



HAL
open science

Projet de géoréférencement des ouvrages de réseau électrique

Loïc Évvard

► **To cite this version:**

Loïc Évvard. Projet de géoréférencement des ouvrages de réseau électrique. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2014. dumas-01167052

HAL Id: dumas-01167052

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01167052>

Submitted on 23 Jun 2015

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
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le **DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM**

Spécialité : Géomètre et Topographe

par

Loïc EVRARD

Projet de géoréférencement des ouvrages de réseau électrique

Soutenu le lundi 07 juillet 2014

JURY

PRESIDENT : Ghyslain FERRÉ

MEMBRES : **M. Dominique-claude CHENU**

M. Jérémie ROBERT

Mme Sophie MAROUANI-CHEBBI

M. Bastien LAMBERT

Référent ERDF

Professeur référent

M. Emmanuel AUDOUIN

M. Fabien LETOUZEY

Maître de stage

Maître de stage

Remerciements

Pour avoir passé un excellent stage je remercie toutes les personnes que j'ai rencontré durant ces vingt semaines chez ERDF notamment le service cartographie Pays de la Loire ainsi que tous les accompagnants qui m'ont suivi durant les différentes réunions que j'ai eu avec les prestataires travaux ERDF.

Je tiens particulièrement à remercier mes maîtres de stage, LETOUZEY Fabien et AUDOUIN Emmanuel, pour m'avoir donné l'opportunité de m'épanouir dans un stage des plus professionnalisants.

J'adresse une pensée particulière à BARREAU Yoann, avec qui j'ai partagé le bureau sur le site ERDF de La Roche-sur-Yon, pour avoir facilité mon intégration dans le service cartographie.

Un grand remerciement à mon professeur référent M.ROBERT pour sa disponibilité et ses précieux conseils durant mon travail de fin d'études.

Liste des abréviations

ERDF :	Électricité Réseau Distribution France
EDF :	Électricité De France
RTE :	Réseau de Transport d'Électricité
DR :	Demande de Renseignements
DT :	Déclaration de projet de Travaux
DICT :	Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux
CERFA :	Centre d'Enregistrement et de Révision des Formulaires Administratifs
IC :	Investigation Complémentaire
PPK :	Post Processing Kinematic
NPPK :	Network Post Processing Kinematic
RTK :	Real Time Kinematic
NRTK :	Network Real Time Kinematic
PTRL :	PoinT de position Réseaux Levés
PTRC :	PoinT de position Réseaux cotés
PQF :	Plan de Qualification Fournisseur
PGOC :	Plan Géoréférencé des Ouvrages Construits
TFE :	Travail de Fin d'Études
GPS :	Global Positioning System
GNSS :	Global Navigation Satellite System
GLONASS :	GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Sistema
ARCEP :	Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes
RGP :	Réseau de GNSS Permanent
FNCCR :	Fédération Nationale des Collectivités Concédantes et Régies
BTP :	Bâtiment et Travaux Publics
SERCE :	Syndicat des entreprises de génie électrique et climatique
SNER :	Union nationale des syndicats professionnels de construction et d'entretien des réseaux secs

Glossaire

Concession de distribution d'électricité : contrat, signé par les collectivités locales, confiant à l'entreprise ERDF la gestion du réseau de distribution d'électricité sur un territoire déterminé. En contrepartie, ERDF intègre les attentes des autorités publiques du territoire en matière d'aménagement. Elle construit la plupart des ouvrages nécessaires et en assure l'entretien.

Délégation : transmission d'un pouvoir ou d'une compétence.

Activité régulée : activité non soumise à concurrence.

Géoréférencement : action d'affecter une référence spatiale, dans une projection géographique donnée, à un objet, une donnée ou à une image informatique.

Ouvrage électrique : ensemble des matériels, équipements et canalisations électriques assurant la production, la distribution et l'utilisation de l'énergie électrique.

Réseau : partie d'un ouvrage pouvant contenir des éléments linéaires de canalisation, des équipements ou accessoires et des branchements.

Branchement : ligne électrique destinée à raccorder une installation électrique à un réseau.

Table des matières

Sommaire

Remerciements	2
Liste des abréviations	3
Glossaire.....	4
Table des matières	5
Introduction	7
I. Analyse juridique	11
1. Dispositions avant la réforme anti endommagement	11
a. Réglementation.....	11
b. Constat.....	12
2. Réforme anti-endommagement	13
a. Législation et réglementation en vigueur	13
b. Création du Guichet Unique.....	14
c. Définition des classes de précision.....	14
d. Création du guide technique réglementaire.....	17
e. Redéfinition de proximité d’ouvrage et des catégories d’ouvrage	17
f. Procédure.....	17
g. Calendrier des mesures.....	20
II. Géoréférencement des ouvrages électriques : les outils	22
1. Définition et réglementation.....	22
2. Méthode.....	22
3. Hypothèses	22
a. Hypothèse 1.....	22
b. Hypothèse 2.....	23
c. Réalisation des mesures : méthode NRTK.....	26
d. Intérêts et limites de la méthode NRTK.....	27
e. Les réseaux temps réels	27
4. Mode opératoire du levé géoréférencé	28
a. Cas des portions d’ouvrage décrivant une courbe	30
b. Cas des réseaux	31
c. Cas des branchements	32
d. Cas des branchements : solution alternative.....	32
e. Méthode dérogatoire durant la phase d’expérimentation	34
f. Ressenti des prestataires travaux ERDF.....	35
5. Cas problématiques	36

a.	Forage dirigé.....	36
b.	Soc ou sous-soleur et trancheuse.....	40
6.	Cas des câbles subaquatiques	42
a.	Principe.....	42
b.	Système IXSEA GAPS	43
c.	Système sonar KLEIN 5900.....	44
d.	Conclusion.....	44
7.	Méthode non tolérée	45
8.	Représentation.....	46
9.	Moyen de contrôle.....	47
a.	La qualification.....	48
b.	Contrôles	49
III.	Conclusion.....	51
	Bibliographie.....	52
	Table des illustrations.....	53
	Liste des tableaux	55
	Table des annexes.....	56
	RÉSUMÉ.....	66
	ABSTRACT	66

Introduction

➤ Situation

Le territoire français est desservi par plus de quatre millions de kilomètres de réseaux souterrains, aériens et subaquatiques de transport et de distribution.

La tendance qui se dégage depuis plusieurs années pour des raisons de sécurité est l'enfouissement des réseaux à l'instar d'ERDF qui a enterré en 2012 plus de cinq mille kilomètres de lignes électriques existantes exposées aux aléas climatiques.

Connaître l'emplacement exact de ces réseaux est devenu, en zone rurale comme urbaine, de plus en plus difficile.

Leur localisation préalable est pourtant indispensable pour la conception de projet et la réalisation de travaux.

On dénombre à ce jour, chaque année, plus de cent mille endommagements de réseaux lors de travaux réalisés à proximité de ceux-ci.

Ces endommagements sont susceptibles de compromettre la sécurité des biens, des personnes, et de porter atteinte à l'environnement ou à la continuité des services publics.

Les différents acteurs du BTP ont mis en évidence les limites des anciennes dispositions de la réglementation de 1991-1994 qui ne permettaient pas de mettre en place une prévention suffisante des risques.

Il a fallu malheureusement que plusieurs accidents graves se produisent pour que les autorités politiques prennent conscience de la nécessité de mener une réforme de fond afin d'améliorer la sécurité lors des travaux à proximité des réseaux.

La refonte de l'encadrement réglementaire, dite réforme anti-endommagement, est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2012. Elle vise à renforcer la sécurité sur les chantiers.

Les ouvrages construits lors de la création ou de la modification de réseaux ont désormais pour obligation d'être cartographiés, suite à un levé géoréférencé, avec une précision de classe A correspondant à un faisceau d'incertitude sur leur tracé de +/- cinquante centimètres.

ERDF qui recense plus de 1,3 million de kilomètres de lignes électriques dont presque la moitié en souterrain est un acteur de premier ordre de cette nouvelle réglementation puisqu'il est le premier exploitant de réseaux sensibles en France. Il a établi le processus permettant de se mettre en cohérence avec le décret DT/DICT publié le 7 octobre 2011. L'objet de ce stage est d'analyser le processus de géoréférencement des ouvrages électriques construits, d'assister son déploiement au sein d'ERDF ainsi que d'accompagner les entreprises prestataires de travaux afin de garantir le respect des prescriptions nationales.

➤ Contexte

Le système électrique français est organisé autour de quatre grands pôles que sont :

⊕ **La production**

La France est le huitième producteur mondial d'électricité : 90% de la production électrique en France est assuré par le parc de production d'EDF essentiellement nucléaire (85%). Ce segment de la chaîne électrique française est un secteur ouvert totalement à la concurrence.

⊕ **Le transport**

L'acheminement de l'électricité jusqu'au lieu de distribution est assuré par RTE, activité régulée, qui est le gestionnaire de réseau public en charge des infrastructures de transport d'électricité en France.

⊕ **La distribution**

La distribution de l'électricité jusqu'aux clients via le réseau électrique français est une activité régulée assurée par ERDF qui est le premier distributeur européen d'électricité.

⊕ **La fourniture**

La fourniture est l'interface entre les distributeurs et les clients. Cette activité ouverte à la concurrence consiste à vendre au détail de l'électricité.

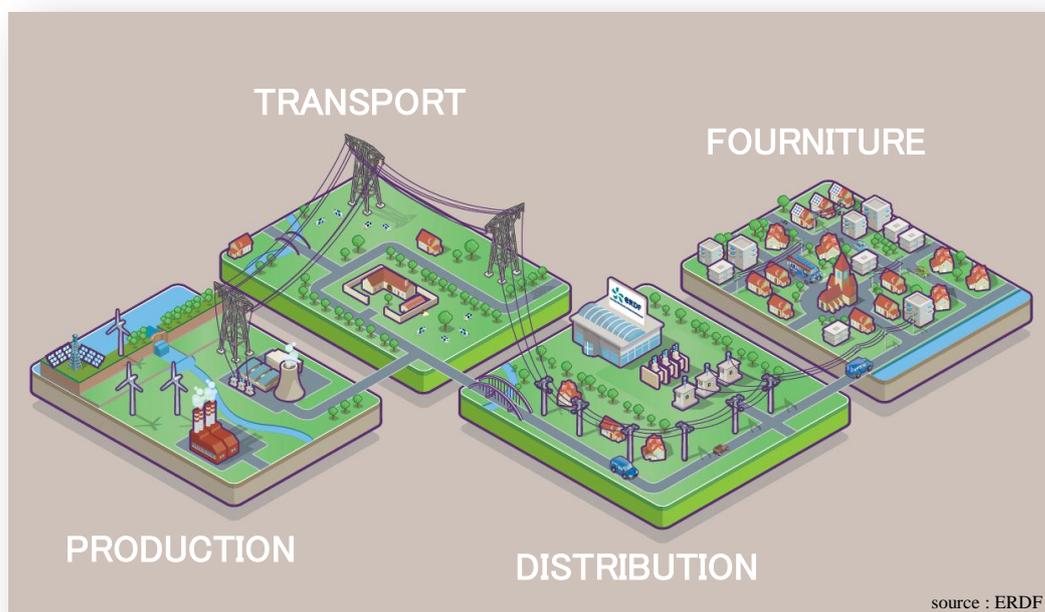


Figure 1 : Système électrique Français

ERDF est le gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité sur 95 % du territoire métropolitain français. Ses trente-cinq mille collaborateurs assurent chaque jour l'exploitation, l'entretien et le développement de près de 1,3 million de kilomètres de réseau en maintenant un niveau de qualité et de sûreté élevé.

« En France, la distribution d'électricité est un service public qui relève des compétences des collectivités locales. Celles-ci sont propriétaires du réseau de distribution, mais elles en confient la gestion à ERDF, dans le cadre d'une délégation de service public »¹. Cette délégation est formalisée par des contrats de concession depuis le début de l'électrification au milieu du XIX^{ème} siècle. Au travers de cette délégation, ERDF exerce sa mission de service public de distribution d'électricité au travers de deux grands principes que sont :

- la continuité et la qualité de la desserte
- l'accès au réseau de distribution sans discrimination

Le réseau électrique géré par ERDF en chiffres (2012) :

- **1,3 million** de kilomètres de lignes (dont 42% en souterrain)
- **35 millions** de clients desservis
- **479 000** nouveaux clients raccordés
- **11 millions** d'interventions chez les clients.

➤ Organisation territoriale

ERDF s'organise territorialement via huit Directions Inter-Régionales et vingt-cinq Directions Régionales (DR).

Chaque DR possède plusieurs unités opérationnelles elle-même composées en agence.

Ce découpage permet d'assurer une relation de proximité permanente sur tout le territoire métropolitain.

Je réalise mon travail de fin d'étude au sein de l'agence cartographie située dans l'unité opérationnelle de La Roche sur Yon appartenant à la Direction Régionale Pays de la Loire dépendant de la Direction Inter-Régionale OUEST.

L'agence cartographie, dépendant de la DR Pays de la Loire, est composée de trois pôles (Angers, Le Mans et La Roche sur Yon).

Elle est garante de la mise à jour des bases de données patrimoniales et doit s'assurer de la fiabilité et l'exhaustivité de:

- la cartographie Moyenne Echelle et Grande Echelle
- la base comptable

L'agence cartographie d'ERDF travaille à deux échelles. La moyenne échelle (1/2000^e) cartographie uniquement les réseaux qu'ils soient aériens ou souterrains dans un système d'information géographique. Il est le document indispensable pour réaliser des études. La grande échelle (1/200^e) permet une cartographie plus précise des réseaux HTA et BT souterrains ainsi que des branchements et accessoires (coffret, poste,...).

¹ Source : www.erdf.fr

Un contrôle inter-échelle permet de vérifier la cohérence interne de report des réseaux.

Le pôle cartographie de La Roche sur Yon s'organise de la manière suivante :

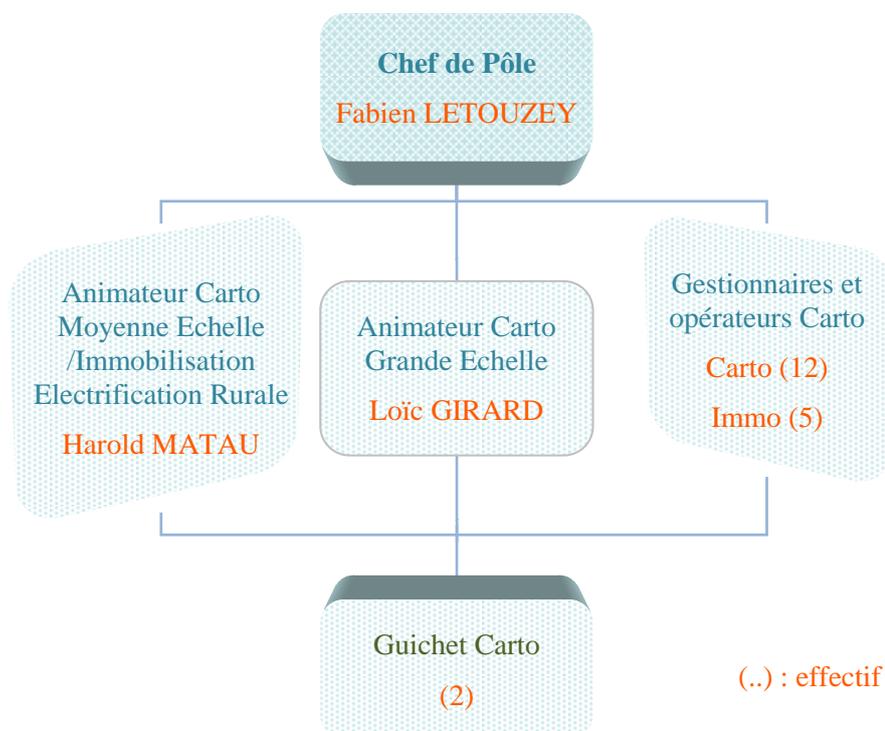


Figure 2: organigramme pôle Cartographie La Roche sur Yon

➤ Problématique

La réforme anti-endommagement portée par la loi Grenelle 2 a profondément impacté les règles en termes de mise en cartographie des ouvrages. Depuis le 1^{er} juillet 2012, un responsable de projet a l'obligation de réaliser la cartographie géoréférencée en classe de précision A des installations sensibles posées en souterrain.

Cette obligation porte sur les travaux concernant la construction, l'extension ou la modification d'un ouvrage de réseau sensible (électrique, éclairage public et gaz par obligation, et de manière générale tous ceux s'étant identifiés comme tel au guichet unique) souterrain.

L'objet de ce mémoire est d'apporter une solution technique au projet de géoréférencement des ouvrages de réseau électrique.

La première partie de l'explication va s'attacher à réaliser un état des lieux des changements de législation concernant la procédure DT/DICT.

Dans la seconde partie nous tâcherons de répondre aux questions suivantes :

- Comment géoréférencer un ouvrage de réseau électrique ?
- Quels outils permettraient de garantir le niveau de précision de la classe A imposée par le décret ?
- Quels moyens de contrôle sont envisageables ?

I. Analyse juridique

1. Dispositions avant la réforme anti endommagement

a. Réglementation

Décret n° 91-1147 du 14 octobre 1991 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution et son Arrêté d'application du 16 novembre 1994.

L'analyse de ce décret ne se porte que suivant l'objet de mon stage, à savoir les installations électriques.

Le décret entend par installations électriques « *toutes lignes électriques souterraines ou aériennes de transport ou de distribution d'électricité* ».

Le décret considère les travaux comme exécutés au voisinage des ouvrages électriques « *s'ils ont lieu, en tout ou partie, à moins de 1,50 mètre d'une canalisation électrique souterraine ou s'ils sont effectués à une distance de sécurité inférieure ou égale à trois ou cinq mètres, suivant le voltage, au voisinage des installations électriques aériennes* ».

Avant la réforme anti-endommagement, chaque exploitant d'ouvrage devait mettre à disposition du public, en mairie, un plan de zonage des ouvrages définissant l'implantation, au sein du territoire communal, de son ou ses ouvrages.

On entend par zone d'implantation d'un ouvrage « *la zone qui englobe tous les points du territoire situés à moins de cent mètres de cet ouvrage* ».

En plus de ce plan, devaient être accessibles en mairie les coordonnées de la personne ou de l'organisme en charge de répondre aux demandes du public.

Toute personne qui envisageait de réaliser des travaux à proximité des ouvrages comme le définit ***l'annexe I Décret n° 91-1147*** devait se renseigner, auprès de la mairie de la commune accueillant le projet, sur l'existence et l'implantation éventuelles d'ouvrages.

Si le projet se situait dans une zone d'implantation d'un ouvrage, une demande de renseignements (DR) devait être adressée à chacun des exploitants desdits ouvrages au moyen du CERFA n° 13618-01 (annexe 1). La DR avait pour objet de vérifier, lors de l'élaboration d'un projet, sa compatibilité avec les réseaux existant.

Dans un délai d'un mois, les exploitants avaient l'obligation de répondre aux DR au moyen d'un récépissé conforme (annexe 2).

L'exécutant des travaux devait adresser une déclaration d'intention de commencement de travaux (DICT) à chaque exploitant d'ouvrage concerné par l'emprise des travaux. Cette demande devait être envoyée au moins dix jours avant le début des travaux au moyen du CERFA n° 13619-01 (annexe 3) dans un délai de six mois à compter de la DR.

Dans un délai de neuf jours à compter de la réception de la DICT, les exploitants des ouvrages transmettaient, au moyen d'un récépissé conforme (annexe 4), « tous les renseignements en leur possession avec le maximum de précisions possible sur l'emplacement de leurs ouvrages existant dans la zone où se situent les travaux projetés et y joignaient les recommandations techniques applicables à l'exécution des travaux à proximité desdits ouvrages ».

Les travaux annoncés dans la DICT devaient être entrepris dans un délai de deux mois à compter de l'envoi du récépissé. A défaut de réception, ils pouvaient débuter trois jours après l'envoi par l'exécutant des travaux d'un courrier de relance confirmant l'intention de commencement des travaux.

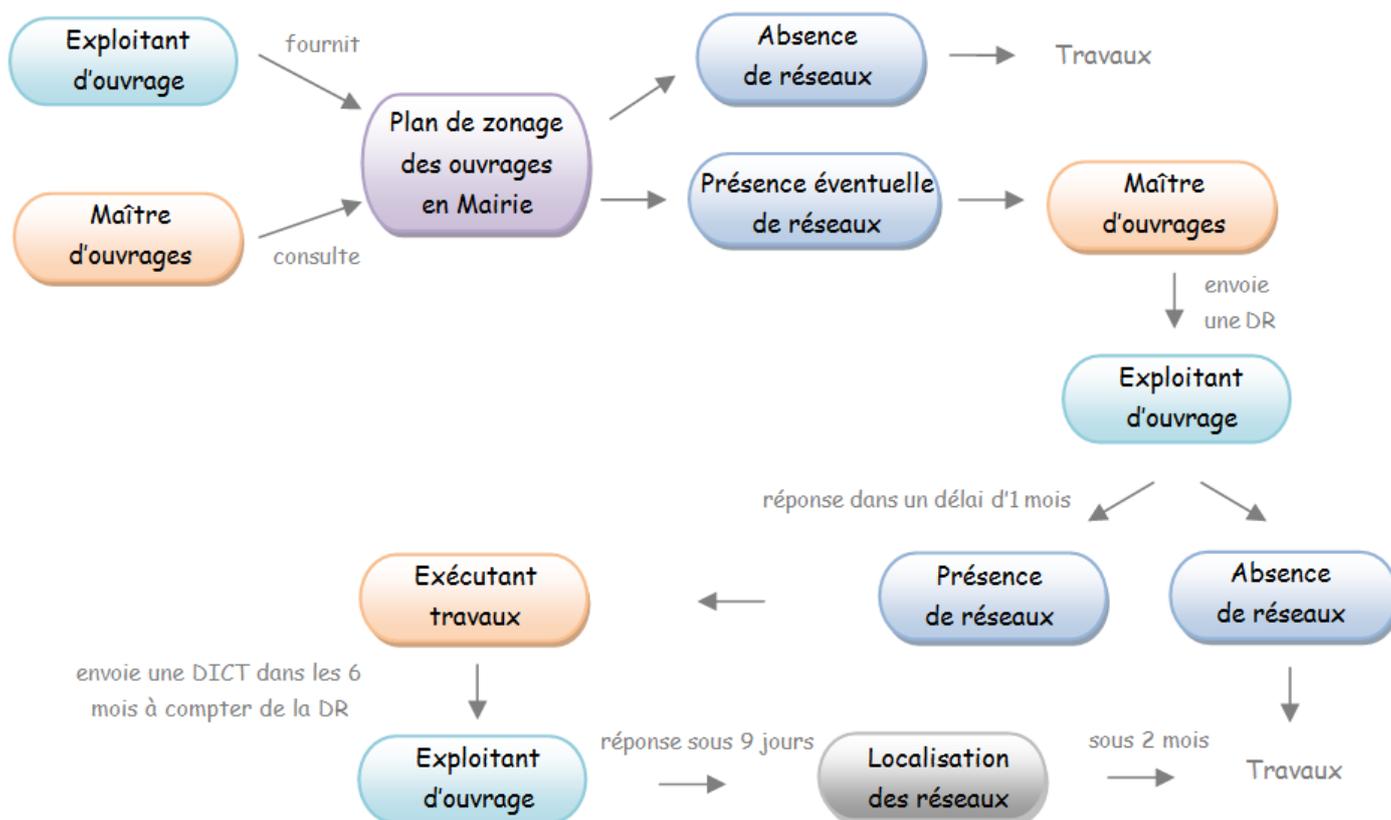


Figure 3 : ancienne procédure DR/DICT

b. Constat

L'ensemble des protagonistes du BTP a rendu manifeste les carences des anciennes dispositions de la réglementation de 1991-1994 qui ne permettaient pas de mettre en place une prévention suffisante des risques.

Il a fallu malheureusement que plusieurs accidents graves se produisent pour que les autorités politiques prennent conscience de la nécessité de mener une réforme de fond afin d'améliorer la sécurité lors des travaux à proximité des réseaux.

La refonte de l'encadrement réglementaire, dite réforme anti-endommagement, est entrée en vigueur le 1^{er} juillet 2012. Elle vise à renforcer la sécurité sur les chantiers à proximité des réseaux.

2. Réforme anti-endommagement

La réforme anti-endommagement, portée par la loi Grenelle 2 (12 juillet 2010) ainsi que plusieurs décrets et arrêtés, accorde une attention particulière à l'identification et à la localisation des réseaux souterrains existants préalablement à la réalisation des travaux. Elle fixe les précautions à prendre afin d'assurer la continuité de service des ouvrages, la protection de l'environnement ainsi que la sauvegarde de la sécurité des biens et surtout des personnes.

a. Législation et réglementation en vigueur

La réforme anti-endommagement est régit par :

- Loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle 2.
- Décret n°2010-1600 du 20 décembre 2010 relatif au guichet unique créé en application de l'article L.554-2 du Code de l'environnement et son arrêté d'application:
 - Arrêté du 12 octobre 2011 modifiant l'arrêté du 22 décembre 2010 fixant les modalités de fonctionnement du guichet unique prévu à l'article L. 554-2 du code de l'environnement et l'arrêté du 23 décembre 2010 relatif aux obligations des exploitants d'ouvrages et des prestataires d'aide envers le téléservice reseaux-et-canalisation.gouv.fr.
- Décret n°2011-762 du 28 juin 2011 fixant les modalités d'application de l'article L.554-5 du Code de l'environnement relatif au financement du guichet unique.
- Décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 relatif à l'exécution de travaux à proximité de certains ouvrages souterrains, aériens ou subaquatiques de transport ou de distribution.
- Arrêté d'application du 15 février 2012 du décret du 5 octobre 2011 précité.
- Arrêté du 28 juin 2012 pris en application de l'arrêté du 15 février 2012 qui rend d'application obligatoire la norme NF S70-003-1.
- Arrêté du 30 juin 2012 portant approbation du guide technique réglementant les travaux à proximité des réseaux existants.
- Décret n° 2012-970 du 20 août 2012 relatif aux travaux effectués à proximité des réseaux de transport et de distribution.
- Arrêté modificatif du 19 février 2013 encadrant la certification des prestataires en géoréférencement et en détection des réseaux et mettant à jour des fonctionnalités du téléservice reseaux-et-canalisation.gouv.fr.
- Décision n° 358726 du 22 avril 2013 du Conseil d'Etat statuant au contentieux annulant le second alinéa du I de l'art. 23 de l'arrêté du 15 février 2012 :« Les entreprises intervenant pour les prestations de géoréférencement, qui sont inscrites à l'ordre des géomètres-experts sont dispensées de la certification pour ce type de prestation. ».
- Arrêté du 16 juillet 2013 fixant le barème hors taxes des redevances prévues à l'article L. 554-5 du code de l'environnement abrogeant l'arrêté du 3 septembre 2012.

b. Création du Guichet Unique

La réforme de fond concernant les travaux à proximité des ouvrages a commencé par la création du Guichet Unique. Ce téléservice est une base de données informatique qui recense tous les réseaux aériens, souterrains, subaquatiques implantés en France.

Depuis le 1^{er} juillet 2013, tout exploitant a enregistré dans le guichet unique les zones d'implantation de tous ses réseaux.

L'article R. 554-1 du code de l'environnement définit la zone d'implantation d'un ouvrage comme étant « *la zone contenant l'ensemble des points du territoire situés à moins de 50 mètres du fuseau de l'ouvrage. Pour les ouvrages linéaires, il est retenu une zone de largeur constante contenant l'ensemble des points situés à moins de 50 mètres du fuseau de l'ouvrage* ».

Chaque responsable de projet et entreprise de travaux a obligation depuis le 1^{er} juillet 2012 de le consulter préalablement à l'exécution de travaux. Ce service public en ligne est gratuit.

Il leur suffit de matérialiser l'emprise du périmètre des travaux prévus sur le fond de carte du téléservice pour accéder aux coordonnées des exploitants susceptibles de posséder des ouvrages dans cette emprise ou à proximité.

Le téléservice leur communique un plan géoréférencé de l'emprise du projet de travaux, ainsi que l'imprimé électronique pré-rempli de la déclaration DT/DICT à envoyer à chaque exploitant d'ouvrages.

Tout exploitant qui enregistre un ouvrage sur le guichet unique a obligation de répondre à toutes les DT/DICT qu'il reçoit en conséquence de cet enregistrement, sous peine de sanctions.

c. Définition des classes de précision

« Les classes de précision permettent de caractériser le niveau de qualité de la connaissance de l'emplacement des réseaux »². Elles sont mesurées à partir de l'enveloppe extérieure de l'ouvrage. Elles sont définies à l'article 5 de l'arrêté du 15 février 2012.

« Un ouvrage ou tronçon d'ouvrage est rangé dans la classe :

- **A** si l'incertitude maximale de localisation indiquée par son exploitant est inférieure ou égale à 40 cm s'il est rigide, ou à 50 cm s'il est flexible.
- **B** si l'incertitude maximale de localisation indiquée par son exploitant est supérieure à celle relative à la classe A et inférieure ou égale à 1,5 mètre.
- **C** si l'incertitude maximale de localisation indiquée par son exploitant est supérieure à 1,5 mètre, ou si son exploitant n'est pas en mesure de fournir de données de localisation. »

Depuis le 1^{er} juillet 2012, tout exploitant de réseaux enterrés a obligation de ranger tous les tronçons des réseaux qu'il exploite dans l'une de ces trois classes de précision lorsqu'il répond à une DT ou à une DICT.

² source : www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr

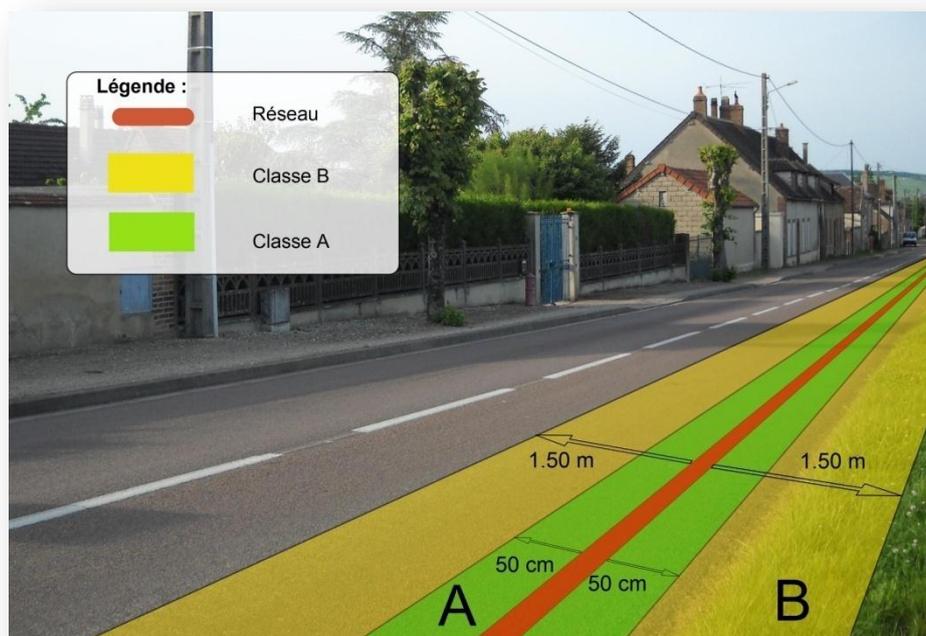
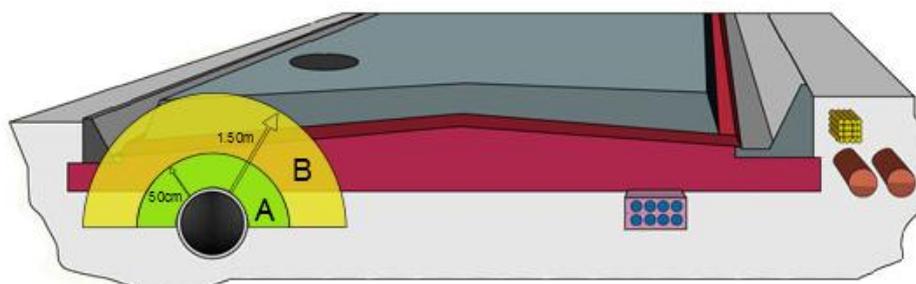


Figure 4 : Illustration en plan des classes de précision



source de l'image de fond : dictionnaire visuel

Figure 5 : Illustration en coupe des classes de précision

« La vérification des conditions permettant de ranger un tronçon d'ouvrage dans l'une ou l'autre des trois classes de précision ainsi définies est effectuée conformément à l'arrêté du 16 septembre 2003 »³

➤ Arrêté du 16 septembre 2003

La classe de précision s'applique aux écarts entre les coordonnées fournies pour chaque point et celles que l'on obtient par mesure de contrôle.

« Pour tout échantillon comportant N objets géographiques, on calcule l'écart moyen en position. Celui-ci est défini par la moyenne arithmétique des écarts en position relevés sur les points des objets géographiques. On dit que 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 :

³ Arrêté du 15 février 2012 article 1 3°

a) L'écart moyen en position E_{moy} de l'échantillon est inférieur à

$$[XX] * \left(1 + \frac{1}{1 + 2 * C^2}\right) \text{ cm}$$

b) Le nombre N' d'écarts dépassant le premier seuil T_1 n'excède pas l'entier immédiatement supérieur à $0,01 * N + 0,232 * \sqrt{N}$

$$T_1 = k * [XX] * \left(1 + \frac{1}{1 + 2 * C^2}\right) \text{ cm}$$

Lorsque $N < 5$, aucun écart N' supérieur à T_1 n'est admis.

c) Aucun écart en position dans l'échantillon n'excède le second seuil T_2

$$T_2 = 1,5 * k * [XX] * \left(1 + \frac{1}{1 + 2 * C^2}\right) \text{ cm} \gg^4$$

C : coefficient de sécurité des mesures de contrôle. Dans notre cas $C=2$ car on considère que la méthode pour effectuer les mesures de contrôle est deux fois plus précise que la méthode qui a servi à lever les points à contrôler.

k : les objets géographiques sont caractérisés dans les trois dimensions ainsi $k=2.11$.

« Pour chaque ouvrage en service, [...] dans le cadre des actions de contrôle, les écarts en position constatés pour un ouvrage sont tels que la valeur T définie au c de l'article 5 de l'arrêté du 16 septembre 2003 susvisé ne dépasse en aucun cas l'incertitude maximale de localisation relative à la classe A. »⁵.

L'arrêté susmentionné impose donc le seuil T_2 égal à cinquante centimètres.

Ainsi nous pouvons définir le seuil T_1 , la classe de précision $[XX]$ et l'écart moyen en position E_{moy} .

$[XX] \approx$	14 cm
$E_{\text{moy}} \approx$	15,8cm
$T_1 \approx$	33,3cm
$T_2 =$	50 cm

⁴ Arrêté du 15 février 2012 article5

⁵ Arrêté du 15 février 2012 article7 6°

Tableau 1: Définition des seuils de la classe A au sens du décret anti-endommagement

Echantillon de N points	1 à 4	5 à 13	14 à 44	45 à 85	86 à 132
N'	0	1	2	3	4

Tableau 2 : exemple du nombre d'écarts maximum N' pouvant dépasser le seuil T1

d. Création du guide technique réglementaire

Le décret anti-endommagement impose aux entreprises d'adapter leurs techniques de travaux à proximité des ouvrages afin de garantir la conservation et la continuité de service de ces ouvrages.

Les entreprises ont désormais l'obligation de se référer aux recommandations et aux prescriptions du guide technique réglementaire.

Son instauration a été approuvée par l'arrêté du 30 juin 2012 (publié au Bulletin officiel du ministère de l'écologie du 10 août 2012) en application aux dispositions de l'article R. 554-29 du code de l'environnement.

Il est consultable au lien suivant :

http://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr/gu-presentation/userfile?path=/fichiers/textes_reglementaires/Guide_technique_V1.pdf

e. Redéfinition de proximité d'ouvrage et des catégories d'ouvrage

Le décret entend par installations électriques toutes lignes électriques et réseaux d'éclairage public visés à [l'article R. 4534-107 du code du travail](#).

Le décret considère les travaux comme exécutés au voisinage des ouvrages électriques s'ils ont lieu dans « la zone d'implantation d'un ouvrage, à savoir la zone contenant l'ensemble des points du territoire situés à moins de 50 mètres du fuseau de l'ouvrage. Pour les ouvrages linéaires, il est retenu une zone de largeur constante contenant l'ensemble des points situés à moins de 50 mètres du fuseau de l'ouvrage.⁶ ».

Le décret ne s'applique pas aux travaux suffisamment éloignés d'un réseau aérien, à savoir tout travaux « dont l'emprise ne s'approche pas à moins de 5 mètres du fuseau du réseau, en projection horizontale, si les travaux ne sont pas soumis à permis de construire.⁷ » Code de l'environnement Article R554-1.

f. Procédure

L'analyse du décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011 et de son arrêté d'application du 15 février 2012 ne se porte que suivant l'objet de mon stage, à savoir les installations électriques.

Tout responsable de projet qui prévoit la réalisation de travaux doit avant toute autre démarche vérifier la présence éventuelle d'ouvrages dans l'emprise du projet.

⁶ Code de l'environnement Article R554-1

⁷ Code de l'environnement Article R554-1

Il consulte pour cela le Guichet Unique qui lui permet d'obtenir la liste et les coordonnées des exploitants de chacun des ouvrages potentiellement présents dans l'emprise du projet.

Le responsable du projet envoie une Déclaration de projet de Travaux (DT) à chacun des exploitants d'ouvrages au moyen du CERFA n°14434*01 (annexe 4) pré-rempli par le téléservice.

La DT précise l'emprise du projet et la nature des travaux.

À la réception de la DT, les exploitants sont tenus de répondre sous neuf jours, au moyen du CERFA n°14435*01 (annexe 5). Ce délai est porté à quinze jours pour les déclarations adressées sous forme non dématérialisée.

Cette réponse indique au déclarant la localisation des ouvrages existants, les précautions spécifiques à prendre et, le cas échéant, les dispositifs à mettre en œuvre pour la sécurité. Il doit figurer si une modification ou une extension des ouvrages susnommés est envisagée dans un délai inférieur à trois mois.

L'exploitant d'ouvrage peut décider de répondre à la DT dans le cadre d'une réunion sur site. La date du rendez-vous doit respecter le délai de réponse aux différents formats de DT.

Durant cette réunion, l'exploitant peut réaliser des mesures pour lever toute incertitude de localisation de son ouvrage. Il dispose pour ce faire d'un délai complémentaire de quinze jours.

La DT est valable trois mois à compter de la consultation du guichet. Au-delà, le déclarant doit la renouveler.

L'exploitant d'ouvrage dit sensible qui fournit une imprécision de localisation supérieure à ± 1.5 mètre (classe C) de ses ouvrages situés en unité urbaine engage une démarche en vue de garantir une précision de localisation correspondant à la classe A au moyen d'Investigations Complémentaires(IC).

« Constitue une unité urbaine toute commune ou ensemble de communes présentant une zone de bâti continu, au sens où une distance inférieure à 200 mètres sépare toute construction de la construction la plus proche, et comptant au moins 2 000 habitants, en référence à la population connue au dernier recensement. ⁸ ».

Les IC ne sont pas obligatoires si *«le projet concerne une opération unitaire dont l'emprise géographique est très limitée et dont le temps de réalisation est très court⁹ ».*

Les investigations complémentaires sont entreprises avant la réalisation des travaux par un prestataire certifié. L'obligation de recourir à un prestataire certifié ne sera effective qu'à partir du 1^{er} janvier 2017. Actuellement, la certification est en cours d'élaboration. Jusqu'en 2017, le responsable de projet doit recourir au prestataire qu'il juge le plus compétent.

Le responsable du projet peut procéder à des IC s'il les estime nécessaires.

Le coût des IC est supporté en totalité par le responsable du projet lorsque les ouvrages sont géolocalisés en classe B. Il est, pour moitié, à la charge de l'exploitant de l'ouvrage concerné dans le cas d'une géolocalisation en classe C.

⁸ Code de l'environnement - Article R554-23 III 3°

⁹ Code de l'environnement - Article R554-23

Lorsque le résultat des IC rend manifeste l'inobservation ou une classe de précision notoire moins bonne que celle annoncée par l'exploitant en réponse à la DT, elles sont totalement à la charge de ce dernier.

Dans un délai de neuf jours, le résultat des IC est porté à la connaissance des exploitants et du responsable du projet.

Une fois la phase DT terminée, l'exécutant des travaux envoie, via le guichet unique, une Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux (DICT) à chaque exploitant d'ouvrages effectivement concernés par l'emprise des travaux, au moyen du CERFA n°14434*01 (annexe 4).

La DICT comprend la localisation précise de l'emprise des travaux, la nature des travaux et les techniques opératoires prévues.

La réponse à la DICT se fait au moyen du CERFA n°14435*01 (annexe 5). Elle est envoyée par les exploitants à l'exécutant des travaux dans un délai de neuf jours suivant la réception de la DICT. Ce délai est porté à quinze jours pour les déclarations adressées sous forme non dématérialisée.

Elle précise la localisation des ouvrages existants, « à une échelle et avec un niveau de précision appropriés¹⁰ ». Elle indique les précautions spécifiques à prendre et fait référence aux chapitres applicables du guide technique relatifs aux travaux effectués à proximité d'ouvrages. Elle signale, le cas échéant, les dispositifs importants à mettre en œuvre pour la sécurité. L'exploitant doit indiquer si une modification ou une extension des ouvrages est envisagée dans un délai inférieur à trois mois.

L'exploitant d'ouvrage peut décider de répondre à la DICT dans le cadre d'une réunion sur site. La date du rendez-vous doit respecter le délai de réponse aux différents formats de DICT.

Les travaux ne peuvent commencer que lorsque tous les récépissés de DICT relatifs aux ouvrages dits sensibles sont réceptionnés. L'exécutant des travaux conserve un exemplaire des récépissés des DICT sur le chantier et pendant toute sa durée.

Une relance de la DICT par lettre recommandée avec accusé de réception doit être faite à défaut de réponse d'un exploitant. Ce dernier dispose d'un délai de deux jours pour répondre.

À défaut de commencement de travaux dans les trois mois à compter de la consultation du guichet unique, la DICT doit être renouvelée. Il en est de même si une interruption des travaux est supérieure à trois mois ou si les travaux s'étalent sur plus de six mois.

Le responsable du projet est tenu d'engager la démarche du marquage/piquetage individuel des ouvrages souterrains en service situés dans l'emprise des travaux ou à moins de deux mètres. Cela permet de visualiser le tracé de l'ouvrage durant toute la durée du chantier.

Le coût du marquage/piquetage est supporté par l'exploitant d'ouvrage lorsqu'il ne joint pas, en réponse à la DICT, les plans de ses ouvrages.

Une fois la phase DICT terminée, les travaux peuvent commencer. Si des ouvrages sont découverts lors de terrassement, l'exécutant des travaux en informe le responsable du projet. S'il s'avère que les ouvrages sont potentiellement sensibles, l'exécutant de travaux « *sursoit aux travaux adjacents jusqu'à décision du responsable du projet¹¹* ».

Des IC peuvent être réalisées. Leur résultat est porté à la connaissance de l'exploitant de l'ouvrage découvert, qui en assume totalement les frais.

¹⁰ Code de l'environnement - Article R554-26

¹¹ Code de l'environnement - Article R554-28

En cas de dégradation d'un ouvrage, ou de son déplacement accidentel de plus de dix centimètres, l'exécutant des travaux doit en avertir l'exploitant de l'ouvrage. Un constat contradictoire, CERFA n°14766*01 (annexe 6), prenant acte du sinistre peut alors être établi.

Pour des travaux de construction, d'extension ou de modification d'un ouvrage de réseau électrique souterrain, le responsable du projet fait procéder à la fin du chantier au récolement des travaux au moyen d'un relevé topographique géoréférencé effectué par une personne certifiée.

« La précision de ce relevé est telle que, pour tous travaux ultérieurs à proximité de la même installation, aucune investigation complémentaire ne soit nécessaire pour localiser l'ouvrage.¹² » Autrement dit, le relevé doit garantir la géolocalisation de l'ouvrage en classe A.

En cas d'urgence, ou de force majeure, les travaux à proximité d'ouvrage sont dispensés de DT et de DICT, à condition de disposer de l'autorisation d'intervention à proximité de réseaux (prévue à l'article R. 554-31 du code de l'environnement).

Le maître d'ouvrage doit, préalablement aux travaux, consulter le guichet unique. Les exploitants des ouvrages sensibles concernés lui fournissent, dans des délais compatibles avec la situation d'urgence, les conditions de sécurité à mettre en œuvre.

Le maître d'ouvrage adresse dans les meilleurs délais un avis de travaux urgents aux exploitants.

« Lorsque le responsable du projet est également exécutant des travaux »¹³ ou « lorsque le projet concerne une opération unitaire dont l'emprise géographique est très limitée et dont le temps de réalisation est très court »¹⁴, la DT et la DICT sont effectuées conjointement.

Ce mode de déclaration au moyen d'un document unique n'est réalisable que lorsque la localisation géographique des ouvrages souterrains ne nécessite pas d'investigations complémentaires.

ERDF a imposé comme condition la longueur limite du projet à soixante douze mètres pour distinguer les cas de DT/DICT conjointes ou disjointes. Cette longueur correspond à la longueur maximale d'un branchement évitant de ce fait toute investigation complémentaire lors de leurs installations.

g. Calendrier des mesures

Échéance	Obligation
1^{er} janvier 2017	certification des prestataires en cartographie ; attestation de compétence des personnels du maître d'ouvrage ainsi que des prestataires travaux pour réaliser des interventions à proximité des réseaux
1^{er} janvier 2019	tous les fonds de plan et tracés des réseaux sensibles enterrés en zone urbaine sont géoréférencés
1^{er} janvier 2026	tous les fonds de plan et tracés des réseaux sensibles enterrés sont géoréférencés

Tableau 3 : mises en oeuvre futures du décret DT/DICT

¹² Code de l'environnement - Article R554-34

¹³ Décret n° 2011-1241 du 5 octobre 2011, section 2, sous section 2, article IV

¹⁴ 1° du III de l'article R. 554-23 du code de l'environnement

La seconde partie de ce mémoire va s'attacher à montrer comment ERDF prescrit la méthode de levé de ses ouvrages souterrains dans le but de garantir une cartographie en classe A.

II. Géoréférencement des ouvrages électriques : les outils

1. Définition et réglementation

Le géoréférencement consiste à « affecter une référence spatiale, dans une projection géographique donnée »¹⁵, à un objet, une donnée ou à une image informatique.

Le décret n° 2006-272 du 3 mars 2006, publié au journal officiel du 10 mars 2006 impose à partir du 10 mars 2009 un rattachement planimétrique au système géodésique RGF93 dans les projections Lambert 93 ou Coniques Conformés 9 zones.

Le décret n° 2000-1276 du 26 décembre 2000 stipule que le système altimétrique légal français est le NGF IGN 1969 pour la France métropolitaine.

2. Méthode

La méthode de géoréférencement doit permettre de garantir la position géographique des ouvrages souterrains de réseau électrique à la précision imposée par les trois conditions de la classe A.

Pour se prémunir de ces conditions et garantir à coup sur de la classe A, ERDF impose qu'aucun écart en position ne puisse dépasser un seuil de dix centimètres et a prescrit de manière nationale la méthode de levé fouille ouverte des ouvrages. Ces derniers devant être remblayés au plus vite pour des raisons de sécurité, il faut donc déterminer une méthode de géoréférencement qui soit rapide, précise et dont la qualité est connue instantanément.

3. Hypothèses

Pour géoréférencer, plusieurs solutions sont envisageables. Elles diffèrent par :

- le temps de réalisation de la mesure,
- la qualité de positionnement souhaitée,
- l'utilisation de matériel,
- de manière plus globale, le coût de réalisation.

a. Hypothèse 1

La première hypothèse serait d'utiliser les repères géodésiques IGN. La station totale permettrait de lever l'ouvrage en fouille ouverte dans les trois dimensions du système local de l'appareil. Un

¹⁵ source : sigea.educagri.fr

cheminement jusqu'aux repères géodésiques permettrait de rattacher le levé dans le système de référence légal français. Si les conditions d'intervisibilité entre la station et les repères sont favorables, la technique de la station libre est envisageable.

Cette hypothèse est réfutée immédiatement puisque la précision des coordonnées fournies par l'IGN ne permet pas toujours de garantir un géoréférencement respectant les trois conditions de la classe A, comme le montre l'extrait de la fiche signalétique ci-dessous (annexe 7).

Système : ETRS 89 - Projection : LAMBERT-93 - Système altimétrique : NGF-IGN 1969

Point	e (m)	n (m)	Précision plani	Altitude (m)	Précision alti
1	343835.33	6636121.55	< 10 cm	52.57	< 50 cm

source : IGN

Figure 7 : précision des coordonnées du repère géodésique N°8500303 AIZENAY III (Vendée)

La précision planimétrique permettrait un géoréférencement dans les conditions de précision imposées par le décret. Il n'en est pas de même pour l'altimétrie qui est annoncée ici inférieure à cinquante centimètres. Ce manque d'information ne permet pas de garantir un géoréférencement à dix centimètres dans les trois dimensions.

De plus, la stabilité des repères n'est pas garantie ce qui peut induire d'une part des erreurs de géoréférencement et d'autre part du temps passé inutilement à chercher les points géodésiques qui n'existent peut être plus. L'illustration ci-dessous indique que le dernier repérage du repère géodésique en question date de 2003.

AIZENAY III

Borne en granit gravée IGN

Point vu en place en 2003



source : IGN

Figure 8 : stabilité du repère géodésique N°8500303 AIZENAY III (Vendée)

b. Hypothèse 2

La seconde hypothèse consiste en l'utilisation du récepteur GNSS.

Il existe sept méthodes de levé différentiel GNSS¹⁶.

D'après les conditions précitées que doit remplir la méthode de levé, le géoréférencement par la méthode NRTK apparaît être la plus appropriée.

En effet, elle permet un géoréférencement en temps réel à la précision qu'impose le décret avec un temps de mesure du point équivalent à la seconde.

Elle garantit la précision en temps réel ce qui est une condition indispensable. En effet une fois le levé effectué, la fouille est rebouchée immédiatement ce qui empêche de pouvoir revenir en cas de défaut de précision.

De plus la méthode NRTK ne nécessite pas un temps de mise en place important ce qui est essentiel pour effectuer un levé rapide puisque les municipalités n'autorisent pas à laisser les fouilles ouvertes.

¹⁶ D'après Méthodes de travail dans les réseaux GNSS de M. LEGROS, M. MOREL, M. VIGUIER, M. BIROT.

Les tableaux ci-dessous illustrent l'argumentation qui a conduit à choisir la méthode NRTK pour le géoréférencement des ouvrages souterrains de réseau électrique.

Méthode	Cinématique			
	Temps réel		Post-traitement	
	NRTK	RTK pivot libre	NPPK	PPK pivot libre
Moyen matériel	1 récepteur GNSS	2 récepteurs GNSS		
précision	2 à 5 cm			
avantages	Simplicité de mise en œuvre	Fonctionne partout		
inconvénients	-Couverture du réseau -abonnement	-Acquisition de matériel X 2 -Surveillance du pivot -Logiciel de post-traitement pour rattacher le pivot	Calcul du point non garanti avant traitement	
conclusion	À préconiser	À utiliser sous conditions	À exclure	

Méthode	Statique		
	Temps réel	Post-traitement	
	NRTK moyenné	Pivot central	Multi-station
Moyen matériel	La méthode statique inclus un temps d'occupation important des points (de quelques minutes à quelques heures)		
précision			
avantages			
inconvénients			
conclusion			

Tableau 4: choix de la méthode de levé en différentiel GNSS

La seconde hypothèse avec le choix de la méthode de levé GNSS NRTK est à préconiser pour des raisons de rapidité de mise en œuvre et de fiabilité de précision de positionnement.

Toutefois, une autre méthode de levé GNSS n'est pas à exclure totalement : le RTK pivot libre. Elle pourra être utilisée dans des endroits non couverts par les réseaux temps réels (voir [III.3.e](#)). Pour avoir effectué mon Travail de Fin d'Études en Vendée, je pense notamment à l'île d'Yeu.

Pour opérer en RTK pivot libre, deux récepteurs GNSS sont nécessaires.

Le premier appelé « pivot » est stationné en poste fixe et calcule sa position durant toute la durée de l'opération de géoréférencement. Le second appelé « mobile » permet de géoréférencer les points à mesurer.

Un moyen de communication est nécessaire entre les deux matériels. On préférera utiliser une communication radio UHF sous licence valide pour se prémunir de toute contrainte de réception engendrée par les zones non couvertes par l'internet mobile.

Les deux systèmes GNSS observent les constellations satellites afin de mesurer leur position respective.

« Le mobile calcule en temps réel la ligne de base le séparant du pivot. Le pivot envoie en temps réel ses corrections sur la ligne de base au mobile qui les reçoit en temps réel et les synchronise à chaque époque à ses propres observations pour déterminer sa position centimétrique »¹⁷.

Une fois la phase terrain terminée, la position du pivot sera calculée en post-traitement à partir des données des stations du Réseau de GNSS Permanent (RGP), composé de trois cent quatre vingt deux stations permanentes réparties sur tout le territoire national Français. Ces données sont récupérables gratuitement sur le site du RGP. Un second calcul permet d'obtenir les coordonnées de chaque point dans le système géodésique et la projection souhaitée. On peut aussi imaginer qu'antérieurement au chantier soit mis en place un canevas par un sous-traitant ce qui évite toute la partie calcul en post-traitement pour le prestataire travaux.



Figure 9 : Carte du réseau RGP à proximité de l'île d'Yeu

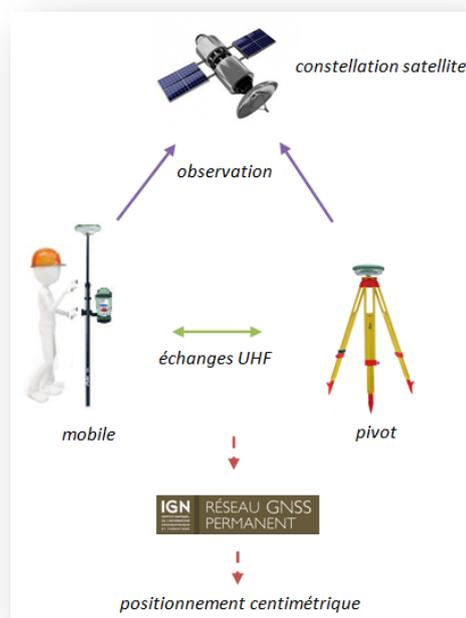


Figure 10 : Schématisation du lever GNSS en mode RTK pivot libre

Il est possible de penser que la première hypothèse pourrait aussi être utilisée pour géoréférencer les ouvrages de réseau électrique dans le cas où la réception des signaux satellite est impossible. Toutefois, des précautions antérieures au levé sont à prendre afin d'avoir la certitude d'un géoréférencement précis à dix centimètres. Pour ce faire, la précision des coordonnées planimétriques de chaque repère géodésique à proximité de la zone de travaux doit être contrôlée (consultable sur le site de l'IGN). On préférera utiliser les repères de nivellement pour déterminer de manière fiable la troisième dimension.

¹⁷ D'après Méthodes de travail dans les réseaux GNSS de M. LEGROS, M. MOREL, M. VIGUIER, M. BIROT.

Le levé planimétrique de l'ouvrage de réseau électrique se fera dans le système local de la station totale. L'altimétrie pourra être déterminée par nivellement indirect en levant depuis la station totale les repères de nivellement NGF. Une adaptation d'Helmert permettra de géoréférencer le tout. Puisqu'elle nécessite au minimum deux points d'appui connus dans les deux dimensions (quatre inconnus lors de la transformation), il est recommandé de lever dans le système local de l'appareil au moins trois voire quatre repères géodésiques afin d'avoir la possibilité d'en écarter certains en cas d'erreur moyenne quadratique élevée obtenu après calcul de l'adaptation. Cette contrainte nécessitera dans la plupart des cas un cheminement jusqu'aux repères qui peuvent être éloignés du chantier donc un temps de réalisation plus conséquent.



Figure 11 : Repères de nivellement sur l'île d'YEU (Vendée)

Figure 12 : Repères géodésiques sur l'île d'YEU (Vendée)

c. Réalisation des mesures : méthode NRTK

La méthode de géoréférencement par système GNSS qui a été portée auprès des prestataires travaux ERDF est la méthode dite NRTK : Network Real Time Kinematic.

Cette méthode différentielle permet d'opérer en «relatif», c'est-à-dire de se positionner par rapport à un ou plusieurs récepteurs GNSS en poste fixe sur un point dont la position est connue avec une précision pouvant être subcentimétrique.

Les récepteurs GNSS fixes composent les réseaux temps réel. Il en existe trois en France :

- Teria (le réseau des géomètres experts)
- Orpheon
- SatInfo

Le système d'acquisition mobile et les récepteurs fixes observent les mêmes constellations de satellite. La connexion du système GNSS mobile au réseau temps réel permet l'échange de données entre le mobile et le réseau. Ces échanges sont bidirectionnels. Le mobile communique sa position au réseau qui lui envoie en retour des corrections. Cet échange aboutit à une amélioration de la qualité du positionnement qui peut atteindre au mieux deux centimètres.

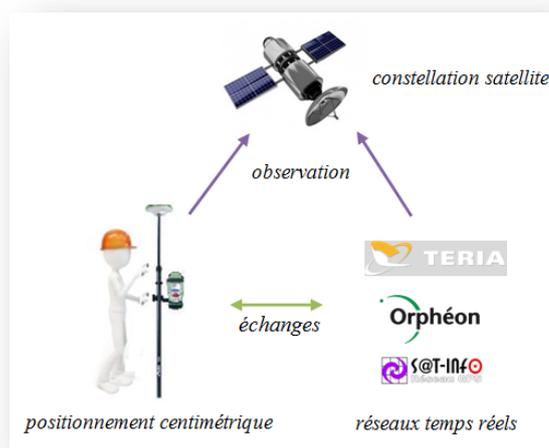


Figure 13 : Schématisation du lever GNSS en mode NRTK

d. Intérêts et limites de la méthode NRTK

Avantages	Inconvénients
rapidité	couverture du réseau GNSS
fiabilité	couverture du réseau de communication
niveau de difficulté du mode opératoire	
moyen humain	
moyens matériels	

e. Les réseaux temps réels

1. TERIA

La création du réseau TERIA en 2005 est à l'initiative de l'ordre des Géomètres-Experts Français.

Il est aujourd'hui composé de cent cinquante six stations de référence compatibles aux constellations de satellite américaine GPS et russe GLONASS.

Sa particularité est qu'il garantit la continuité du service de positionnement centimétrique au-delà du territoire français grâce à des partenariats conclus avec les réseaux européens frontaliers.



Figure 14 : Illustration de l'implantation des stations de référence du réseau TERIA en avril 2014

2. ORPHÉON

Avec cent soixante stations de référence compatibles GPS et GLONASS réparties tous le soixante kilomètres, le réseau ORPHÉON couvre plus de 97% du territoire continental français selon le dernier rapport de l'ARCEP, ce qui en fait le 1^{er} réseau temps réel français.



source : ORPHÉON

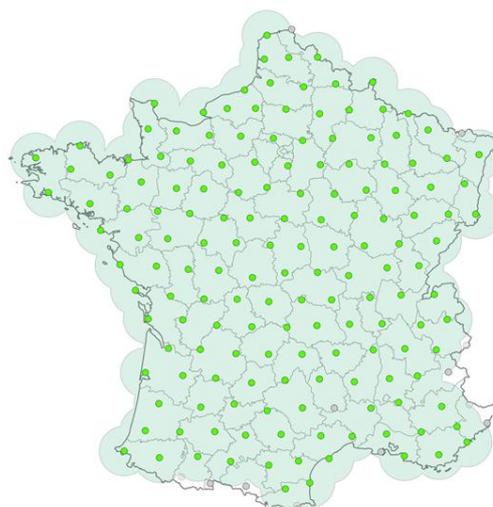
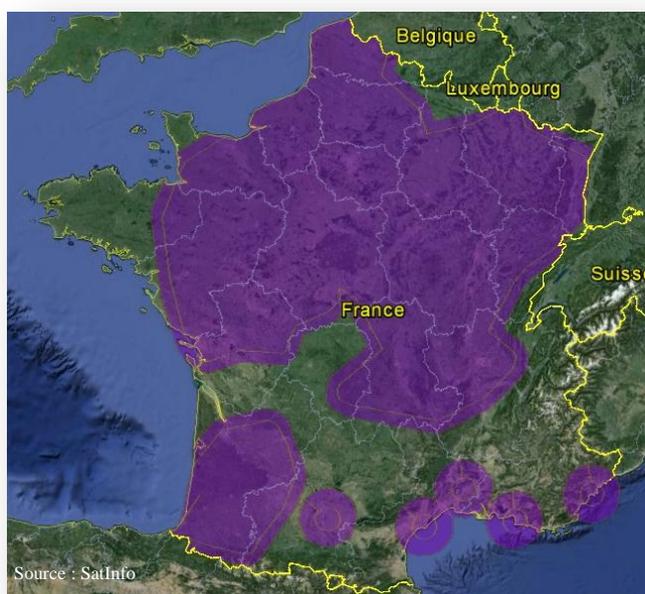


Figure 15 : couverture du réseau ORPHÉON en avril 2013

3. SatInfo



Source : SatInfo

Le réseau SatInfo compte quatre vingt-dix stations de référence.

Ce réseau est en cours de déploiement dont la prévision de couverture totale est estimée à septembre 2016 avec l'implantation de soixante-quinze nouvelles stations (d'après Mme. NEVERS Sandrine, administratrice réseau GPS SatInfo).

Figure 16: couverture du réseau SatInfo en avril 2014

4. Mode opératoire du levé géoréférencé

ERDF doit définir un mode opératoire pour le levé des ouvrages souterrains afin de garantir un report dans sa cartographie qui soit interprétable en tant que classe de précision A.

En effet, à terme ERDF devra répondre aux DT et DICT par des éléments cartographiques uniquement catégorisés en classe A.

Pour ce faire, il faut définir quels points des ouvrages souterrains seront à lever et comment ils seront représentés dans la cartographie ERDF.

➤ Principe :

Le prestataire doit lever tous les éléments permettant de construire le tracé de tous les ouvrages électriques souterrains sous concession ERDF. Ce levé se fera en fouille ouverte. Les points sont à prendre dans les trois dimensions.

Comme les différents rayons qui caractérisent l'emprise des classes de précision sont pris par rapport à l'enveloppe extérieure des réseaux (CF figure 5) et qu'un terrassement se fait de manière verticale, vers le bas (ce qui implique que le premier point de contact visuel avec le réseau est la partie haute de son enveloppe extérieure), les points seront pris sur la génératrice supérieure des câbles et fourreaux.



Figure 17 : Illustration levé fouille ouverte dans les trois dimensions sur la génératrice supérieure des câbles et fourreaux

Un point est à lever à chaque changement de direction, à chaque changement de pente. Il est important, lors du levé, de porter une attention particulière aux portions de l'ouvrage décrivant une courbe.

En effet, comme les points, après intégration dans le SIG ERDF, seront reliés entre eux par des segments de droite, il est important de veiller à ce qu'ils soient levés précisément et en nombre suffisant, de sorte que le tracé obtenu après report colle parfaitement au tracé réel du câble et à la position des accessoires.

L'illustration ci-après argumente les précautions à prendre. En effet pour un même ouvrage et avec une précision de point équivalente, le report cartographique peut être catégorisé en classe B si le nombre de point pris n'est pas suffisant, notamment dans les portions décrivant des courbes.

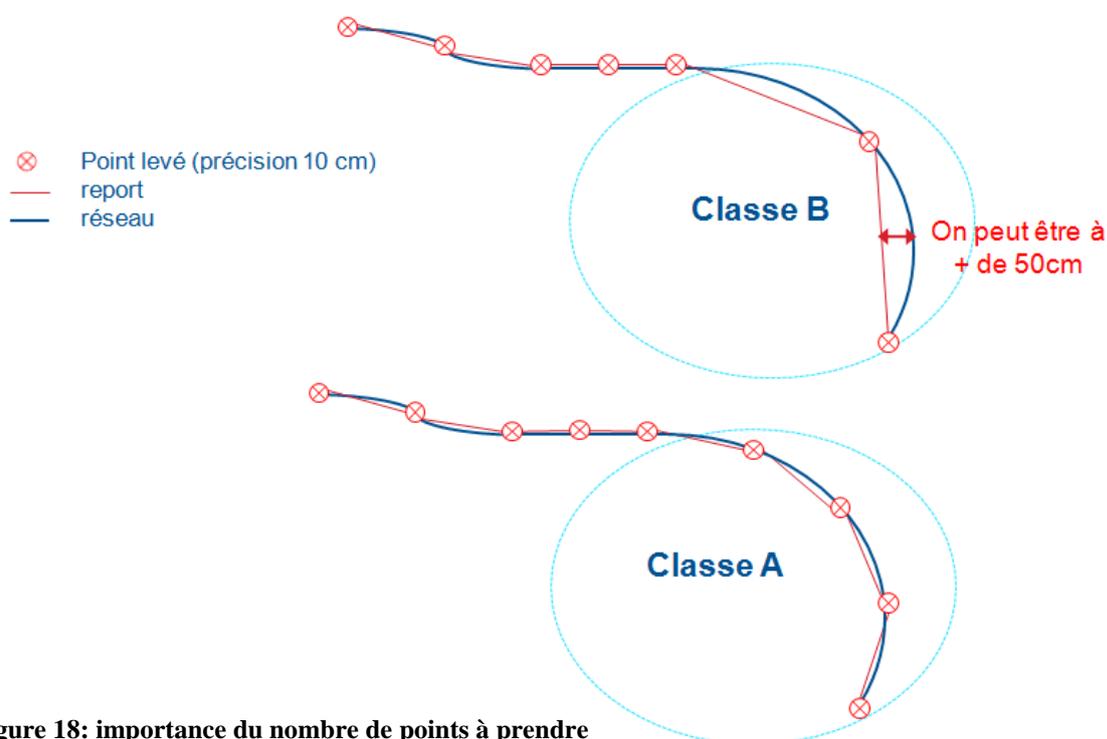


Figure 18: importance du nombre de points à prendre

Dans cet exemple, deux points supplémentaires, pris sur la courbe que décrit l'ouvrage, permet de passer d'une classe de précision B à A. Ainsi le report du tracé de l'ouvrage colle parfaitement à sa position réelle.

En conclusion, la classe de précision A est conditionnée, non seulement par la qualité de précision absolue des points mais aussi par le nombre de points qui sera pris.

La plus restrictive des trois conditions à valider pour garantir la classe A est l'écart moyen maximum $E=15.8$ centimètres (tableau 1). Pour prétendre systématiquement à de la classe A, ERDF a choisi d'imposer un seuil de dix centimètres qu'aucun écart en position ne peut dépasser pour se prémunir de tout manquement à ces trois conditions.

Ainsi chaque point est à lever en fouille ouverte à une précision absolue inférieure à dix centimètres à un sigma. Le nombre de points à lever est défini ci-après.

a. Cas des portions d'ouvrage décrivant une courbe

Les prestataires Travaux attendent qu'ERDF fixe une règle imposant le nombre de points à lever dans les portions des ouvrages décrivant une courbe.

En connaissant le rayon de courbure minimal de chaque câble électrique, il est possible de calculer la distance minimale qui séparera deux points à lever sur l'ouvrage. En effet la corde sera calculée en considérant une flèche de dix centimètres (imposée par ERDF).

valeur de flèche = 10cm		
section de câble (mm ²)	rayon de courbure minimal (cm) câbles unipolaires	distance minimale (cm) entre 2 points levés en portion courbe
50	45	57
95	45	57
150	60	66
240	60	66
section de câble (mm ²)	rayon de courbure minimal (cm) câbles torsadés	distance minimale (cm) entre 2 points levés en portion courbe
50	60	66
95	70	72
150	80	77
240	90	82

valeur rayon de courbure minimal : **spécification technique EDF novembre 2002 HN 64-S-52**

Tableau 5 : calcul de la distance minimale entre 2 points à lever en portion courbe

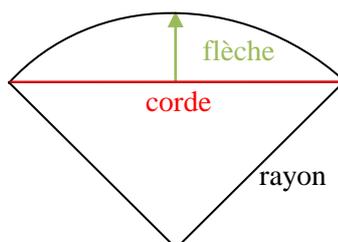


Figure 19 : Illustration corde et flèche

Pour des raisons pratiques sur le terrain, il n'est pas concevable que la personne en charge du géoréférencement retienne autant de règle qu'il y a de type de câble. Aussi il est judicieux de définir une règle unique qui sera à appliquer sur le terrain.

Il paraît alors logique, pour satisfaire aux conditions de précision imposées par la classe A, de retenir la règle la plus restrictive. Ainsi tous les cas de figure qui se présenteront seront à coup sûr catégorisés en classe de précision A.

La distance minimale, qui a été calculée, entre deux points à lever sur un ouvrage décrivant une courbe est de cinquante-sept centimètres. Nous préférons fixer une valeur ronde, aussi la règle à retenir pour les personnes en charge du géoréférencement est la suivante :

Distance minimale entre deux points à lever sur un ouvrage en portion courbe

50 centimètres

Le résultat trouvé peut sembler être contraignant du point de vue des prestataires travaux ERDF. Il n'en est rien puisque la méthode de levé GNSS NRTK permet une prise de point rapide (quelques secondes pour buller et enregistrer les mesures).

b. Cas des réseaux

Le mode opératoire de levé pour les réseaux a fait l'objet d'un prescrit national au sein d'ERDF. Chaque élément du réseau doit être levé : câble, fourreau, poste.

Il est demandé de lever :

Pour les câbles rectilignes :

- 3 points au minimum : début, milieu, fin
- 1 point supplémentaire tous les cinquante mètres maximum
- 1 point à chaque changement de pente

Aux changements de direction :

- 3 points a minima : début, milieu et fin

Dans les courbes :

- Autant de points nécessaires pour garantir une précision de dix centimètres, soit un point tous les 50 centimètres.

Un poste de transformation électrique est à lever aux quatre coins matérialisant son emprise.

source : sntduriez.fr



Figure 20: illustration de levé d'un poste électrique

c. Cas des branchements

Contrairement aux réseaux, les branchements n'ont pas encore fait l'objet d'un prescrit national.

Plusieurs méthodes¹⁸ sont toujours en phase de test au sein d'ERDF : levé fouille ouverte, photogrammétrie, détection active, utilisation de marqueurs électromagnétiques.

Quelle que sera la méthode prescrite, chaque élément du branchement doit être levé : câble, coffret, poteau, remontée aéro-souterraine.

Il est demandé de lever :

Pour les câbles rectilignes :

- 2 points au minimum : début, fin
- 1 point supplémentaire tous les 5 mètres maximum
- 1 point à chaque changement de pente

Aux changements de direction :

- 3 points minima : début, milieu et fin

Dans les courbes :

- Autant de points nécessaires pour garantir une précision de dix centimètres, soit un point tous les 50 centimètres.

Un coffret sera levé à son pied au centre tandis qu'une remontée aéro-souterraine sera levée contre le poteau au plus près de la remontée du câble.



Figure 21 : illustration de levé d'un coffret de branchement électrique



Figure 22: illustration de levé d'une remontée aéro-souterraine

d. Cas des branchements : solution alternative

ERDF, en Pays de Loire, a choisi le géoréférencement des branchements en fouille ouverte. Cette méthode contraint le prestataire travaux à devoir retourner deux fois avec le matériel topographique sur le terrain. En effet le jour des terrassements, la boîte de raccordement n'est pas installée alors qu'elle doit être géoréférencée tout comme le réseau sur lequel elle se branche.

Pour éviter de se déplacer deux fois avec le matériel, une alternative a été trouvée.

La boîte n'est peut être pas installée le jour des terrassements mais son emplacement est dégagé et le réseau existant sur lequel le branchement se raccorde est visible. Aussi il est demandé au prestataire travaux de lever trois points en fouille ouverte sur le réseau existant : le centre et les deux extrémités.

¹⁸ TFE soutenu le 8 juillet 2013 par DIOT Antoine: Géoréférencement des branchements électriques : quelle technique pour répondre à la réforme anti-endommagement des réseaux ?



Figure 23 : Illustration des 3 points à lever en fouille ouverte

Ils permettront d'une part de catégoriser cette partie du réseau en classe A si ce n'est pas déjà le cas ou de contrôler la précision du géoréférencement, mais aussi de déterminer l'altitude de la boîte de raccordement qui est considérée comme identique à celle du réseau sur lequel elle se raccorde.

En plus de ces trois points, le prestataire travaux doit positionner autour de la fouille trois repères, à géoréférencer eux aussi. Si le sol le permet, l'utilisation de clou d'arpentage est préconisée. À défaut, la matérialisation se fera au moyen de piquet bois clou (le clou permet de prendre une cote précise depuis la tête du clou).

Ils seront toujours implantés de la même façon autour de la boîte de raccordement:

- deux repères du côté opposé au branchement
 - un repère du côté du branchement
- } par rapport au réseau existant



Figure 25 : implantation des trois repères

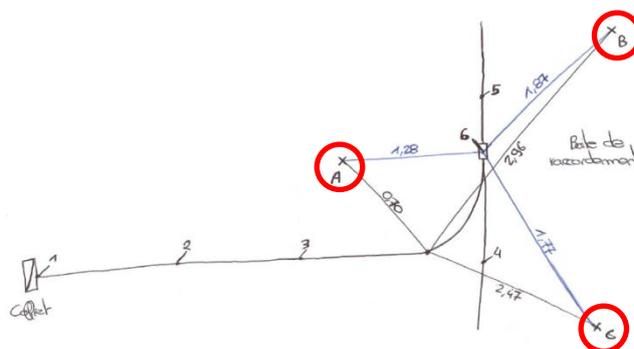


Figure 24 : illustration de la prise de côtes demandée

Après sa pose par l'électricien, la boîte de raccordement ainsi que le début de courbe du branchement seront à coter par rapport à ces trois repères. Il est donc demandé un total de six mesures pour établir deux triangulations. Les côtes sont à prendre à l'horizontal avec un maximum de précaution pour garantir un géoréférencement de classe A. Pour ce faire, il faut veiller à implanter les trois repères à deux trois mètres au plus de l'accessoire pour faciliter la prise de cotes. Pour éviter, lors du calcul de la triangulation, des intersections en sifflet, il faut espacer le plus possible les repères les uns des autres.

La boîte de raccordement sera donc géoréférencée par triangulation au bureau. La planimétrie est obtenue grâce aux cotations et l'altimétrie est obtenue grâce aux trois points pris sur le réseau existant.

Cette méthode est actuellement en phase de test. Les retours d'expérience prouveront ou non si cette alternative permet une catégorisation de l'ouvrage en classe A.

Quand bien même elle ne suffirait pas à la classe A, ce n'est qu'une alternative proposée qui permet plus de souplesse aux prestataires travaux. Libre à eux, pour se prémunir de toute incertitude de précision, de retourner une deuxième fois sur le terrain avec le matériel topographique.

e. Méthode dérogatoire durant la phase d'expérimentation

Un chantier branchement fonctionne toujours de la manière suivante :

- Terrassement et déroulage en début de semaine
- Pose du branchement en milieu de semaine
- Réfection des voiries en fin de semaine.

De ce fait, la prestation de géoréférencement des branchements fouille ouverte est problématique du point de vu des prestataires travaux ERDF. En effet il leur faudrait embaucher quasiment autant de géomètres qu'ils n'ont d'équipe branchement. Ce qui signifie qu'il faut équiper tous les géomètres salariés de l'entreprise d'une station totale, d'un récepteur GNSS et d'un véhicule. De plus, ces personnes auraient un volume de travail très disparate puisqu'elles seraient très occupées en milieu de semaine pour le levé et en fin de semaine pour le rendu cartographique mais n'auraient que peu d'activité en début de semaine. Ces différentes contraintes ont poussées les prestataires travaux à ne pas signer les avenants aux marchés ERDF qui incluaient la prestation de géoréférencement.

ERDF a donc réfléchi à une méthode de levé dérogatoire qui permettrait une gestion moins complexe des volumes de travail qu'impose la prestation de géoréférencement.

Puisqu'il est autorisé de géoréférencer a posteriori la boîte de raccordement à l'aide d'une triangulation, pourquoi ne pas inclure la totalité du branchement dans cette permission ?

La réflexion a découlé sur le lancement d'un test avec deux entreprises travaux en Pays de Loire.

Cette méthode consiste à réaliser en fouille ouverte une prise de mesure GNSS (ce qui limite la compétence en interne des prestataires travaux car la station totale n'est plus une prescription) et en cas d'échec de coter par rapport à trois clous d'arpentage les points non levés. Les clous seront levés a posteriori, ce qui permet de caler informatiquement le branchement dans le système géodésique voulu.

Cette dérogation permet d'une part une meilleure gestion des hommes et des matériels et d'autre part de s'affranchir de l'achat d'une station totale. En effet puisque le levé ne nécessite plus une intervention sans délai (les fouilles peuvent être rebouchées même si les clous ne sont pas levés), une sous-traitance du levé des clous est envisageable.

Pour des raisons de précision, le matériel préconisé pour la prise de cote est la mire et le télémètre laser.

La mire permettra d'être la surface de contact du laser du télémètre. Elle permettra ainsi de lire directement la profondeur de la génératrice supérieure de l'ouvrage avec une précision centimétrique. Le télémètre permet de prendre des distances avec une précision inférieure au centimètre. Il faut tout de même veiller à l'horizontalité de l'appareil. Il permet également d'éviter la mesure de cote au ruban qui est moins précise du fait de la tension qu'il faut induire au ruban.

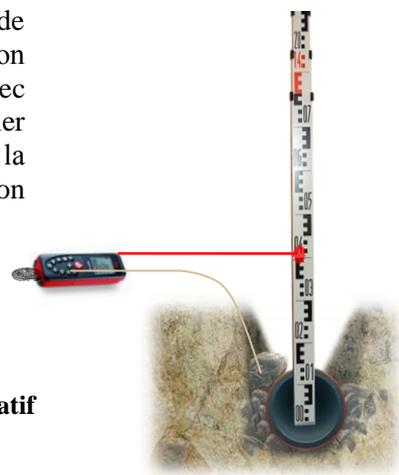


Figure 26 : Illustration du mode opératoire du levé en relatif

f. Ressenti des prestataires travaux ERDF

Une partie de mon TFE a été d'exporter la méthode de géoréférencement prescrite par ERDF à tous les prestataires travaux ERDF en Pays de Loire.

Les marchés travaux ayant été signés avant la date d'entrer en vigueur du décret DT/DICT, l'obligation de géoréférencement des ouvrages n'y était pas incluse. Des avenants aux marchés ont été envoyés pour prendre en compte cette prestation. Les contraintes qu'imposait cet avenant étaient trop importantes pour certains prestataires qui ont alors refusé de signer l'avenant.

Le point dur de cet avenant était qu'ERDF avait imposé le levé en fouille ouverte. Cette obligation rendait impossible la sous-traitance de la prestation de géoréférencement. En effet il est inconcevable de penser disposer d'un sous-traitant immédiatement à la demande.

Cet avenant nécessitait donc un investissement conséquent en termes de matériels. En effet un package station totale récepteur GNSS coûte près de quarante kilo-euros. A cela devait s'ajouter l'embauche d'une personne de formation géomètre. L'autre point dur était le volume de travail ainsi que la gestion de ce nouveau personnel à occuper à temps plein.

La position actuelle d'ERDF est d'accompagner tous ses prestataires travaux à acquérir la compétence et le matériel pour réaliser le géoréférencement dont la prestation sera incluse dans les prochains marchés.

Synthèse :

Points à lever	réseau	branchement
portion rectiligne	<ul style="list-style-type: none"> • 3 points au minimum : début, milieu, fin • 1 point supplémentaire tous les 50 mètres maximum 	<ul style="list-style-type: none"> • 2 points au minimum : début, fin • 1 point supplémentaire tous les 5 mètres maximum
	<ul style="list-style-type: none"> • 1 point à chaque changement de pente 	
changement de direction	<ul style="list-style-type: none"> • 3 points a minima : début, milieu et fin 	
portion courbe	<ul style="list-style-type: none"> • Autant de points nécessaires pour garantir une précision de 10 centimètres, soit un point tous les 50 centimètres. 	

Tableau 6 : synthèse de la prescription ERDF des les éléments à lever

Les retours d'expérience des différentes méthodes testées permettront la rédaction d'un prescrit national qui résoudra tous les points problématiques.

Les différents cas problématiques sont expliqués ci-après.

5. Cas problématiques

Dans certain cas, par obligation imposée par le gestionnaire de voirie ou lorsque la géologie le permet, les ouvrages seront posés sans ouverture de tranchée à l'aide de matériels mécanisés.

Ils servent à traverser un obstacle naturel ou une infrastructure sans avoir à perturber le trafic par l'ouverture d'une tranchée.

De plus, choisir une technique de pose mécanisée préserve les ressources naturelles (pas d'apport de matériaux), réduit les nuisances de transport de matériaux, les émissions de CO₂, les coûts, préserve l'environnement et favorise le développement durable.

Les différentes techniques mécanisées sont :

- Soc ou sous-soleur et trancheuse
- Forage dirigé

Ces cas sont problématiques car ils ne permettent pas un géoréférencement des ouvrages en fouille ouverte.

a. Forage dirigé

Le forage dirigé est une technique de travaux localisable qui permet de poser des canalisations et des câbles, sans ouvrir de tranchée. Il permet de passer sous des obstacles (chaussées, voies ferrées, cours d'eau...) sans intervenir sur ces derniers.

Un train de tiges de forage pénètre dans le sol par une fouille, sous l'action d'une tête de forage.

La tête est équipée d'une sonde émettrice de fréquence qui va communiquer au fur et à mesure de la progression sa profondeur, son inclinaison, sa position horaire avec une précision de l'ordre du centimètre (2 à 5% de la profondeur), à l'appareil en surface, ce qui va permettre de guider le forage.

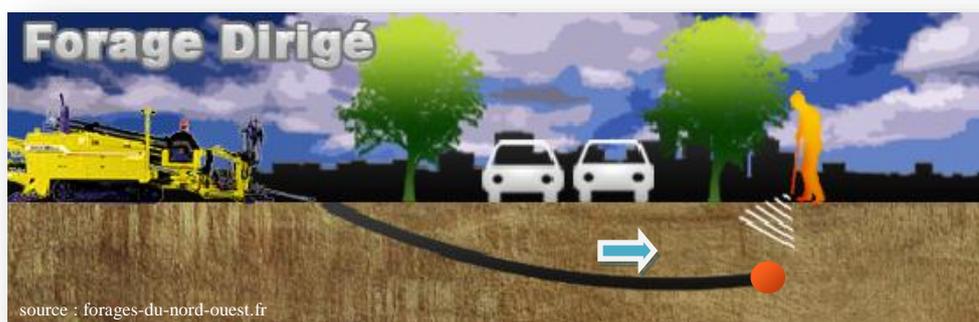


Figure 27 : illustration du tir pilote: première étape du forage dirigé

Les différents relevés de profondeur suivant l'avancement du forage permettent d'établir une trajectoire précise.

Une fois le tir pilote effectué, on procède à l'alésage par aller-retour successifs du train de forage afin d'agrandir le trou jusqu'au diamètre définitif et au tirage qui consiste en la mise en place du fourreau destiné à recevoir le réseau.

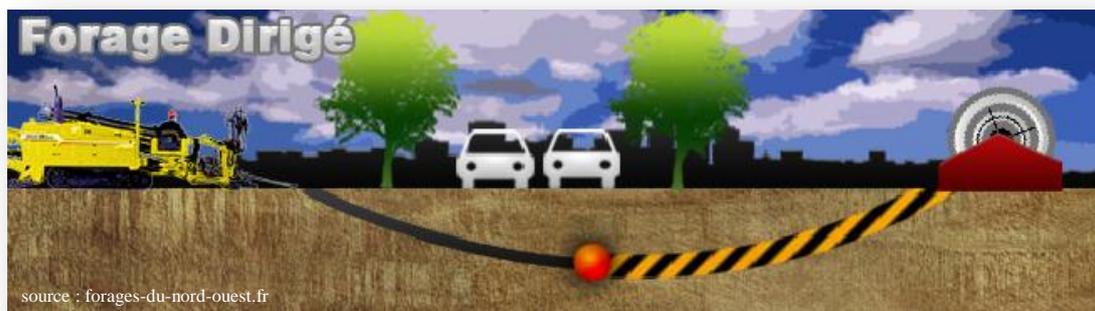


Figure 28 : illustration du tirage: dernière étape du forage dirigé

Comment géoréférencer en classe de précision A un ouvrage posé au moyen d'un forage dirigé ?

Avant la mise en place du décret DT/DICT et donc de l'obligation de géoréférencement en classe A, le récolement de l'ouvrage était réalisé au moyen du profil du tir établi par détection en surface. La précision de ce profil était corrélée à la longueur du forage dirigé mais aussi à sa profondeur.

La qualité de la détection était évaluée à 5% de la longueur du forage si la profondeur n'excédait pas trois mètres. Au-delà, l'erreur de détection atteignait 10%.

Pour garantir un géoréférencement à une précision de dix centimètres, seuls les forages n'excédant pas deux mètres de profondeurs garantissent la précision subdécimétrique.

De plus la détection n'est faisable qu'au dessus du sol ; or les forages dirigés sont utilisés notamment pour contourner des cours d'eau, la partie du forage sous le cours d'eau n'est pas détectable. Dans cette partie d'ouvrage, le récolement était donc supposé, ce qui pose maintenant un problème au regard du décret.

Il faut donc trouver une méthode et un mode opératoire qui permettent le géoréférencement à dix centimètres de tous les forages dirigés et sur toute leur longueur.

4. Le gyroscope

La solution consiste en l'utilisation du gyroscope.

Un test de géoréférencement d'un forage dirigé à TOUVOIS (Loire Atlantique) a été réalisé par l'entreprise I-REZOO le 13/05/2014. Ce forage dirigé a permis de contourner le cours d'eau *Le Falleron*.

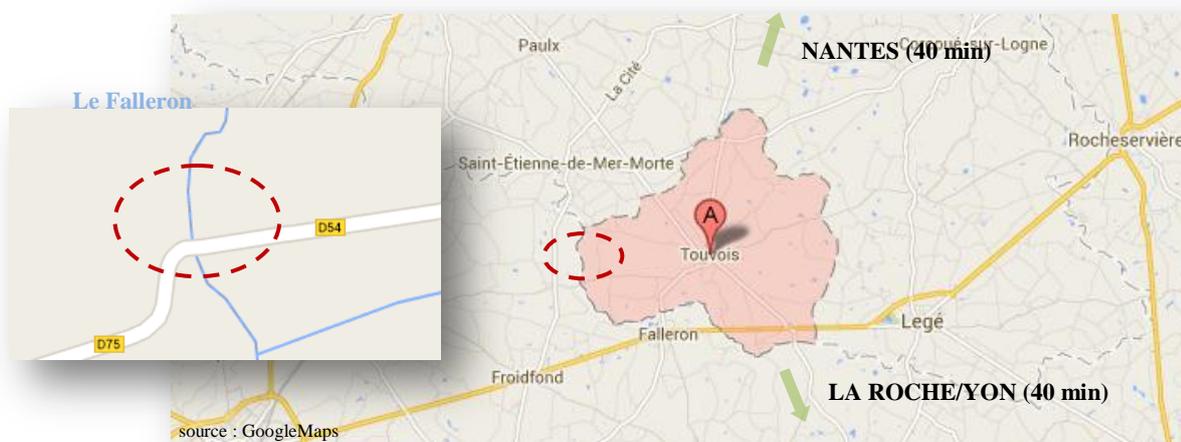


Figure 29 : Plan de situation du géoréférencement test d'un forage dirigé à TOUVOIS

Le gyroscope est introduit dans le fourreau dont les points d'entrée et de sortie sont levés au moyen du récepteur GNSS. Le gyroscope est muni de capteurs inertiels (gyromètres, accéléromètres et inclinomètre) qui mesurent en temps réel son accélération, son inclinaison et sa déviation. Un odomètre est intégré au gyroscope pour mesurer la distance parcourue.

L'appareil avance à une vitesse de quatre mètres par seconde avec une cadence maximale de restitution de la position de cents points par seconde ce qui donne donc une position tous les quatre centimètres.

➤ Mode opératoire :

Le gyroscope est introduit dans le fourreau. Il est attaché à l'aiguille préalablement installée dans le fourreau qui lui sert de guide pour avancer. L'extrémité du gyroscope doit être placée à la position exacte du point levé en entrée de fourreau. Une immobilisation de trente secondes en position initiale permet la calibration de l'appareil. Le gyroscope est tiré le long de la conduite dont la sonde enregistre tous les mouvements du système. Une fois la position de sortie atteinte, il doit être stabilisé, au point exact de sortie mesuré, pendant trente secondes pour la calibration. Le système est retourné et la manipulation est reproduite. Les deux allers-retours en inversant le sens de déplacement de la machine permettent d'une part de prendre en compte la rotation de la terre¹⁹ et d'autre part d'avoir la possibilité d'éliminer un trajet si il est entaché d'erreur.

Le gyroscope est ensuite sorti du fourreau. Les données enregistrées sont exportées à la console de commande pour réaliser le calcul des positions à partir de la somme de tous les mouvements du système.

Instantanément sur le terrain, il suffit d'entrer dans le logiciel de traitement des données du gyroscope les coordonnées dans les trois dimensions des points d'entrée et de sorti du fourreau ainsi que le diamètre du fourreau et la référence du matériel utilisé (En effet les paramètres de calibration intégrés dans le logiciel s'adaptent au matériel entré en référence. Différentes pièces du système sont interchangeables pour s'adapter aux différents diamètres des fourreaux allant de cinq centimètres à 2.5 mètres) pour obtenir le récolement de l'ouvrage.

La distance linéaire mesurée par l'odomètre intégré au gyroscope est comparée à la distance calculée entre les points levés d'entrée et de sorti du fourreau. Ce premier contrôle non exhaustif réalisé sur le terrain permet de savoir immédiatement si la manipulation est à réitérer ou non.

➤ Résultats :

Ici, trois acquisitions ont été réalisées. Les trois passages du gyroscope ont été utilisés pour le calcul puisqu'ils ont montré un niveau de répétabilité élevé.

Le récolement par système gyroscope a permis la mesure d'un point tous les mètres de fourreau posé par forage dirigé soient quatre vingt quatre points au total.

Le rapport de l'opération de mesure fournit différentes données :

	Tolérance standard	Étendue observée
Planimétrie	0,21 m	0,08 m
Altimétrie	0,08 m	0,12 m

L'étendue est la différence entre la valeur observée la plus élevée et la plus faible dans un ensemble de données. Elle est fournie ci-après en pourcentage de la longueur mesurée du forage dirigé soit 84 mètres.

¹⁹ D'après l'entreprise I-REZOO

La précision des mesures est une marge estimée comprenant (1) La précision d'étalonnage de l'appareil, (2) la précision des opérations, (3) l'impact négatif dû à la condition du tuyau et (4) Une marge de sécurité.

La Tolérance Standard (ST) calculée est une marge constante dérivée des valeurs historiques des 3 points décrits ci-dessus et (4) une marge généreuse de sécurité. Pour le plan horizontal, L'OS est 0,05% de la longueur mesurée entre les points connus, et pour le profil de la profondeur, il est 0,07% de la longueur mesurée entre les points connus.

L'étendue observée (OS) est l'étendue absolue entre les diverses mesures individuelles prises en compte pour la génération du fichier des résultats moyens.

Ces résultats et tolérances ou l'étendue observée ne peuvent en aucune circonstance être interprétés comme une précision assurée.

source : I-REZOO

Figure 30 : extrait du rapport du géoréférencement du forage dirigé de TOUVOIS au moyen du gyroscope

longueur du forage 84 m	Étendue annoncée (% longueur totale)	Étendue observée (m)	Étendue recalculée (m)
Planimétrie	0.05%	0,08	0,04
Altimétrie	0.07%	0,12	0,06

Nous observons un facteur deux entre l'étendue observée fournie par I-REZOO et l'étendue recalculée.

L'inconvénient d'utiliser l'étendue, c'est d'une part qu'elle ne mesure pas la dispersion de la majorité des valeurs d'un ensemble de données mais celle entre les valeurs extremum et d'autre part qu'elle est grandement influencée par la présence d'une seule valeur singulière. Ici le niveau de répétabilité élevé énoncé nous indique qu'aucune valeur aberrante n'a été observée.

Même si dans notre cas seulement trois valeurs composent l'échantillon, il faut d'autres indicateurs pour avoir une meilleure idée de la dispersion des données.

Les données acquises suivent une loi normale centrée réduite puisque l'on réalise N mesures indépendantes de la même grandeur.

Nous sommes donc en mesure d'estimer l'écart-type grâce aux travaux de K.PEARSON. Pour un échantillon de trois données, l'écart type estimé est le rapport entre l'étendue et un coefficient extrait des tables de K. PEARSON ici égal à 1.693.

$$\sigma_{plani\ estim\acute{e}} = \frac{\acute{e}tendue_{plani}}{d_2} \approx \frac{0.08}{1.693} \approx 0.05\ m$$

$$\sigma_{alti\ estim\acute{e}} = \frac{\acute{e}tendue_{alti}}{d_2} \approx \frac{0.12}{1.693} \approx 0.07\ m$$

$$\sigma_{total} = \sqrt{\sigma_{plani}^2 + \sigma_{alti}^2} = \sqrt{0.05^2 + 0.07^2} \approx 0.08\ m$$

Au vu des calculs de l'estimation des paramètres, ce géoréférencement à l'aide d'un gyroscope respecterait la classe de précision A imposée par le décret.

Ces résultats tiennent compte de l'imprécision du géoréférencement par la méthode NRTK qui est au mieux de deux centimètres.

Attention tout de même à l'interprétation de ces résultats, calculés à partir de l'étendue, qui ne sont que des estimations. L'entreprise I-REZOO précise qu'elle se décharge de toute précision garantie.

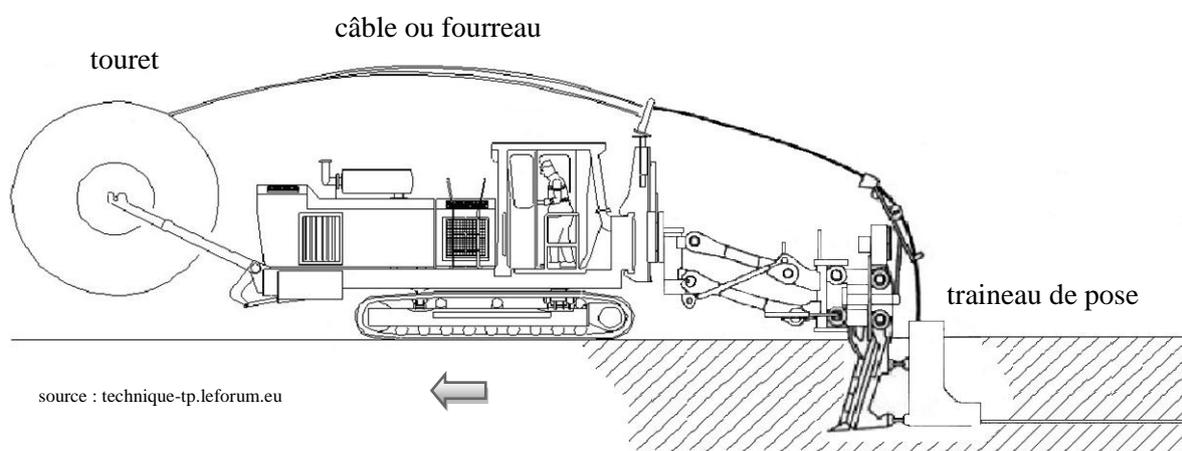
Le gyroscope fera parti de la prochaine publication du guide technique réglementaire à paraître au 31/12/2014.



Figure 31 : Les étapes du géoréférencement par gyroscope DR-HDD-4.2 d'un forage dirigé

b. Soc ou sous-soleur et trancheuse

Le soc est la technique de travaux la plus rentable et la plus économique pour la pose des câbles et fourreaux souterrains, sur de longues comme courtes distances rectilignes. Dans les terres meubles, on peut poser un câble pratiquement sans préparer de tranchée. Le soc vibrant permet de fendre le sol sur de très faibles largeurs, environ 10 centimètres, ne nécessitant ni remblayage, ni évacuation des déblais. Le câble, contenu dans un traineau disposé à l'arrière de la lame vibrante, est incorporé dans le sol. Les traineaux modernes permettent d'enterrer simultanément plusieurs câbles ou fourreaux ruban avertisseur compris. Peu ouvert, le sol se referme ensuite facilement.



source : technique-tp.leforum.eu

Figure 32 : Schéma de pose d'un câble à l'aide d'un soc



Figure 34 : Visite d'un chantier en sous-soleur le 26/03/14



Figure 33 : Restes du passage du sous-soleur

La trancheuse est utilisée pour travailler en milieu urbain. Elle est équipée d'une scie circulaire qui réalise des tranchées de faibles dimensions. Cette technique de travaux est utilisée pour minimiser l'impact sur le trafic et la chaussée, en raison de la taille réduite des tranchées et de la réduction des matériaux de déblais excavés.

Le réseau est posé dans la tranchée directement après l'ouverture. Une trancheuse peut être équipée d'un tapis d'excavation des déblais ou d'un caisson d'étayage et de sablage installé à l'arrière de la trancheuse permettant de reboucher la tranchée instantanément. La pose est réalisée en un seul passage.

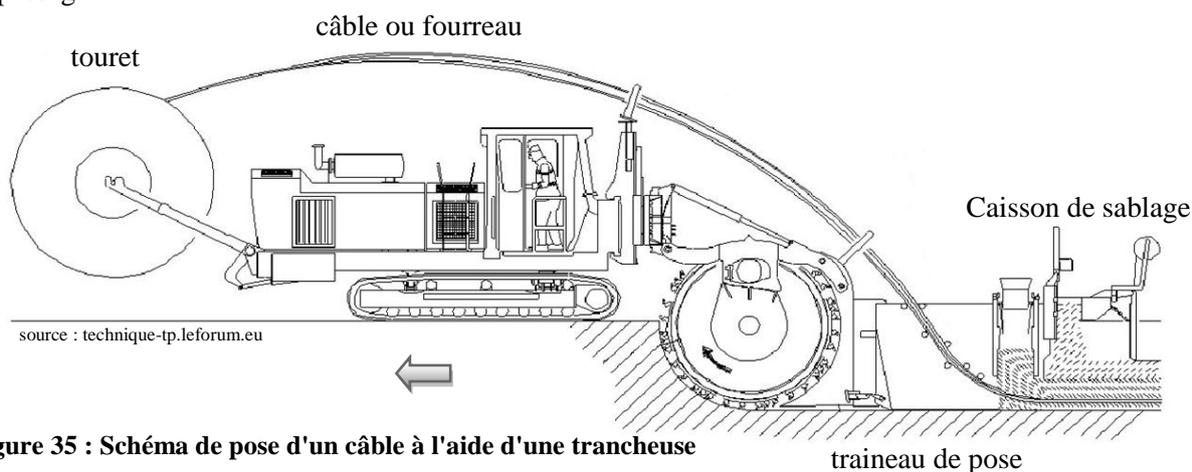


Figure 35 : Schéma de pose d'un câble à l'aide d'une trancheuse



Figure 36 : visite d'un chantier trancheuse le 26/03/14



Figure 37 : récolement ouvrage posé en trancheuse

Dans le cas de chantier en tranchée dont la fouille n'est pas rebouchée immédiatement, le levé se fera suivant les prescriptions ERDF, à savoir le levé fouille ouverte (Illustration ci-avant).

A priori la solution qui paraît la plus appropriée pour géoréférencer des ouvrages posés au moyen du soc ou de la tranchée avec remblaiement instantané consiste en un levé dit « en relatif ». Le pointé du récepteur GNSS se fera directement sur le traineau de pose de la tranchée ou du soc. Ce dernier étant de dimension fixes et mesurables, l'altimétrie obtenue devra faire l'objet de modification pour prendre en compte la hauteur du traineau de pose ainsi que la section de l'ouvrage posé pour obtenir la troisième dimension réelle de la génératrice supérieure du câble. La planimétrie quant à elle sera inchangée.

L'inconvénient de la charrue à soc vibrant est les fortes vibrations qu'elle produit qui certes n'empêchent pas la prise de mesure par système GNSS mais réduisent considérablement la durée de vie de l'appareil. Au vu du coup du matériel, cette méthode ne peut pas être retenue.

Cependant il ne faut pas oublier que la tranchée est utilisée dans le cas de long linéaire à réaliser. Aussi, puisqu'il est demandé un point tous les cinquante mètres, on peut penser que venir terrasser sur le remblai non compacté aux endroits où un point à lever est nécessaire est réalisable. Simplement, ce mode opératoire est contradictoire avec la technique de travaux par pose mécanisée qui permet d'éviter les terrassements. De plus, cette méthode paraît tout de même coûteuse.

Après analyse, la solution qui paraît la plus adaptée pour géoréférencer des ouvrages posés au moyen du soc ou de la tranchée consiste en une détection active. Une fréquence est injectée dans le câble, ce qui permet de détecter sa position en surface avec une précision correspondant à de la classe A d'après les retours d'expérience ERDF (dans le cas d'un réseau seul). L'endroit au sol où l'intensité de réception de la fréquence induite est la plus forte est matérialisé puis levé par système GNSS.

L'inconvénient de la détection active est qu'elle nécessite la pose d'une pince émettrice sur le réseau afin d'induire une fréquence à détecter.

Cette opération, s'effectuant au voisinage des réseaux électriques, nécessite une habilitation ainsi que des autorisations d'accès au poste.

Le second point problématique, plus d'ordre technique, est la propagation de la fréquence injectée dans tous les ouvrages en cas de multi-réseaux. Il devient alors difficile de positionner l'ouvrage avec une précision qui soit interprétable en classe A.

Des marchés de détection sont en cours de mise en place chez ERDF ce qui permettra, après retours d'expérience, de prouver si la détection active peut être déployée pour palier aux contraintes qu'impose le récolement des ouvrages posés par techniques de travaux mécanisés.



Figure 38 : détection et géoréférencement de réseaux enfouis

6. Cas des câbles subaquatiques

a. Principe

Un sonar (**S**ound **N**avigation **A**nd **R**anging) embarqué sur une plate-forme sous-marine téléguidée depuis un navire permet de détecter et localiser des câbles subaquatiques en utilisant les propriétés de propagation du son dans l'eau.

La combinaison de plusieurs systèmes est nécessaire pour obtenir un géoréférencement précis des câbles subaquatiques. La combinaison d'un récepteur GNSS et d'une centrale inertielle permet de connaître le positionnement précis du navire. Un système de positionnement sous-marin permet d'obtenir la localisation du mobile recevant le système sonar.

Un géoréférencement de câbles subaquatiques entre l'Île d'Yeu et le continent a été réalisé en juin/juillet 2012 grâce aux équipements suivants:

- KLEIN 3000 Système sonar
- IXSEA GAPS
- ROV *Super Achille*: **R**emotely **O**perated **V**ehicle = véhicule téléguidé.

b. Système IXSEA GAPS

GAPS combine des technologies **U**ltra **S**hort **B**ase **L**ine (USBL), système de navigation inertielle et système de positionnement GNSS afin de connaître la localisation du navire et du ROV qui peut opérer jusqu'à quatre milles mètres de profondeur.



source : XBLUE

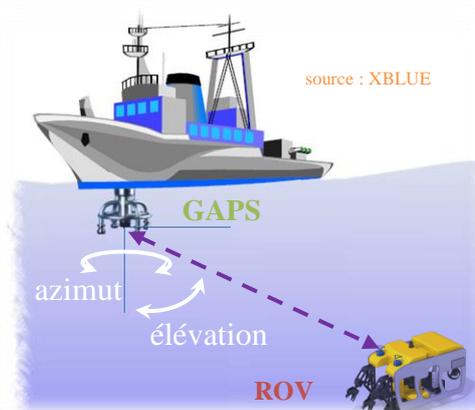
Figure 39 : illustration du système IXSEA GAPS

USBL est un système de positionnement sous-marin acoustique de très grande précision. Un émetteur-récepteur permet d'obtenir la distance, l'élévation et l'azimut d'une cible submergée en utilisant les propriétés de propagation des signaux acoustiques sous-marin. Cette méthode est basée sur deux principes :

- déterminer précisément le temps mis par un signal acoustique pour se déplacer entre la cible et l'émetteur-récepteur pour obtenir la distance séparant le système de la cible.
- obtenir l'angle du signal arrivant en connaissant la différence de phase à la réception du signal au niveau de chaque récepteur ainsi l'élévation et l'azimut du signal peuvent être déterminés.

INS : Le système autonome de navigation inertielle utilise des capteurs d'accélération et de rotation afin de déterminer le mouvement absolu du navire.

GNSS : Le système de positionnement global permet de se référer au système géodésique voulu. Il a ici la fonction de recalibrer les données du système de navigation inertielle pour palier aux problèmes de dérive (dégradation de la précision au fil du temps).



source : XBLUE

Figure 40 : schématisation de fonctionnement du système GAPS

Précision des mesures IXSEA GAPS

Positionnement du navire	
Roulis / tangage / lacet	< 10 cm
position RTK	2 à 5 cm
positionnement des mobile/sonar	
0,2% de la distance oblique	
dont une précision angulaire	0,12°

Tableau 7 : précision des mesures du système IXSEA GAPS

c. Système sonar KLEIN 5900

Le système sonar KLEIN 5900 permet une observation acoustique des fonds marins jusqu'à des profondeurs supérieures à cinq cent mètres offrant une résolution longitudinale de 0.12% de la distance sonar-fond marin. La résolution transversale du système est de quatre centimètres.

Le constructeur ne fournit aucune indication de précision.

L'analyse de l'acquisition du système sonar permet d'identifier les parties visibles des câbles sous-marins. Un traitement informatique permet de déterminer les positions des points à forte variation de gradient. Après intégration des points, le tracé du câble est obtenu.



source : L-3com

Figure 41 : Illustration du système KLEIN 5900

source : COPETECH-SM

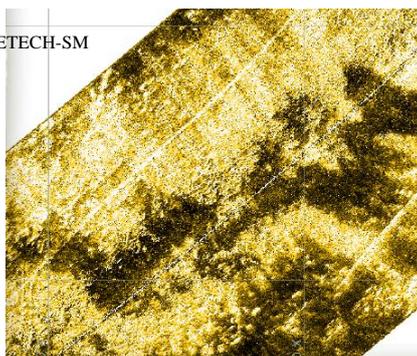


Figure 43 : Exemple rendu bande sonar

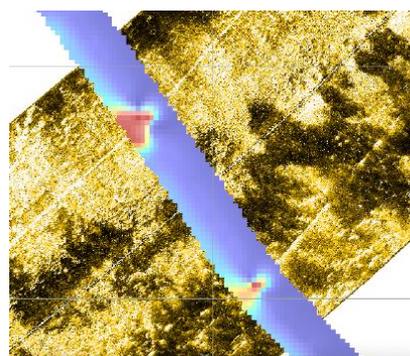


Figure 42 : illustration analyse gradient

Les zones de très faibles profondeurs ne sont pas compatibles avec une inspection ROV du fait de la visibilité très réduite voire nulle ou de la présence de zone piscicole. Ces zones doivent faire l'objet d'une inspection complémentaire par plongeur.

d. Conclusion

Au regard du décret DT/DICT, cette méthode ne garantit pas un géoréférencement des ouvrages subaquatiques de réseau électrique de classe de précision A.

En effet, la précision du positionnement du navire et du ROV couplée à la précision d'acquisition du système sonar (dont la valeur est inconnue) ne permet pas de répondre à la condition a (tableau 1) imposée par la classe A.

On peut tout de même penser que les moyens mis en place permettent d'obtenir une précision de localisation des ouvrages subaquatiques suffisante au regard de l'utilisation de ces données. D'une part aucun terrassement ne sera réalisé à cet endroit et donc aucun endommagement découlant de travaux ne pourra intervenir. D'autre part, les coordonnées obtenues servent à définir des zones non chalutable permettant de protéger les ouvrages de toute agression extérieure.

7. Méthode non tolérée

Avant toute prescription au niveau national, il est indispensable de mener des tests afin de définir la méthode la plus efficace et la plus rentable.

Les entreprises peuvent ainsi émettre leur avis et même proposer d'autres méthodes qu'ils pensent plus aisées à réaliser. Cela a été notamment le cas pour pallier aux contraintes de disponibilité du personnel en charge du géoréférencement fouille ouverte des ouvrages de réseau électriques posés par méthode de travaux mécanisés.

Plutôt que de laisser les fouilles ouvertes en attendant l'intervention du géomètre, les entreprises posaient des fourreaux verticaux dans la tranchée. Le choix d'un diamètre conséquent des fourreaux permettait de faire glisser la canne du récepteur GNSS à l'intérieur jusqu'à la position supposée de la génératrice supérieure du réseau électrique.



Figure 44 : Illustration de pose des fourreaux verticaux

Ces retours d'expérience ont prouvé que cette méthode est à proscrire totalement.



Figure 45 : illustration de non verticalité des fourreaux

Premièrement, on ne peut pas parler de fouille ouverte puisque le réseau n'est pas visible, de ce fait l'entreprise travaux est incapable de garantir la précision du levé à dix centimètres.

Deuxièmement, les fourreaux ne sont pas verticaux, de ce fait le point mesuré au sol n'est celui du pointé de la canne du récepteur GNSS.

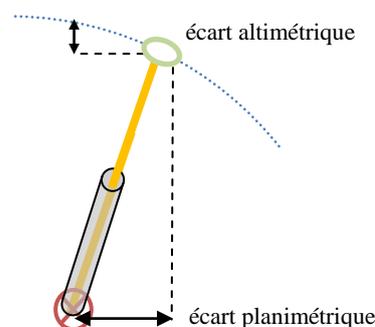


Figure 46 : Illustration du défaut de pointé

Troisièmement, après passage du géomètre, les fourreaux sont arrachés et le remblai est réalisé uniquement avec du sable, ce qui ne respecte pas la norme régissant les structures de chaussée.

Quatrièmement, certains fourreaux ne peuvent pas être enlevés, ils sont coupés au niveau du terrain naturel et laissés dans la fouille ce qui a provoqué un endommagement des ouvrages lors du compactage du remblai.

Cinquièmement, entre le lapse de temps où le géomètre n'est pas encore intervenu, les fourreaux verticaux ne font l'objet d'aucune signalisation, c'est pourquoi certains sont arrachés. Ils représentent un facteur accidentogène important.

Sixièmement, l'expérience a prouvé que cette méthode ne respecte pas les prescriptions d'ERDF en termes de quantité de points à lever.

Pour toutes ces raisons, la méthode de pose des fourreaux verticaux est proscrite par ERDF.



Figure 47 : Illustration du caractère accidentogène des fourreaux

8. Représentation

Dans le but d'identifier au premier coup d'œil un ouvrage électrique catégorisé en classe A sur la cartographie ERDF, une représentation a été choisie.

Les points levés seront représentés sur les plans par un losange à fond gris :



On les appelle PTRL : PoinT de position Réseaux Levés.

Le centre du symbole doit être sur la ligne du réseau.

Il est associé à un texte donnant l'altitude: $Z = \text{Alt}$, accompagné le cas échéant de profondeur atypique entre parenthèses (*,**). Ces éléments doivent être renseignés à une résolution centimétrique.

Le tracé doit mentionner le type d'énergie des réseaux (BT, HTA), l'identification des branchements et des protections mécaniques (fourreaux). (annexe 8)

L'orientation du symbole est le Nord Géographique de sorte que toutes les étiquettes associées aux PTRL soient lisibles sans avoir à tourner le plan.

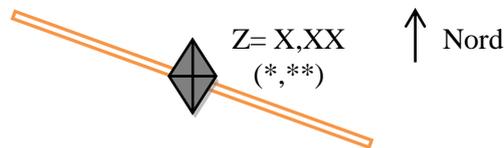


Figure 48 : représentation PTRL

Sur la cartographie ERDF, en cas de profondeur réglementée, seule l'altitude figure. Si pour des raisons diverses, une profondeur atypique intervient, elle doit figurer sur le plan.

Plusieurs raisons ont poussé ERDF à faire ce choix de représentation. Avant tout, épurer le plan pour des raisons de lisibilité.

La seule mention de l'altitude n'aurait pas été très exploitable sur le terrain. En effet, il serait assez compliqué, pour des raisons de coût, de réaliser un nivellement depuis un repère NGF IGN 1969 pour chaque terrassement. Cependant, la seule mention de la profondeur n'est pas une donnée pérenne puisque des réfections de voirie peuvent être réalisées, ce qui rendrait obsolète toute la troisième dimension de la cartographie ERDF.

Un compromis a donc été trouvé afin de fournir des données exploitables sur le terrain, tout en offrant la possibilité de contrôle de la position du câble via une donnée pérenne, le tout avec un maximum de lisibilité.

Pourquoi parler de profondeurs atypiques ?

Les normes NF P 98-331 et 332 mentionnent des profondeurs d'enfouissement des installations électriques variables selon la nature du terrain et imposent la réalisation d'une signalisation par un dispositif avertisseur (grillage de couleur rouge), placé à vingt centimètres minimum au dessus des câbles.

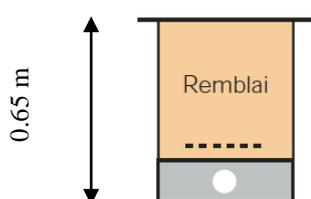


Figure 49 : coupe type tranchée sous accotement ou trottoir

Structure de chaussée
Grillage avertisseur
Ouvrage

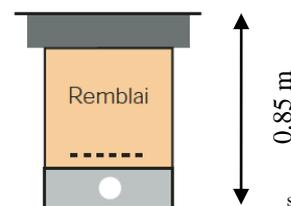


Figure 50: coupe type tranchée sous chaussée

source : SETRA

Certains PTRL doivent faire l'objet de cotation. Elles permettront un premier contrôle non exhaustif des chargés d'affaires ERDF puisqu'ils sont les interlocuteurs privilégiés des entreprises travaux et qu'ils savent où doit passer l'ouvrage.

Les PTRL qui permettent de positionner :

- les accessoires des ouvrages
- les émergences d'ouvrages
- les changements de direction et pente importants
- le début du tracé des ouvrages enterrés à proximité de ces émergences

devront être associées à des cotations planimétriques par rapport à un élément du fond de plan, obtenues par calcul informatique sur les coordonnées. (cotations planimétriques calculées au bureau, non levées sur le terrain).

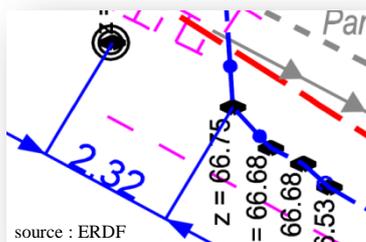


Figure 51 : Illustration des cotations à renseigner, ici PTRL en début de courbe

Pour des raisons de disparité de la qualité de précision, ERDF a choisi de différencier la représentation des points pris directement sur le réseau, PTRL, et des points obtenus par cotation, PTRC (Point de Position Réseau Coté). Les points pris par cotation sont ceux tolérés dans la solution alternative pour le levé des branchements.

En effet il est légitime de penser qu'un point pris avec le matériel topographique serait plus précis qu'un point obtenu par cotation.

Les PTRC seront représentés par un losange à fond blanc.



Ils concentrent les mêmes attendus que les PTRL en termes de représentation.

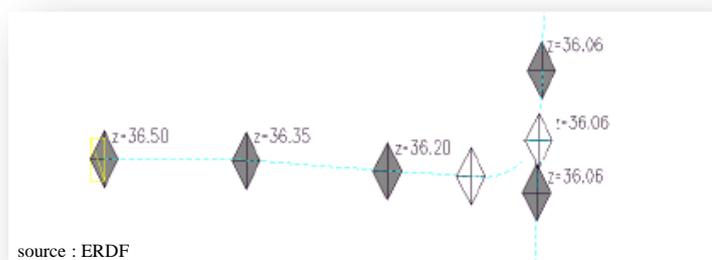


Figure 52 : Illustration de la représentation d'un branchement, PTRL et PTRC

9. Moyen de contrôle

Le décret DT/DICT impose un relevé topographique précis géoréférencé des installations électriques souterraines. La mise en place de ce vaste changement est en cours au sein d'ERDF qui a choisi d'accompagner ses entreprises prestataires travaux en prescrivant un mode opératoire de levé. Ce changement, pour être le plus rigoureux, doit être suivi par le développement d'une procédure de contrôle des données fournies par les prestataires. En effet, chaque concessionnaire de réseau a un devoir de contrôle des informations qu'il demande.

Ce moyen de contrôle passe par deux grandes étapes chez ERDF :

- Les prestataires travaux doivent obtenir une qualification pour répondre aux prochains marchés qui incluront la prestation de géoréférencement.
- Des contrôles seront réalisés de manière aléatoire sur les chantiers.

a. La qualification

Pour réaliser la prestation de géoréférencement, il est donné à chaque entreprise prestataire travaux ERDF le choix du mode de réalisation :

- Soit l'entreprise travaux décide d'externaliser cette prestation à un sous-traitant qui possède l'aptitude « Carto V3 ERDF »
- Soit l'entreprise souhaite réaliser en interne la prestation de géoréférencement :

Elle doit obtenir la qualification en validant le « PQF PGO ».

Le « PQF PGO » comprend :

- Une validation sur dossier administratif
- Un levé sur le terrain consistant à géoréférencer un chantier test
- Le levé d'un chantier réel qui sera contrôlé.

Si les trois étapes sont validées avec succès, la qualification est obtenue pour l'entreprise.

Le dossier administratif comprend de nombreux documents permettant de prouver que l'entreprise dispose en interne de la compétence ainsi que du matériel pour répondre à la prestation de géoréférencement. Ce dossier doit contenir notamment la preuve d'achat d'une station totale, d'un récepteur GNSS ainsi que la copie des diplômes ou les attestations de stage du géomètre topographe salarié de l'entreprise.

La liste des prés requis composant le dossier administratif est fournie en annexe (annexe 9).

Une fois le dossier administratif validé par l'organe de contrôle ERDF, une date est arrêtée pour l'étape suivante.

Le géoréférencement du chantier test est à réaliser sur le site ERDF d'Orvault. Sur ce site ont été implantés cinquante points de telle sorte qu'ils ne peuvent pas tous être levés uniquement avec le récepteur GNSS. Ces points ont été levés par deux cabinets de géomètre afin de garantir la qualité des coordonnées obtenues.

Il est demandé à chaque entreprise prestataire travaux de venir lever la liste des vingt points qui lui est fournie. Ces points ne sont pas définis au hasard puisque moitié d'entre eux ne pourront pas être levés avec le récepteur GNSS. ERDF leur communique le plan du site d'Orvault avec les fiches signalétiques des vingt points à lever. Ils utilisent la méthode et le matériel qu'ils souhaitent durant ce test, aucun agent ERDF ne les surveille. Ils ont un certain délai pour fournir les résultats de leur levé qui seront comparés aux coordonnées fiables dont dispose ERDF. Si ce test est validé, une date est fixée pour le géoréférencement d'un chantier réel qui sera contrôlé.

Concernant l'aptitude Carto V3 ERDF, il est demandé au prestataire cartographique de réaliser le levé topographique d'une zone définie. Il doit également procéder au report des réseaux électriques présents dans cette zone depuis les documents que lui fournit ERDF. Un contrôle de niveau un, réalisé au sein de l'agence cartographique d'ERDF, permet la vérification du respect de la charte informatique ERDF. Le contrôle de niveau deux consiste en la redétermination du levé topographique par deux autres prestataires cartographiques. Un document reprenant les écarts constatés permet de valider l'aptitude ou non.

b. Contrôles

ERDF a choisi de procéder à des contrôles terrain par échantillonnage, c'est-à-dire que seul un certain nombre de points prélevés sera contrôlé.

« Les écarts déterminés lors des contrôles des levés topographiques permettent de vérifier le respect de la classe de précision de ceux-ci »²⁰.

L'arrêté du 15 février 2012 permet de définir la classe de précision A comme étant égale à environ quatorze centimètres pour des objets géographiques dont la position est caractérisée dans les trois dimensions.

$$[A] \approx 14cm$$

« Une mesure n'est considérée comme mesure de contrôle que lorsque sont mis en œuvre des procédés fournissant une précision meilleure que celle de la classe de précision recherchée, avec un coefficient de sécurité C au moins égal à 2. C est le rapport entre la classe de précision des points à contrôler et celle des déterminations de contrôle »²¹.

Donc :

$$\frac{[A]}{[Contrôle]} = 2$$

D'où :

$$[Contrôle] \approx 7cm$$

Le contrôle peut donc être réalisé de manière simple et rapide en utilisant un système GNSS connecté à un réseau temps réel qui offre au mieux des précisions de l'ordre de deux à trois centimètres.

1. Les outils

Le contrôle du géoréférencement des ouvrages de réseau électrique s'effectuera de manière non intrusive par détection active combinée au récepteur GNSS. En effet il apparaît évident que tout terrassement est à éviter pour des raisons de coûts, de perturbation du trafic et de développement durable. Un équilibre est à obtenir entre obligation juridique, besoin et coût de réalisation.

Techniquement, la classe de précision « contrôle » à sept centimètres ne paraît pas un obstacle à cette démarche

Le RD8000 est annoncé avec une précision de $\pm 2,5\%$ de la profondeur de détection allant de dix centimètres à trois mètres. En se basant sur une précision de géoréférencement de trois centimètres, le RD8000 permet de respecter la classe de précision « contrôle » pour une profondeur moyenne de chantier inférieure à trois mètres.

$$0.10 = \sqrt{\sigma_{\text{géoréf}}^2 + \sigma_{\text{détection}}^2} = \sqrt{0.03^2 + (0.025 * p)^2} \quad \text{Il vient } p=3.81 \text{ mètres.}$$

Les ouvrages devant être posés à une profondeur réglementaire de quatre vingt cinq centimètres sous chaussée (soixante cinq centimètres sous trottoir) ; il n'est autorisé que ponctuellement de digresser à cette règle en cas d'obstacle, il paraît alors techniquement possible de procéder au contrôle du géoréférencement par détection active.

²⁰ Arrêté du 16 septembre 2003 I. - Article 2

²¹ Arrêté du 16 septembre 2003 Article 3

Les retours d'expérience ERDF ont prouvé, hors cas de multi réseaux, que la détection active permettait un géoréférencement respectant la classe A.

Précision en profondeur	Ligne: ± 2.5% tolérance 0.1m à 3m
Précision de détection	± 2.5% <small>source : http://fr.radiodetection.com</small>

Figure 53 : précision annoncée du RD8000

La difficulté réside en la justification du coefficient de sécurité égal à deux imposé par l'arrêté du 16 septembre 2003.

Pour justifier du respect de ce coefficient, les points de contrôle levés par la combinaison des systèmes RD8000 et méthode GNSS pourront être moyennés sur des sessions de mesures de quelques minutes. Ce mode opératoire non intrusif, même moyenné, est difficile à interpréter en tant que moyen de contrôle.

Il ne sera réalisable que pour contrôler un géoréférencement issu d'un levé fouille ouverte. En effet, après expérimentation, l'ordre des géomètres experts a conclu que « *le seul moyen de contrôler les relevés de détection consiste à opérer des sondages intrusifs et relever les réseaux fouilles ouvertes* »²².

Tout géoréférencement par combinaison détection active et récepteur GNSS devra faire l'objet d'un contrôle par méthode intrusive. Des terrassements seront réalisés pour lever l'ouvrage en fouille ouverte par système GNSS. Ce mode de contrôle facilite la justification du coefficient de sécurité. En effet, le fait d'allonger la durée d'occupation d'un point permet de moyennner sa position et ainsi de garantir une précision meilleure que celle du levé initial dont l'observation s'apparente à la seconde. On peut alors penser que des sessions de quelques minutes sur chaque point seront réalisées.

La précision croît suivant la racine carrée du nombre de mesure. En estimant que les prestataires travaux réalisent une observation d'une seconde sur chaque point, il suffirait de réaliser une observation de quatre secondes sur chaque point pour justifier du coefficient de sécurité égal à deux.

$$\sigma_{\text{contrôle}} = \frac{\sigma_{\text{géoréférencement}}}{\sqrt{i}} \quad \text{avec } i \text{ mesures}$$

2. Mise en œuvre

Le décret DT/DICT fixe l'échéance à 2019 pour respecter l'obligation de géoréférencement des tous les ouvrages enterrés en zones urbaines et 2026 pour tout le territoire national (tableau 3).

Pour ce faire, ERDF a mis en place des marchés de détection active. Ils servent à géoréférencer en classe A tous les ouvrages souterrains sous concession ERDF.

En parallèle, ces marchés de détection active serviront également à réaliser les opérations de contrôle du géoréférencement réalisé par les prestataires travaux ERDF.

Pour les contrôles qui nécessiteront des méthodes de travaux intrusives, un autre mode de consultation des entreprises sera établi.

²² communication suite à un retour d'expérimentation de l'Observatoire Régional Midi Pyrénées

III. Conclusion

La survenue d'accidents aux conséquences tragiques au cours de travaux réalisés au voisinage des réseaux enterrés ainsi que les pressions du monde du BTP ont convaincu les pouvoirs publics d'entamer une refonte du cadre réglementaire régissant l'identification des réseaux les travaux à leur proximité.

Le décret DT/DICT publié au journal officiel le 7 octobre 2011 a profondément impacté les règles en termes de mise en cartographie des ouvrages.

Il y a désormais obligation de réaliser une cartographie géoréférencée en classe de précision A pour tous les travaux concernant la construction, l'extension ou la modification d'un ouvrage de réseau sensible (électrique, éclairage public, gaz, et de manière générale tous ceux s'étant identifiés comme tel au guichet unique) souterrain.

Les nouvelles dispositions sont entrées en vigueur le 1^{er} juillet 2012.

ERDF a prescrit un mode opératoire pour régir la prestation de géoréférencement des ouvrages de réseau électrique.

Un premier avenant aux marchés travaux en cours avait permis d'inclure dans les commandes la prestation de géoréférencement des ouvrages posés. La nécessité de réorganisation de l'entreprise, pour inclure cette nouvelle compétence, qu'imposait la prescription ERDF de levé fouille ouverte avait contraint certains prestataires à ne pas s'engager dans la démarche PGOC.

Un accompagnement de tous les prestataires travaux en Pays de la Loire (PDL) a permis à ce que chaque partie connaisse les attendus d'ERDF. Le but est de faire monter en compétence tous les acteurs concernés par le décret DT/DICT afin qu'au renouvellement des marchés, le récolement de ouvrages intègre parfaitement les dispositions réglementaires de la réforme anti-endommagement ainsi que les prescriptions d'ERDF.

Suite aux récentes négociations entre ERDF, le SERCE et le SNER, les responsabilités qui incombent à chaque partie dans la mise en œuvre du décret DT/DICT ont été validées. Un nouvel avenant a donc été envoyé à chaque prestataire travaux en PDL en juin 2014. Les retours des signatures de l'avenant permettront un pas en avant supplémentaire dans cette démarche en vigueur depuis le 1^{er} juillet 2012.

À ce jour aucun PQF PGOC n'a été obtenu, cependant les agences prestataires commencent à s'équiper en matériel topographique et à monter en compétence afin d'avoir les prés-requis pour postuler aux prochains marchés.

Les acteurs du BTP, qui sont à l'origine de la refonte réglementaire en matière de travaux à proximité des réseaux souterrains, sont fortement sensibilisés aux avantages en termes de sécurité qu'apporte le géoréférencement. Ils ne sont cependant pas moteurs dans la mise en œuvre de la nouvelle démarche DT/DICT qui est une obligation légale en vigueur depuis maintenant presque deux ans.

La FNCCR, qui regroupe près de cinq cent collectivités locales organisant les services publics de distribution d'électricité et de gaz, est confrontée aux nouvelles dispositions imposées par le décret DT/DICT. Contrairement à ERDF, elle ne fait pas partie des précurseurs pour le déploiement de la démarche de géoréférencement n'en ayant ni la capacité ni les moyens, qui n'en reste cependant pas moins une obligation juridique.

Le Travail de Fin d'Études est l'occasion pour les étudiants ingénieurs de se confronter aux exigences du monde du travail. Il s'est posé comme l'opportunité d'acquérir une expérience indispensable à notre entrée imminente dans la vie active.

Ce stage m'a apporté autant professionnellement qu'humainement, c'est pourquoi j'adresse un dernier remerciement à tous les acteurs qui ont fait que ses vingt semaines passées chez ERDF resteront un moment clé de mon cycle ingénieur et me rapproche un peu plus encore du monde professionnel.

Bibliographie

Données générales

<http://fr.wikipedia.org>

www.erdf.fr

Données scientifiques :

<http://www.deltamu.fr> : *écart type expérimental, quelle formule choisir ?* Jean-Michel POU

Données juridiques :

<http://www.legifrance.gouv.fr>

www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr

Données techniques :

Revue XYZ hors série *Méthodes GNSS pour la topographie* avril 2014

www.ixblue.com

<http://www.1-3mps.com/Klein/sidescansonar.aspx>

<http://reseau-orpheon.fr/>

<http://www.reseau-teria.com/>

<http://www.sat-info.fr/>

<http://fr.radiodetection.com>

Guide pratique *TRAVAUX À PROXIMITÉ DES RÉSEAUX* Fédération Française du Bâtiment octobre 2011

Base documentaire ERDF :

PRDE B.9.2.1-08 - *PLAN GÉORÉFÉRENCÉ DES OUVRAGES CONSTRUITS* novembre 2013

Plan Géoréférencé des Ouvrages Construits - Portage Ent TVX octobre 2013 V1

Spécification technique EDF HN 64-S-52 novembre 2002

Table des illustrations

Figure 1 : Système électrique Français.....	8
Figure 2: organigramme pôle Cartographie La Roche sur Yon	10
Figure 3 : ancienne procédure DR/DICT	12
Figure 5 : Illustration en coupe des classes de précision.....	15
Figure 4 : Illustration en plan des classes de précision.....	15
Figure 6 : Procédure DT/DICT disjointes en vigueur chez ERDF.....	21
Figure 7 : précision des coordonnées du repère géodésique N°8500303 AIZENAY III (Vendée).....	23
Figure 8 : stabilité du repère géodésique N°8500303 AIZENAY III (Vendée).....	23
Figure 9 : Carte du réseau RGP à proximité de l'île d'Yeu.....	25
Figure 10 : Schématisation du lever GNSS en mode RTK pivot libre.....	25
Figure 11 : Repères de nivellement sur l'île d'YEU (Vendée).....	26
Figure 12 : Repères géodésiques sur l'île d'YEU (Vendée).....	26
Figure 13 : Schématisation du lever GNSS en mode NRTK	27
Figure 14 : Illustration de l'implantation des stations de référence du réseau TERIA en avril 2014	27
Figure 15 : couverture du réseau ORPHÉON en avril 2013	28
Figure 16: couverture du réseau SatInfo en avril 2014	28
Figure 17 : Illustration levé fouille ouverte dans les trois dimensions sur la génératrice supérieure des câbles et fourreaux.....	29
Figure 18: importance du nombre de points à prendre.....	29
Figure 19 : Illustration corde et flèche	30
Figure 20: illustration de levé d'un poste électrique.....	31
Figure 21 : illustration de levé d'un coffret de branchement électrique	32
Figure 22: illustration de levé d'une remontée aéro-souterraine.....	32
Figure 23 : Illustration des 3 points à lever en fouille ouverte	33
Figure 24 : illustration de la prise de côtes demandée.....	33
Figure 25 : implantation des trois repères	33
Figure 26 : Illustration du mode opératoire du levé en relatif	34
Figure 27 : illustration du tir pilote: première étape du forage dirigé	36
Figure 28 : illustration du tirage: dernière étape du forage dirigé.....	37
Figure 29 : Plan de situation du géoréférencement test d'un forage dirigé à TOUVOIS	37
Figure 30 : extrait du rapport du géoréférencement du forage dirigé de TOUVOIS au moyen du gyroscope	39
Figure 31 : Les étapes du géoréférencement par gyroscope DR-HDD-4.2 d'un forage dirigé.....	40
Figure 32 : Schéma de pose d'un câble à l'aide d'un soc	40
Figure 33 : Restes du passage du sous-soleur	41
Figure 34 : Visite d'un chantier en sous-soleur le 26/03/14	41

Figure 35 : Schéma de pose d'un câble à l'aide d'une trancheuse	41
Figure 36 : visite d'un chantier trancheuse le 26/03/14	41
Figure 37 : récolement ouvrage posé en trancheuse.....	41
Figure 38 : détection et géoréférencement de réseaux enfouis.....	42
Figure 39 : illustration du système IXSEA GAPS	43
Figure 40 : schématisation de fonctionnement du système GAPS	43
Figure 41 : Illustration du système KLEIN 5900	44
Figure 42 : illustration analyse gradient	44
Figure 43 : Exemple rendu bande sonar	44
Figure 44 : Illustration de pose des fourreaux verticaux	45
Figure 45 : illustration de non verticalité des fourreaux.....	45
Figure 46 : Illustration du défaut de pointé	45
Figure 47 : Illustration du caractère accidentogène des fourreaux.....	45
Figure 48 : représentation PTRL	46
Figure 49 : coupe type tranchée sous accotement ou trottoir	46
Figure 50: coupe type tranchée sous chaussée	46
Figure 51 : Illustration des cotations à renseigner, ici PTRL en début de courbe.....	47
Figure 52 : Illustration de la représentation d'un branchement, PTRL et PTRC.....	47
Figure 53 : précision annoncée du RD8000	50

Liste des tableaux

Tableau 1: Définition des seuils de la classe A au sens du décret anti-endommagement	17
Tableau 2 : exemple du nombre d'écarts maximum N' pouvant dépasser le seuil T1.....	17
Tableau 3 : mises en oeuvre futures du décret DT/DICT	20
Tableau 4: choix de la méthode de levé en différentiel GNSS.....	24
Tableau 5 : calcul de la distance minimale entre 2 points à lever en portion courbe	30
Tableau 6 : synthèse de la prescription ERDF des les éléments à lever.....	35
Tableau 7 : précision des mesures du système IXSEA GAPS	44

Table des annexes

Annexe 1	57
Annexe 2	58
Annexe 3	59
Annexe 5	61
Annexe 6	62
Annexe 7	63
Annexe 8	64
Annexe 9	65

Annexe 1

CERFA n° 13618-01 relatif à une DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS SUR L'EXISTENCE ET L'IMPLANTATION, D'OUVRAGES SOUTERRAINS, AÉRIENS OU SUBAQUATIQUES.

Annexe 2

Récépissé de DEMANDE DE RENSEIGNEMENTS.

Annexe 3

CERFA n° 13619-01 relatif à une DÉCLARATION D'INTENTION DE COMMENCEMENT DE TRAVAUX.

Annexe 4

CERFA n° 14434-01 relatif à une Déclaration de projet de Travaux Déclaration d'Intention de Commencement de Travaux.

Annexe 5

CERFA n° 14435-01 relatif à un Récépissé de DT, Récépissé de DICT.

Annexe 6

CERFA n° 14766-01 relatif à un CONSTAT CONTRADICTOIRE.

Annexe 7

Fiche signalétique IGN du site géodésique AIZENAY III.

Annexe 8

Légende ERDF de tracé des réseaux.

Annexe 9

Pièces constitutives du dossier administratif en vu d'obtenir la qualification pour réaliser la prestation de géoréférencement des réseaux.

PROJET DE GÉORÉFÉRENCEMENT DES OUVRAGES DE RÉSEAU ELECTRIQUE

Mémoire d'Ingénieur C.N.A.M., La Roche sur Yon 2014

RÉSUMÉ

Plus de 100 000 endommagements par an sont constatés lors des travaux réalisés à proximité des quatre millions de kilomètres de réseaux implantés en France. Certains sont suivis de conséquences graves voire très graves. Une refonte du cadre réglementaire a été décidée afin de réduire le nombre des endommagements et surtout la gravité des accidents : la réforme anti-endommagements. Le décret DT/DICT a profondément impacté les attendus en termes de mise en cartographie des ouvrages. Depuis le 1^{er} juillet 2012, pour les travaux concernant la construction, l'extension ou la modification d'un ouvrage de réseau électrique souterrain, il y a désormais obligation de cartographie géoréférencée en classe A. Ce mémoire définit la spécification technique de géoréférencement des ouvrages électriques souterrains ainsi que les attendus d'ERDF en matière de récolement. Ce mémoire propose différentes méthodes de géoréférencement pour palier aux contraintes de rattachement et aux contraintes qu'implique la pose d'ouvrage par technique de travaux mécanisés.

Mots clés : Réforme anti-endommagement, décret DT/DICT, ERDF, géoréférencement, levé fouille ouverte, classe A, réseaux enterrés.

ABSTRACT

Over 100,000 damage per year are recorded during the works completed in the vicinity of the four million kilometers of networks established in France. Some are followed by very serious consequences. A recasting of the regulatory framework has been decided to reduce the number of the damages and the severity of accidents especially: anti-damage reform. Decree DT/DICT profoundly impacted expected in terms of setting mapping works. Since 1st July 2012, for works concerning the construction, the extension or the modification of underground electrical system, there is now a requirement class A georeferenced mapping. This thesis defines the technical specification of georeferencing underground electrical works as well as awaited ERDF as regards proofing. This thesis proposes different methods of georeferencing to overcome the constraints of ties to geodetic reference system and constraints involved in the works installation by mechanized work technique.

Mots clés : Anti-damage reform, decree DT/DICT, ERDF, georeferencing, survey in open trench, class A, underground networks.