmes antivols.

Le **transpondeur RFID à circuit intégré** qui contient un circuit intégré et une antenne. Il est celui qui domine le marché de la RFID, on retrouve ce type de transpondeur dans divers domaines (traçabilité d'objets dans les entrepôts, traçabilité d'aliments ou encore pointage des employés d'usine…)

---

[14] Site du CNRFID - www.centrenational-rfid.com

II.1.2.2 Source d'énergie passive ou active

Les transpondeurs se différencient par la présence ou non d'un émetteur RF (Radio Fréquence). Un transpondeur doté d'un émetteur RF est considéré comme étant actif. S'il ne possède pas cet émetteur, il est considéré comme passif.

- Le **transpondeur passif** ne possède pas d'émetteur RF. L'onde envoyée par l'interrogateur permet d'alimenter le circuit imprimé du transpondeur. Ainsi, le transpondeur rétromodule l'onde envoyée par l'interrogateur afin de communiquer avec celui-ci et permet l'échange d'informations.
- Le **transpondeur doté d'un émetteur RF** autoalimente son circuit imprimé et peut alors communiquer directement avec l'interrogateur.
- Le **transpondeur dit semi-actif** ou semi-passif reprend le principe de rétromodulation du transpondeur passif pour communiquer ses informations. La seule différence résulte du fait que le transpondeur semi-actif dispose d'une batterie qui permet d'alimenter le circuit imprimé.

II.1.2.3 Les fonctions d'écriture et de lecture qui peuvent être uniques ou multiples

Une **puce en lecture seule** est une puce à mémoire limitée. Cette puce ne contient qu'une seule information qui est en fait un identifiant. Cet identifiant est entré dans la puce lors de sa fabrication.

Le terme de « lecture seule » provient de la seule lecture possible de l'identifiant. Des informations supplémentaires peuvent être liées à cet identifiant, et sont stockées dans un espace distinct de celui de la puce, accessible grâce à l'identifiant.

La **puce en écriture unique** et lecture multiple est une puce qui possède une mémoire initiale vierge. L'utilisateur peut y entrer un identifiant une seule et unique fois.

Le terme d'écriture unique vient du fait qu'une fois l'identifiant attribué, celui-ci est définitif, tandis que le terme de lecture multiple prend son sens dans la lecture multiple de la puce pendant toute la durée de vie de la puce.

La **puce en lecture et écriture** est une puce disposant d'une zone de mémoire réinscriptible. L'idée est de pouvoir modifier les données plusieurs fois. Cette puce peut contenir différentes informations autres que l'identifiant. Le nombre d'informations possibles dépend de la capacité en mémoire de la puce.

II.1.3 Protocoles de communication RFID

II.1.3.1 Entre l'interrogateur et un seul transpondeur

Si le transpondeur est passif, il n'aura ni émetteur RF ni batterie intégrée lui fournissant de l'énergie.

La première phase préalable à la communication consiste en la transmission d'énergie par l'interrogateur par la transmission d'un signal à fréquence fixe sans modulation.

La seconde phase se déroule une fois que la puce est alimentée.

Ainsi, deux scénarios sont possibles :

- **Protocole TTF** (Tag Talk First) : Le transpondeur transmet alors directement des informations à l'interrogateur. Le transpondeur est le premier à communiquer.
- **Protocole ITF** (Interrogator Talk First) : L'interrogateur est le premier interlocuteur, il exprime une requête spécifique au transpondeur qui lui renvoie la réponse par la suite.

Les protocoles TTF et ITF sont incompatibles.

II.1.3.2 Entre l'interrogateur et plusieurs transpondeurs

Il y a des variantes aux deux protocoles précédents dues à un problème d'autocollision causé par un nombre élevé de transpondeurs. La collision entraine à la fois des difficultés de lecture par l'interrogateur, mais aussi des risques d'interférences.

Deux scénarios sont possibles :

- **Variante au protocole TTF** dit TOTAL (Tag Only Talks After Listening) : qui peut se traduire par : « Le transpondeurs communique seulement après avoir entendu ». Les transpondeurs ne vont pas répondre en simultané, mais vont à l'inverse répondre chacun à leur tour afin d'éviter toute collision des réponses.
- **Variante au protocole ITF** : L'interrogateur envoie une requête aux transpondeurs qui répondent simultanément. C'est parce que l'interrogateur est à l'origine de la requête qu'il est possible de pallier la collision grâce à un processus de séquençage.

II.1.4 La place de la fréquence RFID

Le site du CNRFID présente les différentes gammes de fréquence de la technologie RFID comme suit :

- « LF : 125 kHz — 134,2 kHz : basses fréquences ;
- HF : 13,56 MHz : hautes fréquences ;
- UHF : 860 MHz — 960 MHz : ultra hautes fréquences ;
- SHF : 2,45 GHz : super hautes fréquences. »[15]

Les fréquences RFID sont illustrées par la figure n°8.

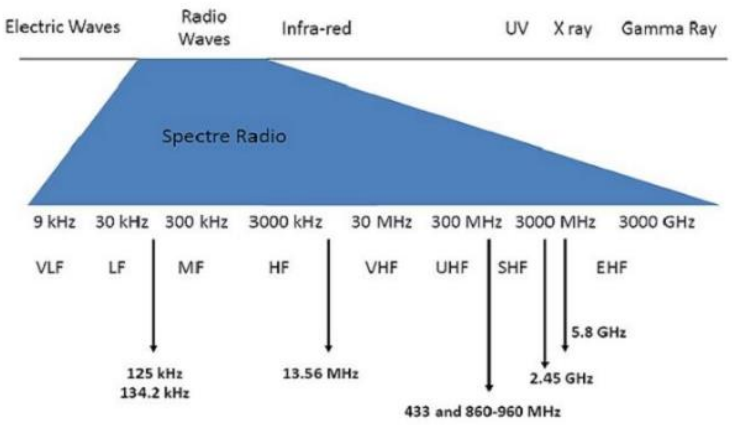

Figure 8 : Places de la RFID dans le spectre radio — Crédit : www.centrenational-rfid.com

[15] Site du CNRFID

II.2 Présentation du système RFID ELIOT

L'acronyme ELIOT provient des termes « Équipement pour la Localisation et l'Identification d'Ouvrages en Terre ».

Le système ELIOT est basé sur la technologie RFID. ELIOT dispose d'un brevet sur son système d'antennes permettant de localiser les réseaux jusqu'à 1,5 m de profondeur.

Ce système est composé d'un interrogateur appelé lecteur et de transpondeurs appelés marqueurs. Les produits de la gamme ELIOT sont conformes aux exigences sur le géoréférencement en fouille fermée, précisé par la norme AFNOR NF S70-003.

II.2.1 Les marqueurs de la gamme ELIOT

II.2.1.1 Les différents marqueurs disponibles

De manière générale, le **marqueur ELIOT** est un transpondeur passif composé d'une puce RFID et d'une antenne. Ce transpondeur a la particularité d'être situé dans un boitier. Ce boitier est fabriqué en polymère rigide. Ce matériau permet à la fois d'assurer une étanchéité complète afin d'éviter les infiltrations pouvant dégrader son contenu, mais permet aussi de résister aux différents chocs et aux différentes pressions.

Il existe actuellement trois types de marqueurs ELIOT :

Le **marqueur de type T150** est celui qui est majoritairement utilisé. Il peut être enfoui et détecté à une profondeur de 1,50 m. Le prix unitaire d'un marqueur RFID de type T150 est d'environ 15 euros. Il est destiné à être placé au-dessus d'un tube, en épousant la forme arrondie de celui-ci. Il est illustré par la figure n°9.

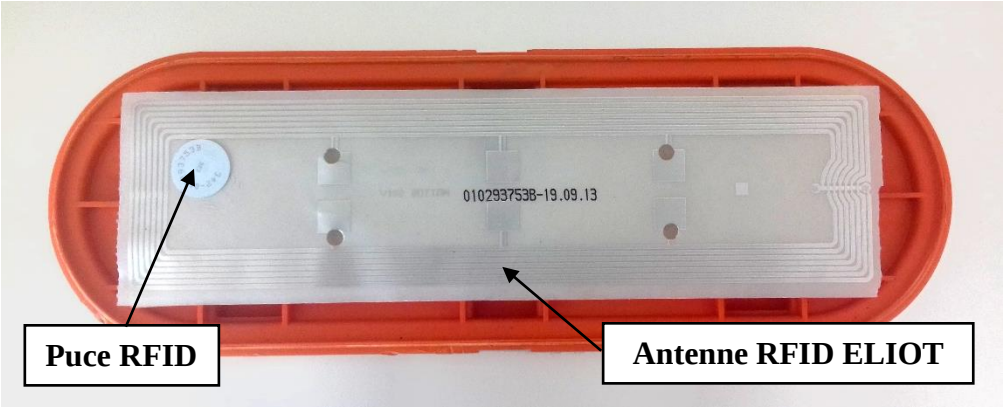

Figure 9 : Intérieur du marqueur RFID ELIOT T150 – Photographie personnelle

Le **marqueur de type T250** (plus cher) peut être détecté à une profondeur de 2,50 m. Il est très peu utilisé en France, car la plupart des canalisations ne se situent pas à une si grande profondeur et les conditions climatiques ne sont pas extrêmes. « Ce nouveau marqueur permet à ELIOT Innovative Solutions de s'adresser aux nouveaux marchés et nouvelles activités qui font face à des contraintes de gel, par exemple celle de l'eau potable dans les pays en zone froide, au Canada ou en Scandinavie »[16].

Le **marqueur de type T150J** s'accroche par un système de griffe ou de bandes adhésives à tout type de branchement. Ce type de marqueur peut s'avérer être important en cas d'endommagement d'un réseau de type Gaz. « Cette solution permet d'identifier où sont les branchements ou les dérivations des canalisations principales, avoisinantes des lots d'habitation, notamment en cas de fuite de gaz »[14].

Les marqueurs T150 J et T250 sont illustrés par la figure n°10.

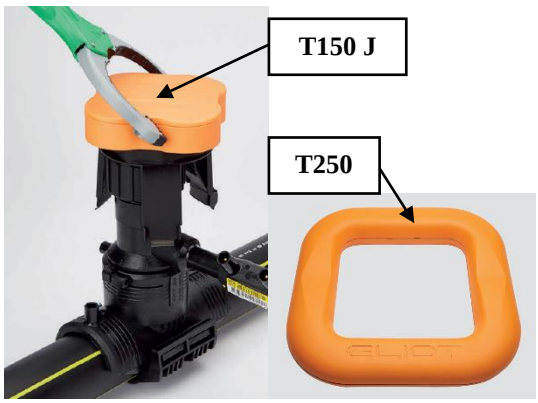

Figure 10 : Marqueurs T150 J (à gauche) et T250 (à droite) — Crédit : Plaquette ELIOT

Après échange avec les différents responsables de la cellule topographique de l'entreprise Colas, c'est le marqueur RFID ELIOT de type T150 qui a été choisi pour des raisons de coût et d'adaptabilité au domaine des travaux publics.

C'est donc celui-ci qui va être présenté dans la partie suivante :

II.2.1.2 Caractéristiques du marqueur RFID de type T150

Le **marqueur ELIOT T150** est classé sous un indice de protection correspondant à IP 68, qui signifie qu'il est étanche à la poussière et peut être soumis à une immersion de longue durée en profondeur.

---

[16] Site de ryb — www.ryb.fr

Ce transpondeur est un transpondeur HF (Haute Fréquence), qui fonctionne à une fréquence fixe de 13,56 MHz. Ce marqueur a une durée de vie supérieure à 50 ans, et peut supporter des températures variant de -20 °C à 80 °C. La puce RFID contenue dans ce marqueur est capable d'assumer la lecture et l'écriture sur environ 100 000 cycles.

Ce boitier est fixé à la canalisation grâce à un système de rubans adhésifs. Sa forme arrondie lui permettant d'épouser la forme de la canalisation, il peut aussi être maintenu grâce à une sangle.

Les réseaux dont la canalisation est en métal (fonte, acier…) posent des problèmes et créent de fortes interférences empêchant l'onde électromagnétique de revenir jusqu'au lecteur.

Ce problème est résolu par la mise en place d'une cale en polystyrène de 8 cm, comme illustré par la figure n°11, qui est positionnée entre la canalisation et le marqueur.

La prise en compte de la hauteur de cette cale lors de l'obtention de la localisation par le lecteur est essentielle afin d'obtenir la vraie valeur de profondeur du réseau.

Figure 11 : Cale en polystyrène ELIOT

Ces marqueurs possèdent trois circuits orthogonaux qui sont capables de créer un champ sphérique uniforme. Grâce à ce champ, il est possible de mesurer la profondeur, en se plaçant au-dessus du marqueur en surface.

Lorsque le lecteur détecte l'émission électromagnétique la plus élevée, on se situe alors sur le point projeté du marqueur en surface comme l'illustre la figure n°12.

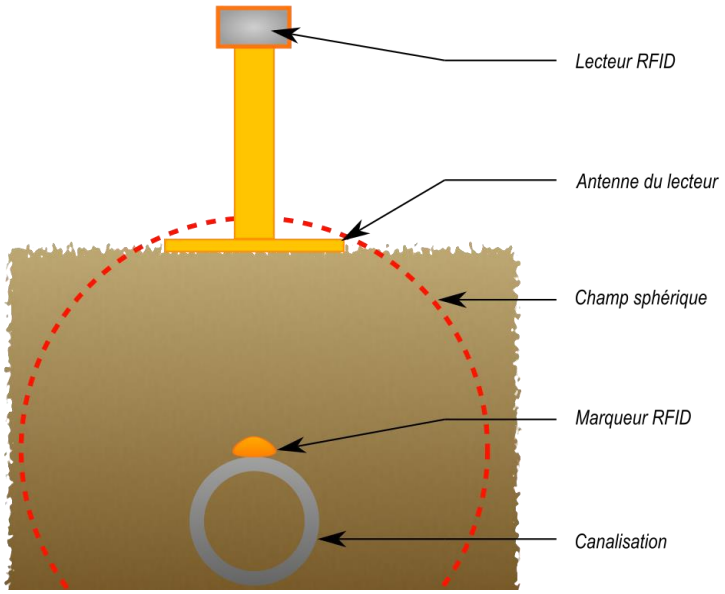

Figure 12 : Schéma présentant l'émission du champ électromagnétique d'un marqueur RFID

Ces marqueurs possèdent un matricule non modifiable, avec une référence prédéfinie, associée à un type de réseau comme le montre le tableau n°8. En effet, les puces sont programmées dès leur conception pour un type de réseau.

Référence	Type de réseau	Logo
EMS0001	GAZ	
EMS0002	EAU POTABLE	
EMS0003	TÉLÉCOM	
EMS0004	ASSAINISSEMENT	
EMS0005	INDUSTRIE	
EMS0006	ÉNERGIE	
EMS0008	GÉOTHERMIE	
EMS0009	EAU PLUVIALE	
EMS0010	CHAUFFAGE URBAIN	

Tableau 8 : Matricules des types de réseaux — Crédit : Dossier technique ELIOT

Par exemple, un marqueur, destiné à être posé sur un réseau d'eau potable, aura un matricule commençant par la racine « EMS0001 » tandis qu'un autre marqueur destiné au réseau de télécommunication se verra attribuer un matricule commençant par « EMS0003 ».

II.2.1.3 Canalisation PEHD ELIOT

Le transpondeur ELIOT peut être intégré dans les canalisations en PEHD (polyéthylène haute densité). « Le transpondeur RFID est protégé par une peau en polypropylène co-extrudée à l'extérieur du tube PEHD »[17].

Il présente exactement les mêmes caractéristiques qu'un marqueur classique. Cette canalisation a la particularité de supprimer le temps de pose nécessaire d'un marqueur classique mais nécessite de positionner la canalisation selon une unique orientation.

Il existe actuellement les types de canalisations suivantes : AEP, Gaz et assainissement.

II.2.2 Application ELIOT mobile pour smartphone

L'**application ELIOT mobile** est exclusivement disponible sur Android pour le moment. Il s'agit d'une application gratuite. Cette application permet aux téléphones dotés de fonctionnalité NFC (Near Field Communication) de communiquer en champ proche avec les marqueurs RFID. La technologie NFC est un cas particulier de la RFID qui permet non seulement la lecture, mais aussi l'échange des données.

La notion de champ proche résulte du fait que l'échange des données est possible seulement si les 2 objets sont proches (seulement quelques centimètres). Un exemple de la technologie NFC est le paiement sans contact par carte bleue qui utilise cette fonctionnalité et permet l'échange des données de pair à pair.

L'application permet de lire les données d'un marqueur RFID de la marque ELIOT et permet d'écrire différentes données dans deux champs distincts (ayant une capacité de 90 caractères alphanumériques chacun).

Il est possible aussi de sécuriser les champs par un système de mot de passe, le but étant qu'une seule personne puisse modifier les champs d'une puce RFID.

Les données que l'on peut écrire dans les deux champs sont les informations suivantes : présence d'une cale, nombre de fourreaux, dimensions du réseau, type de réseau, matériaux de la canalisation.

---

[17] Dossier technique — Technologie ELIOT

Cette application permet aussi de faire un SIG (Système d'Information Géographique) en localisant les marqueurs sur une interface par les coordonnées géographiques de Google Map, de précision métrique, obtenues par positionnement absolu par le smartphone.

La figure n°13 présente les différentes fonctions de l'application ELIOT Mobile.

Figure 13 : Interface principale de l'application ELIOT mobile

II.2.3 Lecteur ELIOT

II.2.3.1 Caractéristiques du lecteur

Le **lecteur RFID ELIOT**, illustré par la figure n°14, permet d'interagir avec les marqueurs et peut lire les données contenues dans la puce RFID. Il peut aussi modifier à distance les deux champs contenant des informations.

Le lecteur peut aussi connaitre la profondeur d'enfouissement du lecteur et donc de la canalisation.

Le lecteur ne peut pas être associé physiquement avec un récepteur GNSS de précision centimétrique, mais peut tout de même par une connexion Bluetooth interagir avec un récepteur GNSS. Le géoréférencement des réseaux est alors possible. Les coordonnées GNSS sont alors intégrées à la base de données présente dans le lecteur RFID.

La base de données peut enregistrer jusqu'à 3000 points.

Figure 14 : Lecteur RFID ELIOT

II.2.3.2 Utilisation du lecteur

Pour déterminer le positionnement et la profondeur du marqueur RFID, il faut tout d'abord se positionner en surface au-dessus d'un marqueur RFID enterré. Afin d'obtenir le positionnement le plus précis possible, on peut faire varier la puissance de détection d'antenne. En mettant la puissance maximale, c'est-à-dire 100 %, on peut détecter les marqueurs jusqu'à 1,50 m de profondeur. Alors que si l'on paramètre la puissance d'antenne à 10 %, cela nous permet de détecter les marqueurs à une profondeur plus restreinte, inférieure à un mètre. Une fois que le lecteur est positionné en surface, nous pouvons lancer la mesure de profondeur. La profondeur du marqueur et les informations contenues dans la puce RFID sont alors enregistrées dans une base de données. Ces données peuvent être transférées par la suite par clé USB.

L'antenne doit être placée à l'horizontale contre le sol pour permettre au lecteur de se positionner correctement, la partie supérieure du lecteur doit être verticale afin de garantir une meilleure mesure de profondeur.

II.2.4 Station d'encodage N-code

La station d'encodage N-code, dont l'interface est illustrée par la figure n°15, permet l'encodage massif des marqueurs RFID. Cette station permet d'encoder 10 marqueurs RFID à la fois. Cette station d'encodage n'a pas été utilisée durant ce travail de fin d'études, mais peut permettre de gagner du temps lorsqu'il s'agit d'encoder plusieurs marqueurs aux mêmes caractéristiques. Les caractéristiques peuvent être par exemple le lieu du chantier, le lieu ou encore la date de pose. Cette station sera nécessaire si le dispositif RFID ELIOT est finalement utilisé en majeure partie dans le géoréférencement des réseaux enterrés chez COLAS.

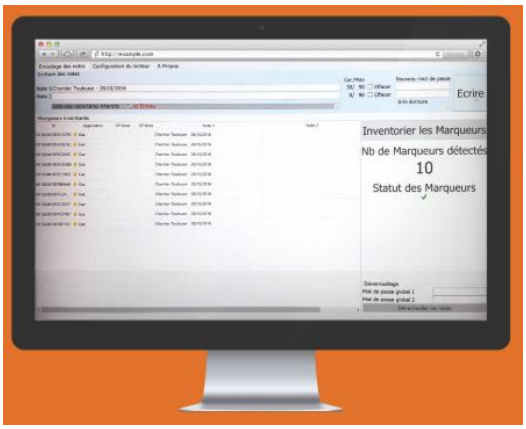

Figure 15 : Interface de la station d'encodage N-code — Crédit : Crédit : www.rybbtp.fr

III Méthodologie générale et choix de l'expérience

III.1 Méthodologie générale

L'objet de cette partie a pour but de définir une méthode de travail de levé des réseaux en fouille fermée avec un dispositif RFID. Dans cette partie, nous allons proposer une méthodologie concernant l'utilisation du système, de sa mise en place sur le chantier à l'exploitation du plan géoréférencé.

Il s'agira tout d'abord d'étudier les possibilités de mise en place de marqueurs RFID dans la tranchée permettant de repérer les réseaux enterrés en utilisant un mode opératoire général applicable à tout type de chantier. Ensuite, nous étudierons le géoréférencement des réseaux en fouille fermée par l'utilisation d'un lecteur RFID, d'un tachéomètre et de points de repère géoréférencés par positionnement GNSS différentiel NRTK.

III.1.1 Utilisation des marqueurs

III.1.1.1 Moment d'utilisation des marqueurs

Dans les agences de travaux publics du groupe COLAS, c'est généralement au chef de chantier qu'incombe la tâche de lever les réseaux enterrés. Le chef de chantier réalise ses levés par positionnement GNSS différentiel NRTK. L'utilisation du dispositif RFID présenté dans ce mémoire est une autre solution intéressante pour se substituer à d'autres méthodes de levés lorsqu'un ou plusieurs des évènements suivants se produit :

- La couverture du réseau GNSS est limitée ;
- La couverture du réseau mobile est insuffisante, on parle alors de zones blanches ;
- L'utilisation de marqueurs RFID est imposée par un exploitant de réseaux pour assurer une certaine traçabilité des réseaux ;
- Le chef de chantier est dans l'impossibilité de pouvoir lever les réseaux (pas de canne GNSS à disposition).

Pour que l'utilisation des marqueurs puisse se faire, il est important que chaque chef de chantier dispose d'un nombre suffisant de marqueurs sur son lieu de chantier.

Lorsque l'utilisation du récepteur GNSS n'est pas possible en raison de trop fortes contraintes, le chef de chantier doit systématiquement contacter le géomètre de l'agence.

Il doit lui demander s'il est disponible pour géoréférencer les réseaux en tranchée ouverte. Deux cas se présentent alors :

- Le géomètre est disponible et fait le levé au tachéomètre ;
- Le géomètre est indisponible et des marqueurs RFID sont à poser sur les réseaux.

III.1.1.2 Pose des marqueurs

Pour qu'un levé des réseaux soit exploitable, il est important de mesurer en quantité suffisante les points caractérisant au mieux le réseau. En effet, le plan de récolement des réseaux résultera des points mesurés sur le chantier.

Selon la norme NF S70-003, le réseau se dessine en reliant les différents points levés par une polyligne droite ou arrondie. Cependant, le réseau ne doit pas être situé à une distance supérieure à 10 cm de la polyligne dessinée. Mis à part ces impératifs, la norme est assez souple et permet une marge de manœuvre propre à chaque entreprise de travaux publics ou chaque exploitant de réseaux.

Le groupe COLAS a déjà imposé à ses agences une méthodologie à mettre en place pour la mesure de points lors d'un levé de réseaux par technique de positionnement GNSS. Cette instruction nommée ITCRAA-CH-20 est un document interne à COLAS et est imposée au chef de chantier.

Cette instruction doit être adaptée à la pose des marqueurs RFID de type T150 par le chef de chantier dans le respect des conditions suivantes :

- Pose de chaque marqueur sur la génératrice supérieure de la canalisation ;
- Pose de chaque marqueur à une profondeur inférieure à 1,50 m du niveau fini (correspondant à la limite de détection du lecteur) ;
- Angle d'inclinaison inférieur à 10 ° pour faciliter la détection du marqueur et améliorer la qualité du calcul de profondeur ;
- Pose des marqueurs tous les quinze mètres pour un réseau linéaire qui reste sensiblement à la même altitude ;
- En cas de courbe d'une longueur importante, pose des marqueurs au début et à la fin, ainsi que tous les deux mètres ;
- En cas de courbe d'une longueur réduite, pose seulement des marqueurs au début et à la fin de la courbe ;

- Pose d'un marqueur à chaque changement de direction qu'il soit altimétrique ou planimétrique ;
- Distance de pose entre marqueurs supérieure à un mètre afin de faciliter la détection et éviter la perturbation d'un marqueur par un autre ;
- Pose des marqueurs à une distance minimale de 35 cm d'un bâtiment plein correspondant au rayon de l'antenne circulaire du lecteur ELIOT ;
- Pas de pose d'un marqueur sous un élément métallique (détection impossible si le marqueur est situé en-dessous d'une canalisation existante en acier ou en fonte) ;
- Si la canalisation est métallique, pose du marqueur sur une cale intermédiaire, placée entre la canalisation et le marqueur.

III.1.1.3 Encodage des marqueurs

Pour pouvoir encoder les marqueurs, le chef de chantier doit disposer d'un smartphone, doté de la fonctionnalité NFC et de l'application ELIOT mobile. Un encodage simplifié et massif des marqueurs RFID peut être fait par une station d'encodage N-Code si l'entreprise en possède une. À défaut, le chef de chantier, par l'intermédiaire de son smartphone, doit rentrer dans les champs du marqueur les informations suivantes :

- Numéro de point ;
- Présence d'une cale ;
- État du réseau (neuf ou existant) ;
- Date de pose ;
- Matériau de la canalisation ;
- Dimension des conduites ;
- Nombre de fourreaux ;
- Position relative des différents fourreaux.

III.1.2 Géoréférencement des réseaux enterrés

Le géoréférencement de réseaux enterrés est effectué en deux phases, réalisées par le géomètre, une fois les travaux réalisés. La première étape est celle de la détection des marqueurs par le géomètre avec un lecteur. La seconde étape consiste à géoréférencer l'emplacement du marqueur en surface par un tachéomètre, dont la position est connue dans le système de référence géodésique grâce à des points de référence obtenus par GNSS.

III.1.2.1 Détection des marqueurs

La détection des marqueurs consiste à se positionner au-dessus de chaque marqueur. Une marque de peinture ou un repère est alors placé à l'emplacement du marqueur projeté sur le sol. Par la suite, la mesure de la profondeur de chaque marqueur et la collecte des informations contenues dans leur puce RFID sont alors possibles.

Pour pouvoir détecter les différents marqueurs avec le lecteur, nous procédons à la localisation planimétrique des marqueurs par « triangulation ». La triangulation permet de trouver une position en faisant l'intersection de différentes droites. Deux droites sont suffisantes dans notre cas pratique.

Ce principe est présenté par la figure n°16 suivante :

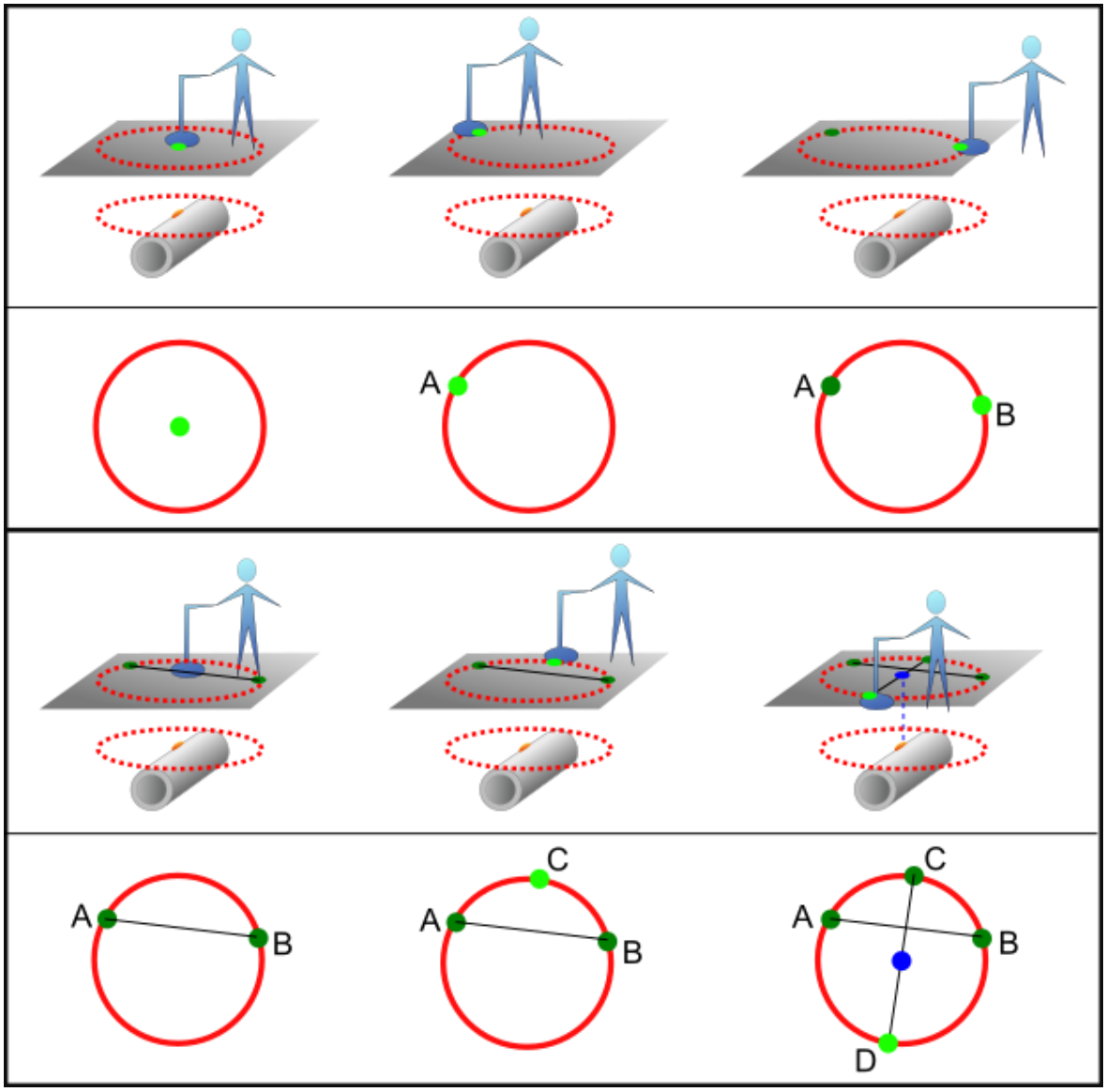

Figure 16 : Schéma présentant la méthodologie pour obtenir la position du marqueur

La première étape consiste à identifier la zone où se trouve un marqueur. Ensuite, nous pouvons adapter la puissance d'antenne du lecteur, cela nous permet de nous adapter à la profondeur adéquate du marqueur et donc d'affiner la recherche.

Nous cherchons ensuite le positionnement du marqueur RFID qui se trouve au centre du cercle constitué par les différentes pertes de signal. Avec quatre pertes de signal, nous sommes capables de constituer deux droites permettant de faire une intersection.

Le but est d'abord de trouver une première perte de signal, puis une deuxième dans une autre direction. Ces deux pertes de signal constituent une première droite. Avec une 3ème et une 4ème perte de signal, nous sommes capables de former une seconde droite. Ces deux dernières pertes de signal vont être prises de sorte à former une droite perpendiculaire à la première afin de garantir une intersection plus précise. Le point constituant l'intersection de ces deux droites représente l'emplacement du marqueur en surface. La mesure de la profondeur peut alors être faite.

III.1.2.2 Géoréférencement des marqueurs

Le géoréférencement des réseaux est fait en plusieurs étapes. Tout d'abord, les repères ou les points de peintures placés sur le sol sont géoréférencés dans le système général. Le géoréférencement s'effectue au tachéomètre positionné grâce à des repères géoréférencés par GNSS. Le géoréférencement ne peut être effectué par un levé GNSS NRTK, et ce, même si l'environnement ne présente pas de contraintes particulières.

En effet, la précision d'un levé au lecteur RFID, couplé à un positionnement GNSS différentiel NRTK (précision 2 à 5 cm), ne permet pas toujours d'assurer la classe A (précision de 10 cm). Par précaution, l'utilisation d'un tachéomètre doit être privilégiée, car la précision d'un levé au tachéomètre est meilleure qu'un levé avec une canne GNSS.

Les emplacements des points situés au sol sont alors connus. La prise en compte de la profondeur des réseaux permet le géoréférencement des réseaux par la suite.

Le géomètre lève aussi les éléments surfaciques, appelés affleurants, afin d'avoir tous les éléments nécessaires pour pouvoir dessiner les réseaux.

III.2 Choix de l'expérience

L'expérience souhaitée au départ a évolué tout au long de ce TFE, car les idées de recherche changent, mais aussi à cause de contraintes qui cadrent et posent des limites sur cette expérience.

Nous avons dû prendre en compte certains éléments comme le matériel ou encore le type de chantier le plus adapté à notre expérience souhaitée.

III.2.1 Matériel

Différentes contraintes de matériel et de coût ont dû être prises en compte. Nous avons donc eu à notre disposition :

- 20 marqueurs RFID ELIOT T150 de type « eau potable », pouvant être placés sur tout type de réseau, mais dont le nom sera indiqué dans la note 1 de chaque marqueur ;
- 10 cales en polystyrène et 10 sangles permettant de fixer au mieux l'ensemble marqueur + cale ;
- Un tachéomètre Topcon GT 1003 ;
- Un récepteur GNSS Stonex S 800 ;
- Un lecteur RFID ELIOT (location sur 2 jours).

III.2.2 Possibilités d'expérimentation

Un stage de fin d'études étant limité dans le temps, il fallait que la détection et le géoréférencement des marqueurs puissent se faire avant la fin du stage. Pour cela il fallait un chantier où les tranchées soient fermées avant la fin de mon stage.

Ne souhaitant pas acheter de lecteur RFID dans un premier temps, mon entreprise a donc préféré le louer. En concertation avec mon maître de stage, une location de deux jours du lecteur RFID nous a paru suffisante pour mettre en place mes expériences.

Il a fallu par conséquent planifier la meilleure période de location. Celle-ci devait prendre en compte que sur un chantier, il ne fallait pas interrompre les travaux réalisés par les ouvriers et également que ceux-ci ne devaient pas me déranger non plus.

Nous disposions pour notre expérience d'un nombre limité de marqueurs. Par conséquent, nous avons dû faire des choix qualitatifs plutôt que quantitatifs, notamment en termes de réseaux choisis.

Une quantité de 20 marqueurs limitait le nombre de réseaux à localiser. Il fallait trouver un chantier avec un grand nombre de réseaux différents au même endroit.

Le choix des canalisations en métal est intéressant pour vérifier si les cales (obligatoirement installées sur une canalisation métallique) permettent tout de même de détecter le marqueur associé.

D'autres types de réseaux se sont avérés être également intéressants à étudier, car la fibre, les réseaux électriques de haute tension ou basse tension peuvent potentiellement créer des perturbations électromagnétiques dégradant la mesure de profondeur.

D'autre part, il fallait vérifier si les marqueurs posés côte à côte pouvaient être facilement détectés ou non.

En revanche, il n'y a aucune contrainte concernant les appareils topographiques comme le tachéomètre et le récepteur GNSS qui sont toujours disponibles.

Il fallait choisir un chantier à proximité de l'agence pour éviter les problèmes éventuels de circulation et optimiser le temps de location.

Deux types de mesures devaient pouvoir être réalisées sur un même chantier, à savoir :

- La première sur réseaux neufs posés par notre entreprise. En effet, la mise en place de réseaux n'est pas systématique dans les travaux publics, parfois ce sont seulement des travaux surfaciques de voirie qui sont effectués ;
- La seconde sur des réseaux existants en activité (électrique, télécommunications) pour vérifier d'éventuels problèmes d'interférences électromagnétiques sur les mesures de profondeur obtenues grâce au lecteur RFID.

Le test de détection sur sol humide n'a pas pu être réalisé, car le mauvais temps ne s'est pas présenté pendant les deux jours de location.

III.2.3 Chantier choisi

Nous avons finalement choisi le chantier combinant au mieux tout ce qui a pu être détaillé précédemment. C'est donc le chantier sur la commune de Mont-Saint-Aignan en Seine-Maritime (76) au Nord-Ouest de la ville de Rouen, à cinq kilomètres de l'agence, qui a été retenu.

Ce chantier a pour objet la refonte de la rue Louis Pasteur, situé en face de la mairie de Mont-Saint-Aignan. La longueur du chantier est d'environ 100 mètres.

Il s'agit d'un chantier où l'utilisation directe par le chef de chantier d'une canne GNSS par méthode NRTK n'est pas possible comme l'illustre la figure n°17. En effet, de grands bâtiments couvrent la rue sur les deux côtés, ce qui a pour effet de créer des masques et même potentiellement des multi-trajets. C'était donc le cas approprié pour utiliser un dispositif RFID.

Il s'agit d'un chantier concerné par le géoréférencement de réseaux de télécommunication et de réseaux de basses tensions alimentant l'éclairage public. De plus, un sondage a été réalisé afin de connaître l'emplacement précis des réseaux existants, nous permettant de placer d'autres marqueurs sur des réseaux d'eau potable, de haute tension ou encore de gaz.

Figure 17 : Photographie du chantier choisi pour l'expérience

IV Expérimentation

IV.1 Présentation

L'objectif principal de cette expérimentation est d'obtenir des résultats convaincants permettant d'obtenir l'emplacement des réseaux suivant la classe de précision A.

Cette expérience consiste à appliquer le protocole général de la partie précédente en contexte réel sur un chantier spécifique. Une analyse poussée sera proposée comprenant l'aspect économique (coûts, temps), l'aspect technique (interférences électromagnétiques, précisions obtenues, possibilité d'installation sous terre), ainsi que l'aspect organisationnel.

En théorie, selon le constructeur, le système RFID ELIOT est conforme à la norme AFNOR NF S70-003 et permet une localisation des réseaux en classe A. En plus de la localisation, le système ELIOT est conforme aux exigences du géoréférencement en fouille fermée, précisées par la même norme. Le but dans cette partie est de mettre en place une expérience permettant de déterminer les précisions planimétrique et altimétrique de cette méthode, mais aussi de déterminer les limites de ce système.

Le nombre de marqueurs exigé par le mode opératoire ne sera pas respecté ici (20 étant la quantité à notre disposition). Il s'agit de placer des marqueurs sur différentes portions de réseaux. La pose des marqueurs va s'effectuer sur des endroits stratégiques intéressants à tester. Ici, la pose des marqueurs, contrairement à ce qui devrait être fait, ne sera pas faite par le chef de chantier, mais par moi-même.

Nous avons en notre possession un fond de plan, un plan des réseaux existants et le plan d'exécution du chantier.

L'expérience à réaliser sur le chantier se fragmente en deux temps :

- La pose des marqueurs RFID dans un premier temps ;
- Le levé des marqueurs et leur géoréférencement dans un second temps.

Une analyse d'après chantier et une interprétation des résultats seront ensuite effectuées.

IV.2 Travaux en tranchée ouverte

IV.2.1 Les réseaux existants

La rue Louis Pasteur est une rue comportant de nombreux réseaux existants. La pose de nouveaux réseaux va donc s'ajouter à ceux-ci. Nous avons en notre possession un plan des réseaux en classe A en provenance des différents exploitants de réseaux, mais la multitude de réseaux présents sur le lieu du chantier font qu'un sondage du terrain s'avère nécessaire afin de déterminer l'emplacement réel des réseaux (investigations complémentaires).

Par ailleurs, l'opération de sondage permet de déterminer la nature du terrain (matériaux, portance) et donc de prévoir les techniques de travail à mettre en œuvre lors de la réalisation du chantier.

Ici, le sondage a été fait par un camion excavateur-aspirateur. Les réseaux existants, illustrés par la figure n°18, présents sur le chantier sont au nombre de quatre :

- Le réseau haute tension appelée HTA composé de trois fourreaux tressés en PVC de 45 mm de diamètre chacun ;
- Le réseau Télécom placé dans un fourreau unique en PVC de diamètre 45 mm ;
- Le réseau Gaz situé dans une canalisation en acier de 150 mm de diamètre ;
- Le réseau AEP localisé dans une canalisation en fonte de 150 mm de diamètre.

Figure 18 : Emplacements des réseaux existants – photographie personnelle

IV.2.2 Pose des marqueurs

Pour des raisons de sécurité et d'intempéries, il est nécessaire de refermer les tranchées ouvertes au plus vite. La première étape est de poser les marqueurs à des endroits stratégiques intéressants.

IV.2.2.1 Encodage des marqueurs RFID

Ces marqueurs sont dotés de puces RFID pouvant contenir des informations. La première étape est d'y entrer des informations. L'application ELIOT mobile va permettre d'encoder ces différents marqueurs. Il est nécessaire d'activer la fonctionnalité NFC du smartphone.

Ces informations sont rentrées dans les deux champs modifiables de la puce RFID. Ceux-ci n'ont pas été bridés par un mot de passe et pourront par conséquent être potentiellement modifiés dans le futur.

Le premier champ comporte : le numéro du point, la présence d'une cale, l'état du réseau (neuf ou existant), la date de pose.

Le second champ comporte quant à lui : le type de réseau, le matériau des fourreaux ou de la canalisation, les dimensions des conduites en millimètres.

Par exemple, le premier marqueur a été encodé de la manière suivante, visible sur la figure n°19 :

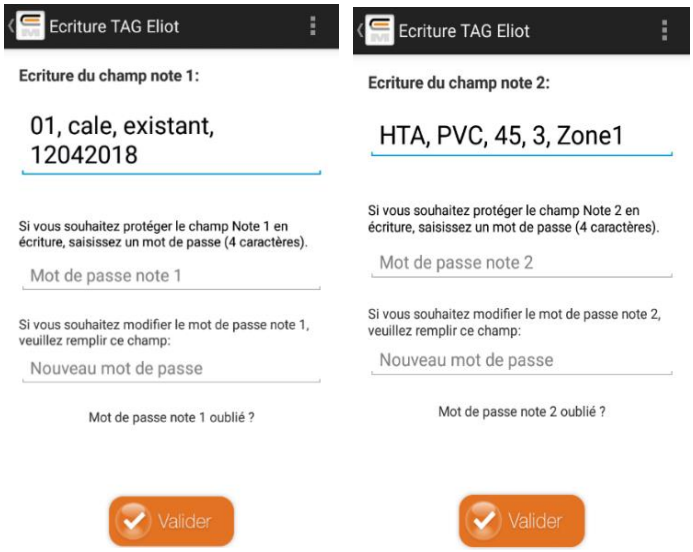

Figure 19 : Capture d'écran de l'écriture des deux champs « note » sur l'application ELIOT

IV.2.2.2 Pose et mesure des marqueurs

En fin de compte, dix-huit marqueurs ont été posés :

- Quatre marqueurs sur chaque type de réseaux existants : HTA, Télécommunication, Gaz et AEP (exemple figure n°20).
- Les quatorze autres marqueurs ont donc été placés sur les nouveaux réseaux créés de types télécommunication ou basse tension (exemple figure n°21)

Tous ces marqueurs ont été placés à l'horizontale pour que la transmission des données et le calcul de la profondeur d'enfouissement soient optimisés. Les sangles ont été utilisées pour les marqueurs placés sur les réseaux existants car ils sont poussiéreux et cela a pour effet de réduire les performances adhésives seules du marqueur. Les dix-huit marqueurs ont été placés à six dates différentes en fonction du rythme d'avancement du chantier.

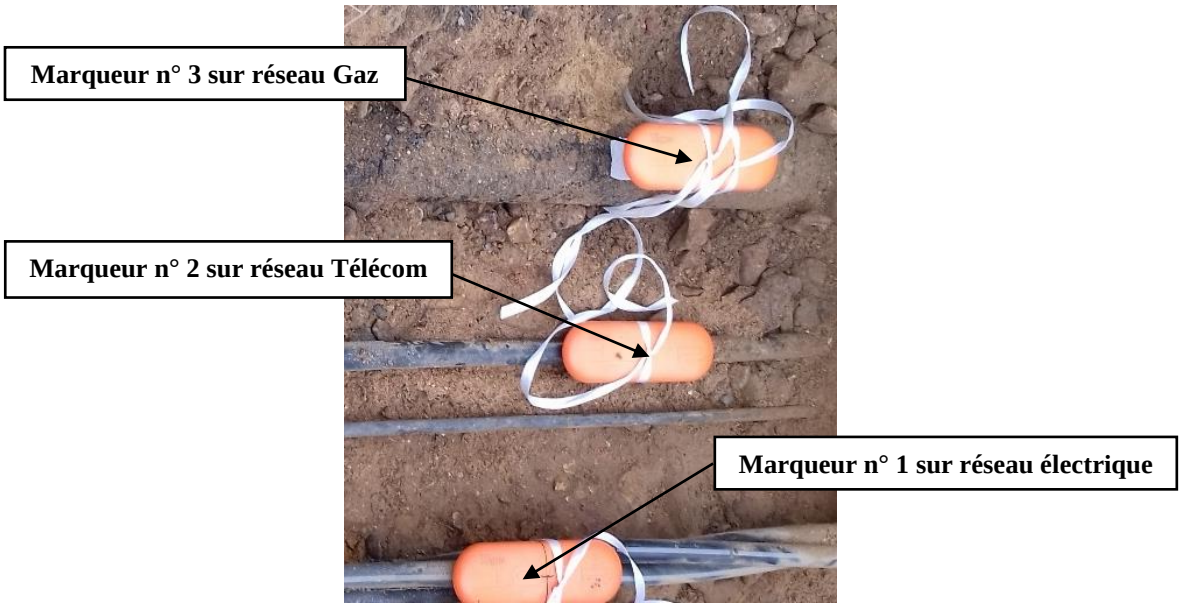

Figure 20 : Emplacements des trois premiers marqueurs RFID sur réseaux existants

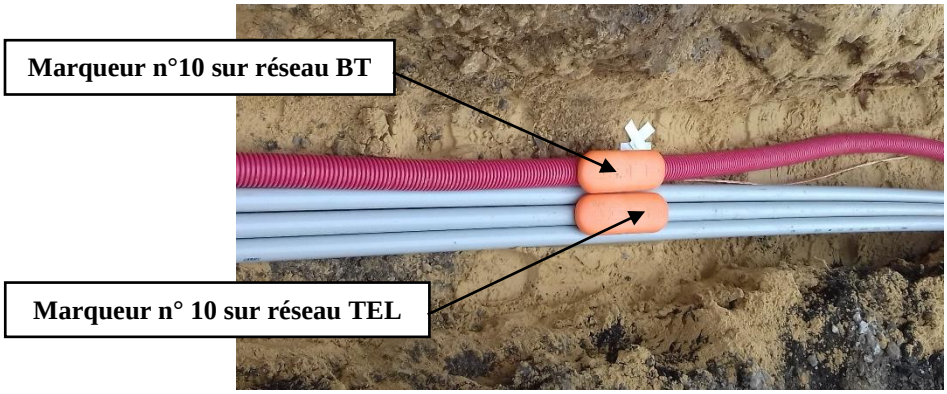

Figure 21 : Emplacements des marqueurs n°9 et n°10 sur réseaux neufs

Afin de déterminer la localisation la plus précise possible de chaque marqueur placé en terre, on mesure leur positionnement au tachéomètre. Ces mesures constituent des mesures de contrôle pouvant être comparés aux mesures effectuées en tranchée fermée.

Le tachéomètre est positionné par relèvement en station libre grâce à des repères géoréférencés. Ces repères ont été mesurés préalablement par positionnement GNSS différentiel NRTK (précision 3D de 2 à 5 centimètres sur chaque point).

La méthode NRTK est une méthode de levé et non pas une méthode de mise en place de points de canevas. En travaux publics, l'utilisation de cette méthode sert aussi à contrôler les points de canevas issus d'un plan effectué par un autre cabinet.

Les coordonnées planimétriques sont déterminées dans le système RGF93 en projection CC50 et l'altitude est obtenue dans le système NGF-IGN69.

La méthode du positionnement de la station par station libre a été choisie, car il s'agit d'une méthode intéressante lorsque l'on revient plusieurs fois sur le même chantier. C'est une méthode habituellement utilisée dans le domaine du BTP, dans la quasi-totalité des chantiers de travaux publics.

Les mesures au tachéomètre constitueront les mesures de contrôles nécessaires au calcul de la classe de précision du levé.

Deux mesures sont nécessaires afin de pouvoir déterminer une position plus précise du marqueur. En effet, si l'on mesure un point sur la génératrice supérieure d'une canalisation et que l'on pose ensuite le marqueur, il y a quelques différences, car il est impossible de bien superposer le marqueur sur le point.

Pour remédier à ce problème, une première mesure est alors effectuée sur l'endroit de la canalisation où le marqueur sera posé. La composante altimétrique de cette mesure sera retenue et les composantes planimétriques seront rejetées. On peut alors poser le marqueur sur le point stratégique dont l'altimétrie a été relevée au tachéomètre.

Une seconde mesure est ensuite prise au centre, sur le dessus du marqueur afin de connaitre les coordonnées planimétriques précises du marqueur.

Grâce à ces deux points mesurés au tachéomètre, nous sommes en mesure de déterminer une position plus précise de la génératrice supérieure située juste en dessous du marqueur.

La figure n°22 illustre cette méthode de prise de mesures permettant de déterminer une position plus précise des différents marqueurs.

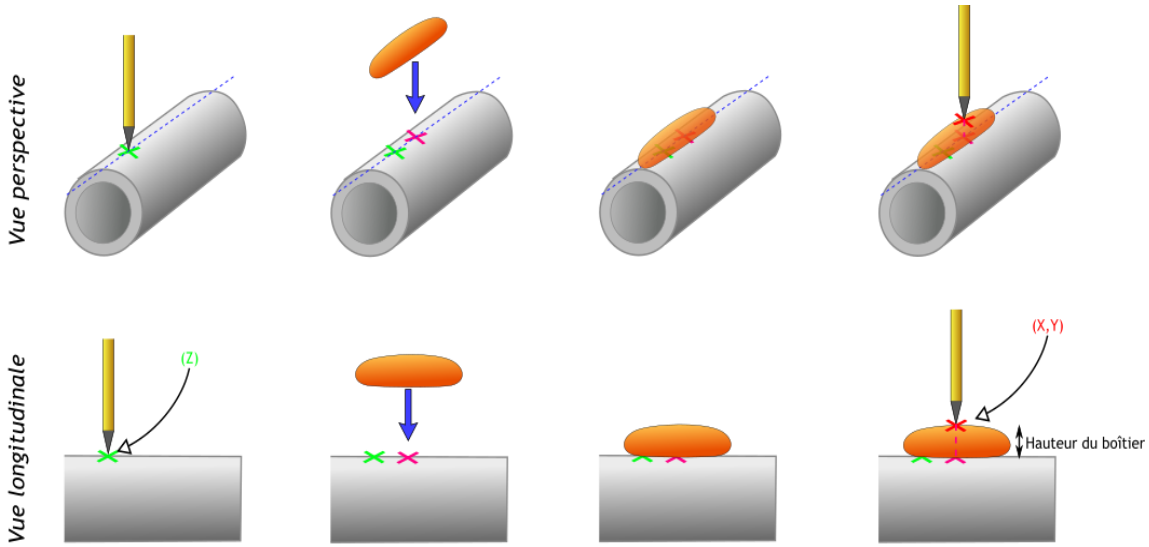

Figure 22 : Schéma explicatif permettant d'obtenir une position plus précise des marqueurs

IV.3 Détection et géoréférencement en tranchée fermée

Le stage est limité dans le temps et n'est pas corrélé à l'évolution de ce chantier. Par conséquent, par manque de temps, la détection et le géoréférencement n'ont pas été faits à la fin du chantier. Les mesures ont été faites sur un sol constitué de tout-venant à défaut d'être fait sur la chaussée finie.

IV.3.1 Détection des marqueurs

Nous nous sommes positionnés successivement au-dessus de chaque marqueur. Nous avons procédé à la localisation des marqueurs par « triangulation ». On peut ensuite effectuer la mesure de profondeur et enregistrer les données contenues dans la puce RFID de chaque marqueur dans une base de données. La détection d'un marqueur est illustrée par la figure n°23.

Figure 23 : Détection du marqueur au lecteur RIFD ELIOT

Une marque de peinture a alors été placée à l'emplacement du lecteur comme illustré par la figure n°24. Nous avons noté le type de réseau à côté de cette marque afin de ne pas confondre nos différentes marques. Par exemple, nous avons noté FT pour les réseaux de télécommunication comme le montre l'image suivante.

Figure 24 : Marque de peinture représentant l'emplacement du marqueur détecté au lecteur

IV.3.2 Géoréférencement du levé

Nous avons ensuite mesuré au tachéomètre le positionnement des 18 marques de peinture. Pour cela, nous avons positionné nos deux stations par station libre grâce à des repères géoréférencés. Les repères utilisés sont les mêmes que ceux utilisés lors des mesures des marqueurs en tranchée ouverte. Le géoréférencement des marques de peinture est présenté par la figure n°25.

Figure 25 : Géoréférencement du marquage au tachéomètre

Les emplacements des points situés au sol sont alors géoréférencés en planimétrie dans le système RGF93 en projection CC50 et en altimétrie dans le système NGF-IGN69.

IV.4 Analyse des résultats

Dans cette partie, l'objectif est de déterminer la classe de précision d'un levé de réseaux fait par lecteur RFID et tachéomètre en tranchée fermée. La classe de précision de ce levé va être déterminée selon le modèle standard issu de l'arrêté du 16 septembre 2003. Nous nous attendons à obtenir une solution dont la précision serait compatible avec la classe A.

IV.4.1.1 Recueil et assemblage des données

IV.4.1.2 Données en tranchée fermée

Le géoréférencement des marqueurs RFID a été effectué en tranchée fermée.

Le tachéomètre nous a permis de géoréférencer les points en surface. Le lecteur nous a permis d'avoir la profondeur d'enfouissement du marqueur. Les points n°2 et n°11 sont situés sur des canalisations en métal et par conséquent la prise en compte de la cale de 8 cm est indispensable dans la mesure de profondeur. Les coordonnées est (E), nord (N) et l'altitude (H) ont été obtenues au tachéomètre et représentent l'endroit où est placé le lecteur au-dessus du marqueur. La profondeur a été obtenue par le lecteur. Cette profondeur peut être soustraite à l'altitude de la surface et permet d'obtenir l'altitude du marqueur.

Tag	E (m)	N (m)	H (m)
1	1 560 906,467	9 141 443,647	135,697
2	1 560 907,167	9 141 443,574	135,650
3	1 560 906,895	9 141 443,465	135,679
4	1 560 907,369	9 141 438,858	135,361
5	1 560 912,136	9 141 422,257	135,052
6	1 560 912,391	9 141 422,286	135,125
7	1 560 916,480	9 141 410,964	134,685
8	1 560 916,607	9 141 411,007	134,634
9	1 560 921,596	9 141 396,954	133,882
10	1 560 921,673	9 141 396,979	133,891
11	1 560 918,233	9 141 406,535	134,362
12	1 560 928,137	9 141 379,891	132,758
13	1 560 932,642	9 141 368,671	132,066
14	1 560 938,138	9 141 356,603	131,235
15	1 560 945,306	9 141 342,445	130,092
16	1 560 959,600	9 141 317,905	127,649
17	1 560 961,170	9 141 315,875	127,403
18	1 560 969,870	9 141 301,724	125,910

Tableau 9 : Coordonnées des marqueurs, obtenues au lecteur et au tachéomètre

Les informations RFID contenues dans la puce RFID de chaque marqueur ont été enregistrées sans problème et ont été récupérées dans une base de données. Les résultats obtenus sont compilés dans l'Annexe 1.

IV.4.1.3 Données en tranchée ouverte

En fouille ouverte, lors de la pose des marqueurs RFID, des mesures de contrôle ont été prises sur chaque marqueur. Ces mesures de contrôle ont été obtenues à partir de deux mesures prises au tachéomètre au-dessous et au-dessus de chaque marqueur. Le calcul des coordonnées de chaque marqueur se trouve dans l'Annexe 2.

Nous obtenons finalement la position de l'endroit de la génératrice supérieure où le marqueur est positionné. Les coordonnées planimétriques des points ont été obtenues dans le système de référence RGF 93 en projection CC50 et la coordonnée altimétrique a été obtenue dans le système NGF-IGN69. Les mesures de contrôle sont répertoriées dans le tableau suivant :

Tag	E (m)	N (m)	H (m)
1	1 560 906,442	9 141 443,581	135,722
2	1 560 907,096	9 141 443,531	135,719
3	1 560 906,827	9 141 443,457	135,637
4	1 560 907,319	9 141 438,803	135,300
5	1 560 912,152	9 141 422,314	135,085
6	1 560 912,272	9 141 422,373	135,086
7	1 560 916,539	9 141 410,928	134,636
8	1 560 916,653	9 141 410,985	134,648
9	1 560 921,530	9 141 397,016	133,835
10	1 560 921,627	9 141 397,059	133,840
11	1 560 918,210	9 141 406,540	134,291
12	1 560 928,109	9 141 379,964	132,735
13	1 560 932,656	9 141 368,605	132,020
14	1 560 938,210	9 141 356,551	131,176
15	1 560 945,246	9 141 342,380	130,018
16	1 560 959,597	9 141 317,988	127,582
17	1 560 961,119	9 141 315,883	127,338
18	1 560 969,826	9 141 301,686	125,965

Tableau 10 : Coordonnées des marqueurs RFID, obtenues au tachéomètre en tranchée ouverte

IV.4.2 Détermination de la classe de précision interne

Deux classes de précisions sont à déterminer : la classe de précision planimétrique et la classe de précision altimétrique. Nous allons ici voir si les trois conditions de l'arrêté du 16 septembre 2003 sont remplies pour chacune de ces classes de précision. Les réseaux mesurés sont des réseaux rigides et des réseaux souples. Bien qu'ils s'agissent de deux types de réseaux distincts soumis à deux classes de précisions différentes, nous allons ici considérer que tous les réseaux sont rigides afin d'avoir un seul échantillon de points.

IV.4.2.1 Classe de précision interne planimétrique

Le calcul des écarts de positions planimétriques est présenté dans le tableau suivant :

	Coordonnées		Contrôle		Résidus		
TAG	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	EX (cm)	EY (cm)	EP (cm)
1	1 560 906,467	9 141 443,647	1 560 906,442	9 141 443,581	2,5	6,6	7,1
2	1 560 907,167	9 141 443,574	1 560 907,096	9 141 443,531	7,1	4,3	8,3
3	1 560 906,895	9 141 443,465	1 560 906,827	9 141 443,457	6,8	0,8	6,8
4	1 560 907,369	9 141 438,858	1 560 907,319	9 141 438,803	5,0	5,5	7,4
5	1 560 912,136	9 141 422,257	1 560 912,152	9 141 422,314	-1,6	-5,7	5,9
6	1 560 912,391	9 141 422,286	1 560 912,272	9 141 422,373	11,9	-8,7	14,7
7	1 560 916,480	9 141 410,964	1 560 916,539	9 141 410,928	-5,9	3,6	6,9
8	1 560 916,607	9 141 411,007	1 560 916,653	9 141 410,985	-4,6	2,2	5,1
9	1 560 921,596	9 141 396,954	1 560 921,530	9 141 397,016	6,6	-6,2	9,1
10	1 560 921,673	9 141 396,979	1 560 921,627	9 141 397,059	4,6	-8,0	9,2
11	1 560 918,233	9 141 406,535	1 560 918,210	9 141 406,540	2,3	-0,5	2,4
12	1 560 928,137	9 141 379,891	1 560 928,109	9 141 379,964	2,8	-7,3	7,8
13	1 560 932,642	9 141 368,671	1 560 932,656	9 141 368,605	-1,4	6,6	6,7
14	1 560 938,138	9 141 356,603	1 560 938,210	9 141 356,551	-7,2	5,2	8,9
15	1 560 945,306	9 141 342,445	1 560 945,246	9 141 342,380	6,0	6,5	8,8
16	1 560 959,600	9 141 317,905	1 560 959,597	9 141 317,988	0,3	-8,3	8,3
17	1 560 961,170	9 141 315,875	1 560 961,119	9 141 315,883	5,1	-0,8	5,2
18	1 560 969,870	9 141 301,724	1 560 969,826	9 141 301,686	4,4	3,8	5,8

Tableau 11 : Calcul des écarts de positions planimétriques

Pour le tachéomètre, nous pouvons considérer une précision maximale d'1 cm sur chaque point. De plus, le constructeur annonce une précision planimétrique de 3 cm pour son lecteur ELIOT. Cependant, les résidus planimétriques sont de l'ordre de plusieurs centimètres. Ils varient de 2,4 cm à 14,7 cm. Ces valeurs sont plus grandes que les précisions annoncées par le constructeur.

Cette perte de précision peut s'expliquer par le fait qu'un tel matériel nécessite quelques années d'expérience afin d'avoir la bonne méthodologie pour optimiser ses relevés.

Dans tous les cas, des écarts planimétriques centimétriques sont suffisants pour un levé de réseau en classe A (précision de 10 cm).

À partir de ces écarts planimétriques, nous pouvons déterminer l'écart moyen en position en cm. Pour cela, il suffit de calculer la moyenne des écarts planimétriques. Nous obtenons l'écart moyen en position suivant :

$$E_{MoyPos} = 7{,}5 \text{ cm}$$

Cet écart moyen en position doit être inférieur à la première condition :

$$\boldsymbol{T0} = [\boldsymbol{xx}].(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2.2^2}})$$

T0 étant d'une valeur de 11,0 cm, l'écart moyen en position est inférieur à cette valeur donc la première condition est validée.

La deuxième condition indique que le nombre d'écarts dépassant le seuil T1 ne doit pas excéder N'.

$$\boldsymbol{T1} = \boldsymbol{k}.[\boldsymbol{xx}].(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2.2^2}})$$

Ici N = 18, ce qui correspond au nombre de marqueurs. N' est l'entier immédiatement supérieur à la formule suivant :

$$\mathbf{0{,}01}.\boldsymbol{N} + \mathbf{0{,}232}.\sqrt{\boldsymbol{N}}$$

On obtient un nombre N' égal à 2.

Or, ici, T1 est égal à 26,7 cm. L'écart maximal est de 14,7 cm. Par conséquent, la deuxième condition est validée.

La dernière condition indique qu'aucun écart moyen en position ne doit excéder T2 :

$$\boldsymbol{T2} = \mathbf{1{,}5}.\boldsymbol{k}.[\boldsymbol{xx}].(\mathbf{1} + \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{2.2^2}})$$

Cette condition est aussi respectée.

EMoyPos (cm)	[xx] (cm)	T0 (cm)	Validation T0	T1 (cm)	Validation T1	T2 (cm)	Validation T2
7,5	9,8	11,0	Oui	26,7	Oui	40	Oui

Tableau 12 : Validation de la classe A en planimétrie

IV.4.2.2 Classe de précision interne altimétrique

Le tableau n°13 présente le calcul des écarts de positions altimétriques :

	Mesure	Contrôle	Résidus
TAG	H (m)	H (m)	EH (cm)
1	135,697	135,722	2,5
2	135,650	135,719	6,9
3	135,679	135,637	4,2
4	135,361	135,300	6,1
5	135,052	135,085	3,3
6	135,125	135,086	3,9
7	134,685	134,636	4,9
8	134,634	134,648	1,4
9	133,882	133,835	4,7
10	133,891	133,840	5,1
11	134,362	134,291	7,1
12	132,758	132,735	2,3
13	132,066	132,020	4,6
14	131,235	131,176	5,9
15	130,092	130,018	7,4
16	127,649	127,582	6,7
17	127,403	127,338	6,5
18	125,910	125,965	5,5

Tableau 13 : Calcul des écarts de positions altimétriques

Les résidus sont de l'ordre de plusieurs centimètres. L'écart altimétrique maximal est de 7,4 cm tandis que l'erreur minimale est de 1,4 cm. Ces valeurs sont très correctes quand on sait que la précision annoncée par le constructeur est d'environ 10 cm. Cela peut s'expliquer par la prise de mesure sur un terrain recouvert de tout-venant où la hauteur sur le réseau est plus faible que sur un même terrain recouvert d'enrobé. Les mesures ont été prises par beau temps, dans de bonnes conditions et non pas par temps de pluie, ce qui pourrait expliquer aussi des valeurs aussi correctes.

Ensuite, nous pouvons effectuer le même processus qu'avec la classe de précision planimétrique, calculer les différents seuils et valider ou non les différentes conditions.

À partir des écarts altimétriques, nous pouvons déterminer l'écart moyen en position en cm. Pour cela, il suffit de calculer la moyenne des écarts altimétriques. Nous obtenons l'écart moyen en position suivant :

$$E_{MoyPos} = 4{,}9 \text{ cm}$$

Ici, les trois conditions sont validées.

EMoyPos (cm)	[xx] (cm)	T0 (cm)	Validation T0	T1 (cm)	Validation T1	T2 (cm)	Validation T2
4,9	7,3	8,2	**Oui**	26,6	**Oui**	40	**Oui**

Tableau 14 : Validation de la classe A en altimétrie

IV.4.2.3 Conclusion expérimentale

Classe	EMoyPos (cm)	[xx] (cm)	T0 (cm)	Validation T0	T1 (cm)	Validation T1	T2 (cm)	Validation T2
Planimétrique	7,5	9,8	11,0	**Oui**	26,7	**Oui**	40	**Oui**
Altimétrique	4,9	7,3	8,2	**Oui**	26,6	**Oui**	40	**Oui**

Tableau 15 : Validation de la classe A en altimétrie et en planimétrie

Le système ELIOT répond parfaitement aux exigences de la norme NF S70-003 et à sa classe A. Par conséquent, l'utilisation de ce système est possible et présente une alternative intéressante à toutes les méthodes actuellement utilisées. En revanche, l'utilisation de ce système doit respecter des conditions rigoureuses. En effet, l'utilisation d'un récepteur GNSS en mode NRTK est à éviter pour le lever de chaque point en surface, car sa précision peut aller jusqu'à 5 cm.

L'utilisation d'un tachéomètre est à privilégier, car sa précision sur chaque point est de l'ordre du centimètre ou même millimétrique. Le respect de la méthodologie de positionnement par le lecteur est extrêmement important ; c'est en effet ce procédé qui permet d'obtenir le meilleur positionnement possible.

Comme prévu, la récupération des données RFID a été faite avec succès, l'utilisation des cales en polystyrène sur les deux canalisations en métal (fonte et acier) a permis de réaliser des mesures sans perturbations électromagnétiques. Nous avons placé 18 marqueurs et 2 cales en polystyrènes sur ce site. Un marqueur coûte environ 15 euros l'unité et une cale environ 1 euro. L'utilisation de ce système a couté environ 270 euros. Un marqueur est placé tous les 15 m en ligne droite, ce qui correspond à 1 euro supplémentaire par mètre de canalisation, ce qui n'est pas excessif.

Il n'y a eu aucun problème concernant l'installation sous terre. L'encodage de chaque marqueur a pris environ 1 minute par marqueur ce qui fait un temps de 20 minutes à prendre en compte.

Ce chantier a été géoréférencé à environ 75 % par cette méthode. Les 25 % restants ont été géoréférencés au récepteur GNSS seul.

Conclusion

Ce travail de fin d'études s'est déroulé au sein de l'agence de travaux publics COLAS. L'aspect le plus important de ce travail de recherche était de pouvoir trouver une solution permettant de géoréférencer les réseaux compatibles avec la loi et avec une agence de travaux publics. Cette solution devait rentrer dans un cadre juridique : avec la réforme anti-endommagements de 2012, la norme NF S70-003, l'arrêté du 16 septembre 2003 et les certifications de 2018, mais aussi dans le cadre du fonctionnement d'une agence de travaux publics.

Le géoréférencement des réseaux, qui doit obéir à une certaine précision en fonction du type de réseaux, est effectué par le chef de chantier au récepteur GNSS en tranchée ouverte. Seulement quand des contraintes (utilisation d'un récepteur GNSS impossible, manque de temps) empêchent cette méthode de levé, il faut trouver une autre solution.

Celle-ci devait être compatible avec la classe A, donc une incertitude maximale de 40 cm pour les réseaux rigides ; être une solution alternative, utilisable en tranchée fermée, permettant de faire gagner du temps au chef de chantier et au géomètre.

Après avoir étudié différents dispositifs, nous nous sommes orientés vers le dispositif RFID ELIOT. Ce système permet au chef de chantier de placer des marqueurs contenant des informations sur les réseaux, en fouille ouverte et d'être détectés en tranchée fermée par le géomètre. La détection permet d'enregistrer les informations préalablement écrites dans les marqueurs et de mesurer la profondeur d'enfouissement. Des points de repère sont ensuite placés et géoréférencés par positionnement GNSS. Le tachéomètre permet ensuite de mesurer chaque marqueur et géoréférencer le levé des réseaux.

Nous avons décrit une méthodologie générale de mise en place d'un tel dispositif en travaux publics et notamment dans l'agence COLAS. Nous avons expliqué le moment d'utilisation d'un tel dispositif, un mode opératoire de pose des marqueurs par le chef de chantier, la détection et le géoréférencement des marqueurs par le géomètre et l'importance d'un bon levé pour pouvoir effectuer le plan de récolement géoréférencé.

Nous avons ensuite fait une expérience sur un chantier spécifique. Nous avons pu mesurer des réseaux existants et neufs. Il y avait toute sorte de réseaux (électriques, eau et télécommunication) et plusieurs types de canalisations (fonte, PVC et acier) intéressantes pour le traitement des interférences.

Nous avons effectué des mesures de chaque marqueur en tranchée ouverte au tachéomètre, puis avons fait des mesures au lecteur RFID et au tachéomètre de ces mêmes marqueurs en tranchée fermée. Ensuite, nous avons pu comparer les coordonnées de chacun des points, aussi bien en altimétrie qu'en planimétrie et vérifier si cette méthode nous permettait de rentrer dans la classe A. Nous avons pour cela utilisé le modèle standard de l'arrêté du 16 septembre 2003 permettant de calculer la classe de précision d'un levé.

Finalement, la méthode retenue permet le géoréférencement des réseaux en classe A avec une classe de précision de mois de 10 cm et présente une bonne alternative aux méthodes de levé en tranchée ouverte.

A l'avenir, il serait intéressant de déployer cette méthode dans une agence de travaux publics afin de pouvoir géoréférencer les réseaux à tous les coups. Il est intéressant de déployer la pose de ces marqueurs RFID dans le sol aussi pour d'autres domaines, en effet, de nos jours, le SIG monte en puissance. Ces marqueurs permettent de contenir de nombreuses informations très utiles pour les systèmes d'informations géographiques ou encore pour le BIM infrastructure.

Il serait aussi intéressant d'étudier le dispositif du constructeur 3M qui dispose de boules-marqueurs RFID. Mais, celles-ci devant être placées à côté de la canalisation, la précision sera-t-elle conforme à un positionnement des réseaux en classe A ?

Je connaissais déjà à travers mes stages des années précédentes le travail en travaux publics. Cependant, ce travail de fin d'études fut une toute nouvelle façon de travailler pour moi avec la mise en place d'un projet complet au sein d'une entreprise et le développement de mes connaissances de chantier et plus particulièrement des réseaux.

Ce travail de fin d'études m'a éclairé quant à mon avenir, à savoir certainement commencer à exercer mon métier de géomètre dans une agence de Travaux Publics. Je pense également avoir les capacités requises pour insuffler un nouvel élan et de nouvelles idées.

Bibliographie

Sites web

3M. 3M Science Applied for life, [en ligne]. Disponible sur : <www.3mfrance.fr>. (Consulté le 12/05/2018)

CNRFID. Le CNRFID, de l'innovation au déploiement de solutions RFID et NFC, [en ligne]. Disponible sur : <www.centrenational-rfid.com>. (Consulté le 12/05/2018)

D3E électronique. Fournisseur d'innovations, [en ligne]. Disponible sur : <www.d3e.fr>. (Consulté le 12/05/2018)

mds. Le spécialiste du géoradar "Sols & Structures", [en ligne]. Disponible sur : <www.mds-paris.com>. (Consulté le 12/05/2018)

RESO 3D. L'application de terrain RESO 3D, [en ligne]. Disponible sur : <www.reso3d.com>. (Consulté le 14/05/2018)

ryb. Leader dans la fabrication et la fourniture de réseaux polyéthylène, [en ligne]. Disponible sur : <www.rybbtp.fr>. (Consulté le 05/05/2018)

Construire sans détruire. Leader dans la fabrication et la fourniture de réseaux polyéthylèneLes exploitants de tous les réseaux en 1 clic, [en ligne]. Disponible sur : <www.reseaux-et-canalisations.ineris.fr>. (Consulté le 21/05/2018)

Textes juridiques

Arrêté du 15 février 2012 pris en application du chapitre IV du titre V du livre V du code de l'environnement relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.

Arrêté du 16 septembre 2003 portant sur les classes de précision applicables aux catégories de travaux topographiques réalisés par l'État, les collectivités locales et leurs établissements publics ou exécutés pour leur compte.

Arrêté du 19 février 2013 encadrant la certification des prestataires en géoréférencement et en détection des réseaux, et mettant à jour des fonctionnalités du téléservice « réseaux-et-canalisations.gouv.fr ».

Norme AFNOR NF S70-003-3, 23 mai 2014, « Travaux à proximité des réseaux — Partie 3 : Géoréférencement des ouvrages ».

Documentation technique

Instruction ITCRAA-CH-20. Delaborde S. & Designolle JL.. *Relevés topographiques à la canne GPS — GNSS*. COLAS, 2017.

Dossier technique — Technologie ELIOT. *Système de détection, de localisation et d'identification des réseaux enterrés*. ELIOT Innovative Solutions, 2013.

Plaquette ELIOT. *Solutions connectées pour le monitoring des ouvrages en terre*. ELIOT Innovative Solutions.

Table des annexes

Annexe 1 Informations contenues dans les marqueurs RFID 62
Annexe 2 Coordonnées des marqueurs provenant de deux mesures au tachéomètre 63

Annexe 1
Informations contenues dans les marqueurs RFID

Tag	Type de réseau	État du réseau	Matériau	Diamètre (mm)	Nombre de fourreaux	Zone du marqueur	Date de pose
1	HTA	EXISTANT	PVC	45	3	1	12/04/2018
2	TEL	EXISTANT	PVC	45	1	1	12/04/2018
3	GAZ	EXISTANT	Acier	150	1	1	12/04/2018
4	TEL	NEUF	PVC	45	3	2	12/04/2018
5	TEL	NEUF	PVC	45	3	3	12/04/2018
6	BT	NEUF	PVC	63	1	3	12/04/2018
7	TEL	NEUF	PVC	45	3	4	13/04/2018
8	BT	NEUF	PVC	63	1	4	13/04/2018
9	TEL	NEUF	PVC	45	3	5	13/04/2018
10	BT	NEUF	PVC	63	1	6	13/04/2018
11	AEP	EXISTANT	FONTE	150	1	6	13/04/2018
12	TEL	NEUF	PVC	45	3	7	17/04/2018
13	TEL	NEUF	PVC	45	3	8	17/04/2018
14	TEL	NEUF	PVC	45	3	9	17/04/2018
15	TEL	NEUF	PVC	45	3	10	17/04/2018
16	TEL	NEUF	PVC	45	3	11	18/04/2018
17	BT	NEUF	PVC	63	2	12	19/04/2018
18	TEL	NEUF	PVC	45	3	13	20/04/2018

Annexe 2
Coordonnées des marqueurs provenant de deux mesures au tachéomètre

	Coordonnées du bas du marqueur			Coordonnées centrées sur le haut du marqueur			Position du marqueur		
Tag	***E faux***	***N faux***	***H vrai***	***E vrai***	***N vrai***	***H faux***	***E***	***N***	***H***
1	1 560 906,429	9 141 443,591	135 722	1 560 906,442	9 141 443,581	135 754	1 560 906,442	9 141 443,581	135 722
2	1 560 907,100	9 141 443,544	135 719	1 560 907,096	9 141 443,531	135 832	1 560 907,096	9 141 443,531	135 719
3	1 560 906,807	9 141 443,507	135 637	1 560 906,827	9 141 443,457	135 669	1 560 906,827	9 141 443,457	135 637
4	1 560 907,300	9 141 438,730	135 300	1 560 907,319	9 141 438,803	135 359	1 560 907,319	9 141 438,803	135 300
5	1 560 912,141	9 141 422,332	135 085	1 560 912,152	9 141 422,314	135 124	1 560 912,152	9 141 422,314	135 085
6	1 560 912,273	9 141 422,366	135 086	1 560 912,272	9 141 422,373	135 113	1 560 912,272	9 141 422,373	135 086
7	1 560 916,538	9 141 410,922	134 636	1 560 916,539	9 141 410,928	134 668	1 560 916,539	9 141 410,928	134 636
8	1 560 916,645	9 141 410,964	134 648	1 560 916,653	9 141 410,985	134 674	1 560 916,653	9 141 410,985	134 648
9	1 560 921,536	9 141 396,997	133 835	1 560 921,530	9 141 397,016	133 870	1 560 921,530	9 141 397,016	133 835
10	1 560 921,646	9 141 397,010	133 840	1 560 921,627	9 141 397,059	133 880	1 560 921,627	9 141 397,059	133 840
11	1 560 917,947	9 141 406,410	134 291	1 560 918,210	9 141 406,540	134 404	1 560 918,210	9 141 406,540	134 291
12	1 560 928,113	9 141 379,948	132 735	1 560 928,109	9 141 379,964	132 777	1 560 928,109	9 141 379,964	132 735
13	1 560 932,640	9 141 368,615	132 020	1 560 932,656	9 141 368,605	132 049	1 560 932,656	9 141 368,605	132 020
14	1 560 938,202	9 141 356,551	131 176	1 560 938,210	9 141 356,551	131 211	1 560 938,210	9 141 356,551	131 176
15	1 560 945,238	9 141 342,401	130 018	1 560 945,246	9 141 342,380	130 050	1 560 945,246	9 141 342,380	130 018
16	1 560 959,608	9 141 317,979	127 582	1 560 959,597	9 141 317,988	127 623	1 560 959,597	9 141 317,988	127 582
17	1 560 961,115	9 141 315,880	127 338	1 560 961,119	9 141 315,883	127 380	1 560 961,119	9 141 315,883	127 338
18	1 560 969,822	9 141 301,680	125 965	1 560 969,826	9 141 301,686	125 994	1 560 969,826	9 141 301,686	125 965

Liste des figures

Figure 1 : Application RESO 3D — Crédit : www.reso3d.com 17
Figure 2 : Géoradar UtilityScan — Crédit : www.mds-paris.com 18
Figure 3 : Détecteur de réseaux RD8000 — Crédit : www.d3e.fr 19
Figure 4 : Boule-marqueur RF — Crédit : www.3mfrance.fr 20
Figure 5 : Boule-marqueur RFID de type eau potable — Crédit : www.3mfrance.fr 21
Figure 6 : Marqueur RFID ELIOT — Crédit : www.rybbtp.fr 21
Figure 7 : Schéma d'un transpondeur RFID 22
Figure 8 : Places de la RFID dans le spectre radio — Crédit : www.centrenational-rfid.com 26
Figure 9 : Intérieur du marqueur RFID ELIOT T150 – Photographie personnelle 27
Figure 10 : Marqueurs T150 J (à gauche) et T250 (à droite) — Crédit : Plaquette ELIOT 28
Figure 11 : Cale en polystyrène ELIOT 29
Figure 12 : Schéma présentant l'émission du champ électromagnétique d'un marqueur RFID 30
Figure 13 : Interface principale de l'application ELIOT mobile 32
Figure 14 : Lecteur RFID ELIOT 33
Figure 15 : Interface de la station d'encodage N-code — Crédit : Crédit : www.rybbtp.fr 34
Figure 16 : Schéma présentant la méthodologie pour obtenir la position du marqueur 38
Figure 17 : Photographie du chantier choisi pour l'expérience 42
Figure 18 : Emplacements des réseaux existants – photographie personnelle 44
Figure 19 : Capture d'écran de l'écriture des deux champs « note » sur l'application ELIOT 45
Figure 20 : Emplacements des trois premiers marqueurs RFID sur réseaux existants 46
Figure 21 : Emplacements des marqueurs n°9 et n°10 sur réseaux neufs 46
Figure 22 : Schéma explicatif permettant d'obtenir une position plus précise des marqueurs 48
Figure 23 : Détection du marqueur au lecteur RIFD ELIOT 49
Figure 24 : Marque de peinture représentant l'emplacement du marqueur détecté au lecteur 49
Figure 25 : Géoréférencement du marquage au tachéomètre 50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Classes de précision cartographique des ouvrages 9
Tableau 2 : Valeurs de k en fonction de n, nombre de coordonnées. 11
Tableau 3 : Valeurs de N', nombre maximal d'écarts tolérés en fonction de N..... 11
Tableau 4 : Classe A sur les réseaux rigides par application de l'arrêté de 2003..... 12
Tableau 5 : Classe A sur les réseaux souples par application de l'arrêté de 2003 13
Tableau 6 : Classe A sur les ouvrages particuliers par application de l'arrêté de 2003 13
Tableau 7 : Valeurs liées à la classe A selon la norme NF S70-003 13
Tableau 8 : Matricules des types de réseaux — Crédit : Dossier technique ELIOT 30
Tableau 9 : Coordonnées des marqueurs, obtenues au lecteur et au tachéomètre..... 51
Tableau 10 : Coordonnées des marqueurs RFID, obtenues au tachéomètre en tranchée ouverte 52
Tableau 11 : Calcul des écarts de positions planimétriques 53
Tableau 12 : Validation de la classe A en planimétrie 54
Tableau 13 : Calcul des écarts de positions altimétriques..... 55
Tableau 14 : Validation de la classe A en altimétrie 56
Tableau 15 : Validation de la classe A en altimétrie et en planimétrie 56

Mise en place d'un dispositif de repérage des réseaux enterrés fondé sur la technologie RFID

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2018

RÉSUMÉ

En France, de nombreux endommagements de réseaux sont recensés chaque année lors de la réalisation de nouveaux travaux. Plusieurs méthodes de localisation, en tranchée ouverte ou après remblaiement, sont alors utilisées : niveau et décamètre, tachéométrie, GNSS, photogrammétrie, géoradar, détecteur de réseaux...

Ce mémoire présente une nouvelle solution permettant de localiser les réseaux enterrés grâce à un dispositif de repérage RFID. Le principe est simple. Des marqueurs RFID contenant des informations sont installés en tranchée ouverte par le chef de chantier. Un lecteur RFID est ensuite utilisé en tranchée fermée par le géomètre permettant la collecte de ces informations et le calcul de la profondeur d'enfouissement de chaque marqueur.

Ce travail de recherche comporte une analyse juridique et technique liée aux réseaux et à la classe A. Par ailleurs, il transcrit une méthodologie complète pour l'utilisation du système, de sa mise en place à l'exploitation du plan géoréférencé. Enfin, ce mémoire comporte l'application de ce dispositif sur un chantier spécifique.

Mots clés : RFID, plan de récolement, géoréférencement, travaux publics, DT-DICT, réseaux enterrés, tranchée ouverte, classe A.

SUMMARY

In France, many buried network damages are identified each year when new works are carried out. Several methods of positioning, in open trench or after infilling, are then used : level and decametre, tacheometry, GNSS, photogrammetry, géoradar, networks detector…

This research essay presents a new solution for locating buried networks thanks to an RFID tracking device. The concept is simple. RFID markers containing information are set up in an open trench by the site manager. An RFID reader is then used in closed trench by the surveyor to collect these informations and calculate the burial depth of each marker.

This research work involves a legal and technical analysis related to networks and the category A. Furthermore, it transcribes a complete methodology for the use of the system, from its setup to the exploitation of the georeferenced plan. Finally, this research essay includes the practical application of this device on a specific site.

Key words : RFID, verification drawing, georeferencing, public works, DT-DICT, underground networks, open trench, category A.