



UNIVERSITE SIDI MOHAMMED BEN ABDELLAH
FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES FES
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique



RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**La maintenance préventive des
câbles HTA**

Réalisé Par :

**Youssef Asmae
Baslia Wafaa**

Encadré par :

P^r Nor Said Echatoui (FST FES)

Mr Hicham Amrani Joutey (RADEEF)

Soutenu le 07 Juin 2018 devant le jury



Remerciements

Nous souhaitons adresser nos premiers remerciements **Mr Youssef Laklalech** Directeur de la RADEEF pour nous avoir donné l'opportunité de réaliser ce stage.

Nous tenons à remercier au même titre notre encadrant de stage **Mr Hicham Amrani Joutey** pour ses précieux conseils, ainsi que la compréhension et l'entière disponibilité dont il a fait preuve à l'égard de notre rythme de travail.

De même nous exprimons nos profonds remerciements à **Mr. Sebanni** le responsable de la division exploitation d'électricités et aussi **Mr. Raghi** le chef de la division.

Nous présentons une grande reconnaissance à **Pr Nor-Said Echatoui** notre encadrant qui a suivi ce travail avec un grand intérêt. C'est grâce à son aide que ce travail est mené bien à terme.

Nous ne pouvons laisser passer cette occasion sans rendre hommage à tout le corps professoral et administratif de la Faculté des Sciences et Techniques de Fès.

Enfin, nous tenons à remercier toute personne ayant contribué, de près ou de loin à l'achèvement de notre projet de fin d'études.



Dédicaces

Louange à Dieu la miséricorde

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Nous dédions notre modeste travail,

À nos chers parents,

Vous avez été tout le temps à nos côtés à nous soutenir tout au long de nos études, vous nous avez donné un magnifique modèle de labour et persévérance. Nous espérons que vous trouverez dans ce modeste travail notre reconnaissance et tout notre amour.

À nos sœurs et nos Frères,

En témoignage de l'attachement, de l'amour et de l'affection que nous portons pour vous. Nous vous dédions notre travail avec tous nos vœux de bonheur, de santé et de réussite.

À nos chères grands-mères,

Vous avez toujours prié pour notre réussite, ce travail est le fruit de vos prières, que dieu vous procure une bonne santé et une longue vie.

À nos amies,

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Nous vous souhaitons un avenir plein de succès.

Liste des figures :

Figure 1 : Organigramme du directeur général

Figure 2 : Organigramme du département exploitation d'électricité

Figure3 : Les composants d'un câble

Figure4 : Les composants d'un câble S22

Figure5 : les composants d'un câble S23

Figure6 : les composants d'un câble S26

Figure 7: Défaut de câble

Figure 8 : Les différents types de défauts

Figure 9 : Utilisation de l'échométre

Figure 10 : Résultat de mesure à l'aide d'un échométre

Figure 11 : Etapes de localisation d'un défaut (1)

Figure 12 : Etapes de localisation d'un défaut (2)

Figure 13 : Formule pour le calcul de facteur de réflexion

Figure 14 : Facteur de réflexion : court-circuit

Figure 15 : Facteur de réflexion - Extrémité ouverte

Figure 16: Facteur de réflexion - Dérivation

Figure 17 : Facteur de réflexion - Extrémité de câble avec impédance caractéristique

Figure 18: Exemple de calcul

Figure 19 : Résultat de localisation(1)

Figure 20 : Résultat de localisation(2)



Figure 21 : Camion de diagnostic(1)

Figure 22 : Camion de diagnostic(2)

Figure 23 : Mesure du tan delta

Figure 24: Comparaison entre différents états d'un câble

Figure 25 : Résultat de mesure des trois phases

Figure 26 : Capteur à effet de HALL

Figure 27 : Microcontrôleurs

Figure 28 : Emetteur TX

Figure 29 : Vérification de la longueur et du défaut de câble à l'aide di DTR

Figure 30 : Mesure des épissures

Figure 31 : Mesure

Figure 32 : Injection

Figure 33 : Fin de l'opération



Liste des tableaux :

Tableau 1 : Statistique des incidents MT

Tableau 2 : Statistiques des incidents MT par cause

Tableau 3 : Résultat du diagnostic à l'aide du tan delta



Sommaire

Introduction générale :4

Chapitre 1: L'organisme d'accueil :

1- Présentation d'accueil :8

2-Services et divisions :8

Chapitre 2 : Étude de défauts:

1-Définition :16

2-Étude générale de défauts :18

3-Types de défauts :20

4-Causes :21

5-Analyse des statistiques des incidents MT :21

Chapitre 3 : Diagnostique des câbles :

1-Définitions :27

2-Étapes de localisation d'un défaut :28

3-Facteur de réflexion :30

4-Diagnostic des câbles:34

5- Solution proposée41

Conclusion :48



Introduction générale

Le stage de la licence est le premier contact de l'étudiant de la faculté des sciences et techniques avec le monde professionnel, cette phase est primordiale dans la formation de l'étudiant en licence, car elle lui permet d'acquérir les talents et les attitudes nécessaires à la satisfaction des exigences du marché de travail.

Nous avons effectué notre stage de la licence génie électrique au sein de la R.A.D.E.E.F. Ce stage avait pour mission la maintenance préventive des câbles HTA.

Comme nous le savons tous, Le chemin entre la production et l'ampoule est long et parsemé de nombreux organes aux tailles et fonctions différentes. Ce chemin est divisé en trois segments : La production(ONE), le Transport (RADEEF) et la distribution (RADEEF). Parmi ces segments, différents paramètres physiques varient, et parmi ceux-ci, la tension, qui permet de classer les réseaux en différents domaines de tension.

Les réseaux HT sont composés de 3 phases, d'où le nom de réseau triphasé. La division en phase permet de modifier la tension plus facilement qu'avec un réseau monophasé.

Avec la démocratisation de l'électricité, il a fallu acheminer l'énergie de plus en plus loin. Pour couvrir de longues distances, il a fallu adapter l'infrastructure et l'énergie : c'est ainsi qu'est né le réseau HT.

Les trois activités citées auparavant nécessitent des lignes pour livrer l'énergie de la production au consommateur, ces lignes sont des câbles qui réalisent les liaisons moyennes tensions dans des villes et des zones rurales, mais aussi dans l'industrie.

Plusieurs facteurs peuvent impacter un câble (la météo, l'environnement ou même un problème d'infrastructure) lui causer un défaut, et l'endommager à long terme.

Dans le cadre de la politique d'amélioration de produit de l'électricité, les distributeurs mettent en œuvre plusieurs méthodes pour assurer la continuité de service pour la clientèle, ils assurent notamment la maintenance, l'entretien et la réparation des lignes HTA. Pour cela le service mesures



et protections consacre un diagnostic régulier pour ces lignes que ça soit souterraines ou bien aériennes.

D'après nos interventions auprès de ce service, nous avons pu remarquer les difficultés au niveau de ce diagnostic. Pour cela nous avons pensé à un système implémenté qui va aider la régie mais surtout le service mesures et protections.

- **Est-ce que ce système peut anticiper les défauts ? Peut-on transmettre ce résultat directement à la régie ?**
- **Mais tout d'abord : C'est quoi un câbles ? Les causes et les types de défauts ?**
- **Comment le camion de diagnostic fonctionne?**
- **Comment interpréter le résultat de ce diagnostic ?**

Toutes ces questions, ci haut mentionnées, vont être traiter ci-dessous en détails.



Chapitre I :

L'organisme d'accueil



Introduction

Au Maroc, les services de distribution d'électricité, de distribution d'eau potable et d'assainissement liquide sont assurés par treize régies communales de distribution et trois sociétés privées délégataires dans les grandes villes.

Ces opérateurs sont placés sous la tutelle de la direction des régies et services concédés, et de la direction centrale au ministère de l'intérieur. Dans les autres villes du royaume les services sont assurés par l'Office National de l'Eau Potable (ONEP) pour l'eau et celui de l'électricité par l'Office National de l'Electricité (ONE).

La distribution d'eau et d'électricité sur la Wilaya de Fès : La régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de Fès, désignée ci-après par la RADEEF est un établissement public communal à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière, elle est chargée de la gestion des services public d'eau, d'électricité et d'assainissement liquide.

Dans ce chapitre nous allons vous présenter l'organigramme de la RADEEF, expliquer les différents départements qu'elle contient avec les différentes divisions, et le travail qu'effectuent ces derniers.



1-Présentation de la R.A.D.E.E.F :

La régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de la Wilaya de FES R.A.D.E.E.F constitue un établissement public à caractère industriel et commercial doté de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Elle a été créée par la délibération du conseil municipal de la ville de Fès en date du 30 avril 1969 pour gérer le réseau électrique de Fès, à partir de 1970 elle assurait la distribution en eau potable de la ville et depuis 1993 la régie a commencé l'étude, la réalisation et l'entretien liquide du réseau d'assainissement. La régie est donc chargée d'assurer, à l'intérieur de son périmètre d'action, le service public et distribution d'eau et d'électricité, elle a pour mission l'exploitation des captages et adductions d'eau appartenant à la ville, ainsi que gestion du patrimoine pour offrir un service de qualité aux abonnés

Le réseau urbain de la ville de Fès est alimenté par 3 postes sources : « Fès Sud », « Fès Ouest », « Fès Amont », situés aux extrémités de la ville. La régie dispose de 3 postes sources et 5 postes répartiteurs.

2-Services et divisions :

LA R.A.D.E.E.F est administrée par:

Un conseil d'administration : Ce conseil est présidé par le Wali de FES et comprend huit membres représentants des conseils communaux de la Wilaya et les membres représentant les ministres de l'intérieur, des finances, de l'équipement et de l'énergie. Le conseil d'administration se réunit au moins deux fois par an sur convocation du Wali pour superviser la gestion de la régie et décider des grands axes du travail.

Un comité de direction : Il est composé du président : le secrétaire général de la wilaya de Fès et les quatre conseillers désignés par le conseil d'administration. Le comité de direction se réunit au moins une fois par mois et il est chargé de suivre la gestion de la régie et de régler toutes les questions pour lesquelles il a reçu la délégation du conseil d'administration.

Une direction générale : Le directeur général de la régie coordonne et gère l'ensemble des divisions et des services et veille à l'exécution des décisions du conseil d'administration.

Il est à noter qu'au sein de la RADEEF, il existe selon l'importance des tâches et des effectifs, des divisions et des services. Cependant, ils sont tous pilotés par la direction générale. Les divisions sont plus importantes que les services en termes de tâches et d'effectifs.

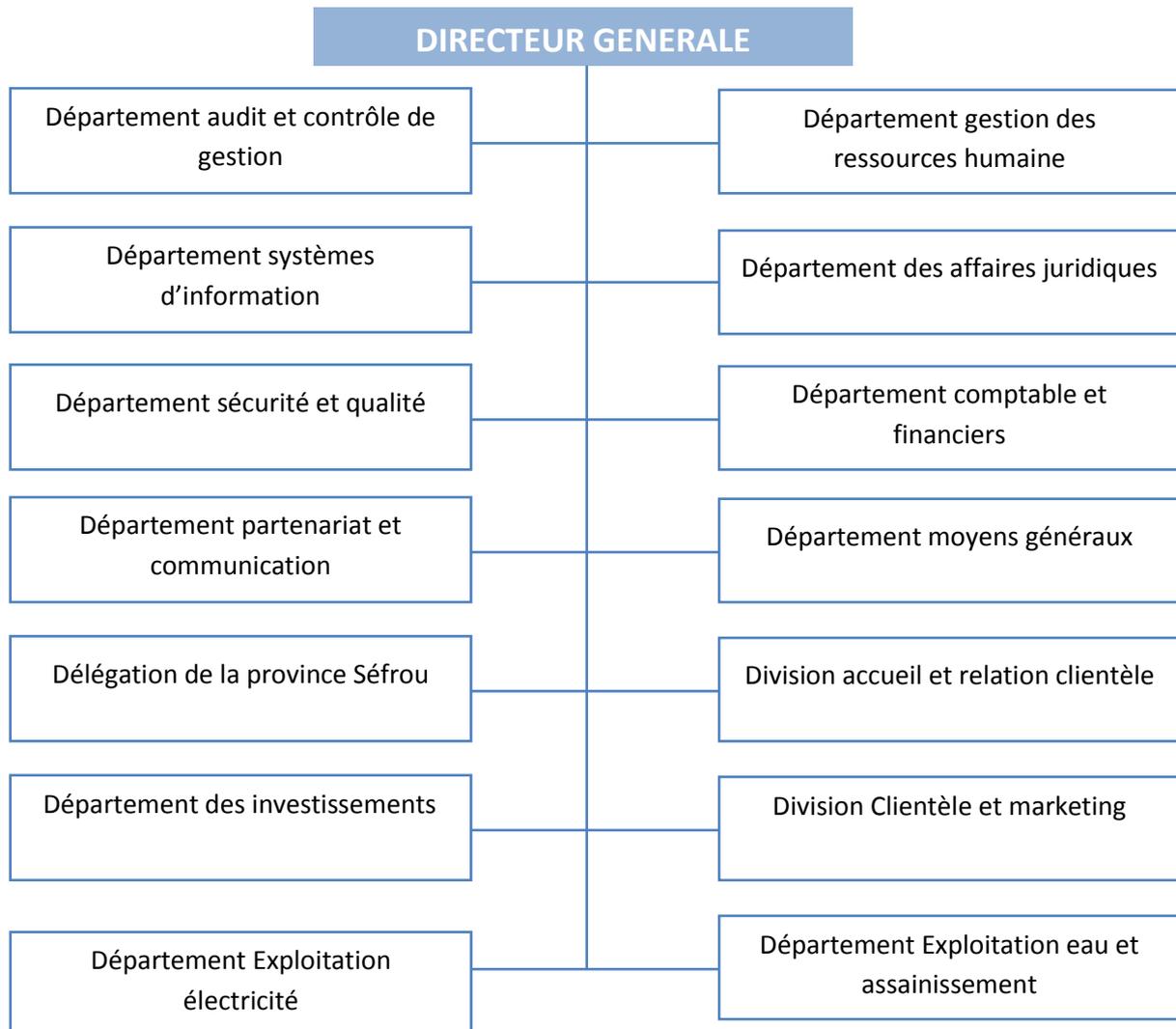


Figure1: Organigramme du directeur général



Département d'exploitation d'électricité : Il est chargé d'assurer en quantité et en qualité la distribution d'électricité selon le besoin de la ville de Fès. Le département d'exploitation électricité a connu de profondes mutations, grâce à la réalisation du projet innovant BCC (Bureau Central de Conduite). Cette innovation permet, à partir d'un bureau central de conduite, de gérer en temps réel l'ensemble du réseau d'électricité moyenne tension de la ville de Fès. Cet accès à distance est réalisé par l'intermédiaire des postes asservis(PA), ces derniers permettant au BCC de commander tous les postes réseaux qui sont éloignés. Le département d'exploitation électricité s'occupe principalement des travaux d'exploitation électricité, de la gestion du réseau électrique et assure aussi la mise en conformité de l'éclairage public de la ville de Fès.

Parmi les divisions de ce département :

❖ **Division Conduite et gestion réseau :** est chargé des interventions rapides basses et moyennes tensions et ses activités principales sont :

- ✓ Recherche des défauts ;
- ✓ Réparation des défauts HTA HT B ;
- ✓ Les dépannages simples.

Cette division se compose de 5 bureaux :

1. **Bureau des réclamations:** est chargé de la réception des réclamations téléphoniques des abonnés et de la coordination avec le bureau intervention rapide.
2. **Bureau intervention BT :** Il effectue les tâches suivantes :
 - ✓ Interventions sur le réseau HTA / BT ;
 - ✓ Réparations des défauts HTA / BT ;
 - ✓ Contrôle des charges et des tensions des départs BT ;
 - ✓ Réparations des fils coupés.
3. **Bureau opérateur MT :** s'occupe de la réception des nouveaux postes MT/BT et de l'établissement des réseaux MT en cas de déclenchement ainsi que du suivi des défauts signalés par la télégestion en coordination avec le BCC.
4. **Bureau Central de Conduite BCC :** Ses activités principales sont :
 - ✓ La supervision des réseaux MT ;
 - ✓ Suivi des puissances appelées ;
 - ✓ Commande à distance des postes MT /BT.



5. Bureau administrateur système SCADA: Un SCADA, acronyme de l'anglais Supervisory Control And Data Acquisition (télé-surveillance et acquisition de données) ce bureau a pour but :

- ✓ Administration du système SCADA ;
- ✓ La mise à jour des bases de données du système SCADA ;
- ✓ Développement des programmes informatiques relatifs à la télé-gestion du réseau ;
- ✓ La configuration des équipements de télé-conduite ;
- ✓ L'élaboration des consignes d'exploitations des postes télécommandés.

❖ **Service Télécommunication** : Ce service a plusieurs tâches à savoir : la surveillance du réseau radio, la maintenance la réparation et installation des équipements radiocommunication, la gestion du parc radiocommunication, la programmation des émissions/réceptions radio administratif.

D'après le sujet que nous avons choisi, « le service mesure et protection » est le service à travers lequel nous avons découvert le travail en préparant en parallèle notre PFE.

❖ **Service mesure et protection**: nous avons passé les deux tiers de notre stage au sein de ce service afin de bien analyser la tâche qui nous a été attribuée, et ses fonctions sont les suivantes:

- Maintenance des postes sources ;
- Diagnostic des câbles ;
- Recherche de défauts ;
- Réception des nouvelles installations électriques, Mesures d'isolement, etc.

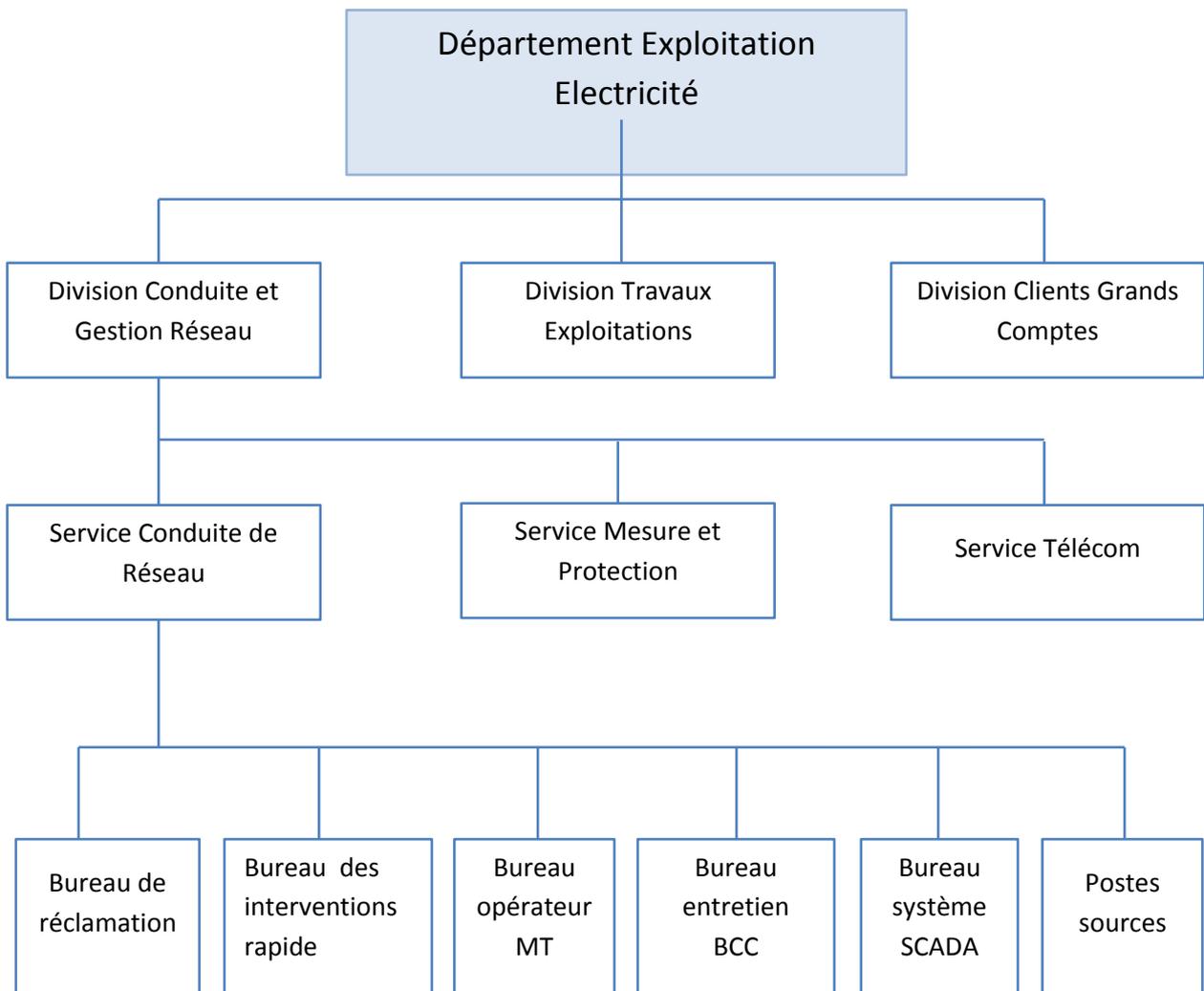


Figure2: Organigramme du département exploitation d'électricité



Conclusion

Après la présentation de la régie et l'explication de ses différentes cellules et les travaux qu'elle effectue. Nous étions intégrées au sein de la cellule mesure et protection. Cette dernière a pour tâche la détection de défauts et le diagnostic des câbles. Dans le deuxième chapitre nous allons expliquer les natures des liaisons existantes, les défauts qui peuvent exister et comment ses défauts peuvent impacter les grandes installations.



Chapitre II :

Étude de défauts



Introduction :

Le marché de l'énergie dans le Maroc regroupe trois activités : la production, le transport et la distribution.

Les unités de production de l'électricité font appel à différentes sources d'énergies (thermique, éolienne, issue de la biomasse).L'électricité ne se stock pas, les installations doivent être en mesure de produire en permanence pour assurer les quantités nécessaires pour satisfaire les demandes des consommateurs.

La deuxième activité, celle de transport qui consiste à acheminer l'énergie des sites de production jusqu'au réseau locaux de distribution, par les lignes à très haute tension et haute tension.

Ces deux premières activités citées auparavant sans faite par l'Office National de l'Electricité. Les réseaux de distribution permettent d'acheminer localement l'énergie jusqu'aux sites de consommation comme elle le fait la RADEEF, elle délègue la gestion de son réseau a moyenne et basse tension. Sa mission est donc d'assurer la qualité et la continuité de l'énergie électrique livrée aux consommateurs, elle fait aussi la fourniture de son énergie en injectant sur les réseaux la quantité d'énergie correspondante à la consommation de ses clients.

La météo, l'environnement ou même un problème d'infrastructure (défaut de vieillissement) peuvent impacter le réseau électrique, qui devraient être suivis d'un ré-enclenchement automatique de la ligne. Chaque événement crée beaucoup de donnés difficiles à traiter et ils sont rarement analysés cela fragilise le réseau et peu plus tard favoriser une panne.

En ce qui suit, nous allons parler de la nature des lignes qui transportent de l'énergie, faire une étude générale des défauts qui peuvent les impacter, et finalement expliquer les différents défauts qui sont traités par la régie.

Parlant de la nature de ces lignes qui se présentent comme des câbles qui transportent de l'énergie électrique, définissons tout d'abord le câble.

1- Définition d'un câble :¹



Figure3 : Les composants d'un câble

C'est un fil électrique qui se compose d'une âme conductrice, rigide ou souple, enrobée d'un isolant. L'âme peut être en cuivre, cuivre nickelé ou nickel (métal blanc). Un câble électrique est constitué de plusieurs fils isolés, réunis dans une gaine protectrice simple ou double.

Concernant la RADEEF les types de câbles avec lesquels ils travaillent sont : S22, S23, S26 avec une section de câble qui vaut 240mm^2 avec l'isolant PRC

.Pour le S22 :²

¹ https://fr.wikipedia.org/wiki/Fil_%C3%A9lectrique

² <file:///C:/Users/hp/Desktop/stage/S22.pdf>

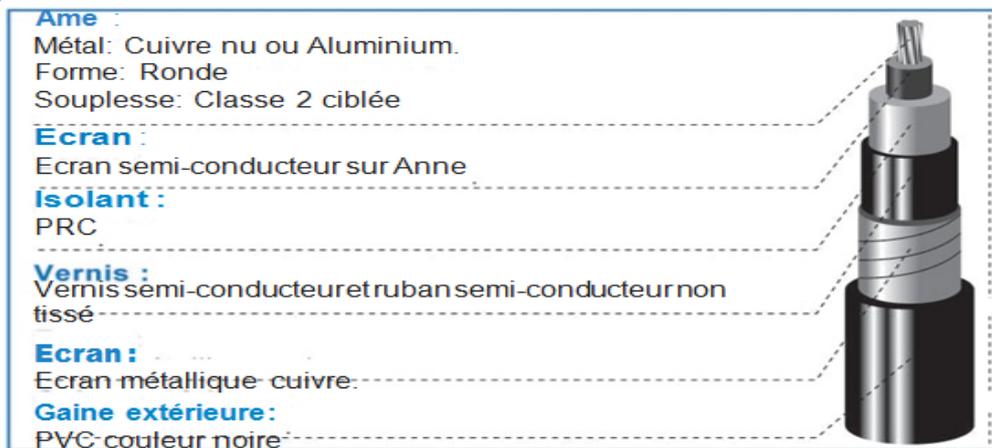
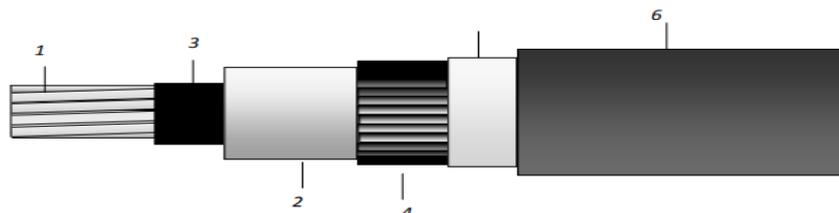


Figure4 : Les composants d'un câble S22

Utilisation : Distribution d'énergie publique et industrielle en particulier : connexions dans les postes et liaisons Aéro-souterraines. L'utilisation du PRC permet d'augmenter l'intensité transportée, de fonctionner dans des ambiances élevées ou de supporter des courants de court-circuit importants.

Pour le S23 :³



- 1-Ame: rigide câblée en alu ou en cuivre de classe2
- 2- Ecran semi conducteur extrudé
- 3- Isolant PR
- 4- Ecran semi conducteur extrudé cannelé et pelable + poudre gonflante
- 5- Ruban alu adhérent à la gaine (posé en long)
- 6- Gaine en PVC de haute résistance mécanique

Figure5 : Les composants d'un câble S23

Utilisation : Triple extrusion en même temps du semi-conducteur interne, isolant et semi-conducteur externe lisse. L'étanchéité longitudinale est assurée par une poudre gonflante en présence d'humidité. Le câble est isolé en polyéthylène réticulé à champ radial. Réalisation des liaisons MT

³ file:///C:/Users/hp/Desktop/stage/cable_moyenne_tension_isole_s23.pdf

urbaines et rurales. Réseaux MT dans l'industrie privée. Posé directement sans protection mécanique supplémentaire.

Pour le S26 :⁴

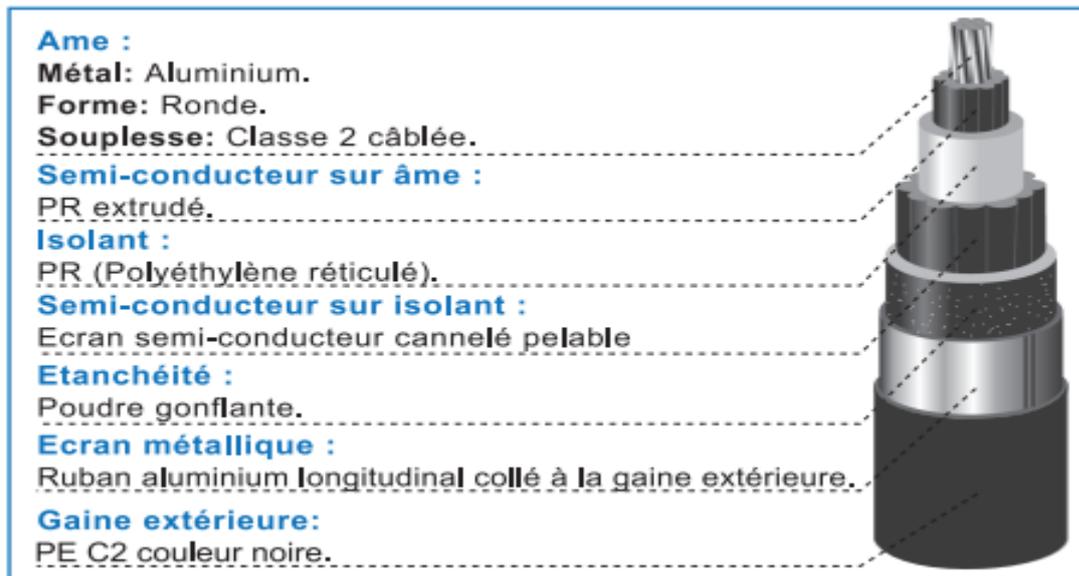


Figure 6 : Les composants d'un câble S26

Utilisation : ce câble est destiné à la réalisation de liaisons moyennes tensions dans des villes et des zones rurales, mais aussi dans l'industrie.

2-Étude générale de défauts :

Plusieurs facteurs peuvent impacter un câble, ce qui pourra à long terme causer des pannes au niveau du réseau électrique. En ce qui suit, nous allons vous citer les différents types de ces défauts.

⁴ <file:///C:/Users/hp/Desktop/stage/S26.pdf>.

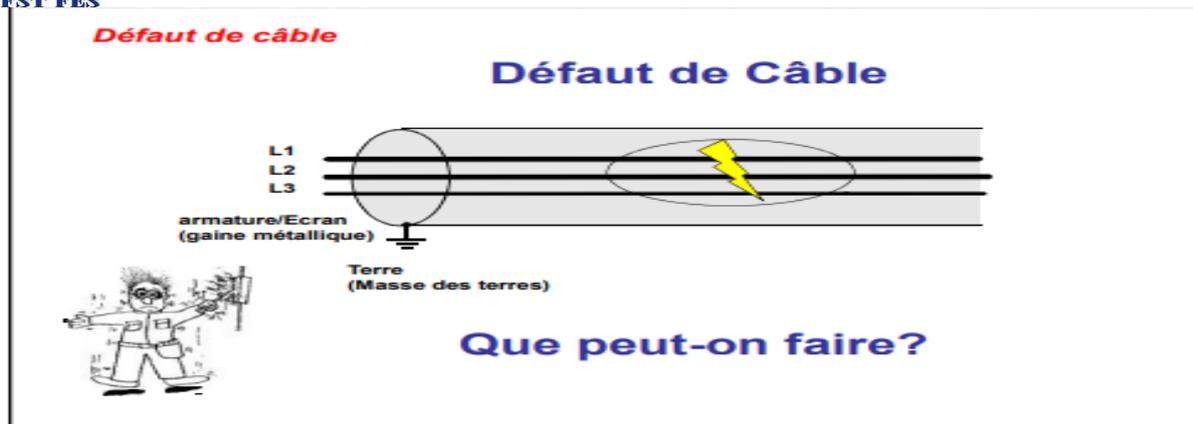


Figure 7: Défaut de câble

✓ **Défauts résistifs ohmiques :** ⁵

Un circuit isolé électriquement possède donc une résistance infinie au passage du courant. Techniquement, une résistance infinie peut se matérialiser par une distance entre deux matériaux conducteurs qui ne sont pas reliés. Lorsque cette résistance diminue, le passage du courant est autorisé, et l'isolement est rompu: on parle alors de continuité, le contraire de l'isolement. S'il y a une continuité, il y a donc un défaut d'isolement. Pour mesurer un défaut d'isolement sur un circuit électrique, il suffit de mesurer la résistance entre deux points de ce circuit: si cette résistance est infinie, il y a un isolement total, sinon, il y a un défaut d'isolement.

✓ **Défauts capacitifs :** ⁶

Les défauts électriques de type capacitif (qui génèrent des ondes ultrasonores) à moyenne et haute tension agissent sur les connexions, les jeux de barre, les isolateurs, les têtes de câbles... et sont à la source de problèmes de :

- Sécurité des biens et des personnes (incendie, explosion, rupture de pièce, corrosion ...) ;
- Nuisances sonores, bruits parasites audibles pour l'homme ;
- Interférences transmissibles sur la ligne électrique ou par onde radio électrique ;

⁵ <https://www.installation-renovation-electrique.com/resistance-electrique-defaut-disolement/>.

⁶ <https://www.erm-automatismes.com/d0001D5-camera-ultrasonore-de-detection-de-fuites.pdf>.

- Pollutions chimiques (effet CORONA engendrant des gaz de type ozone, NH₄, NO₃....).

✓ **Défauts inductifs⁷** :

- Réseaux Télécommunication ;
- Défauts de couplage.

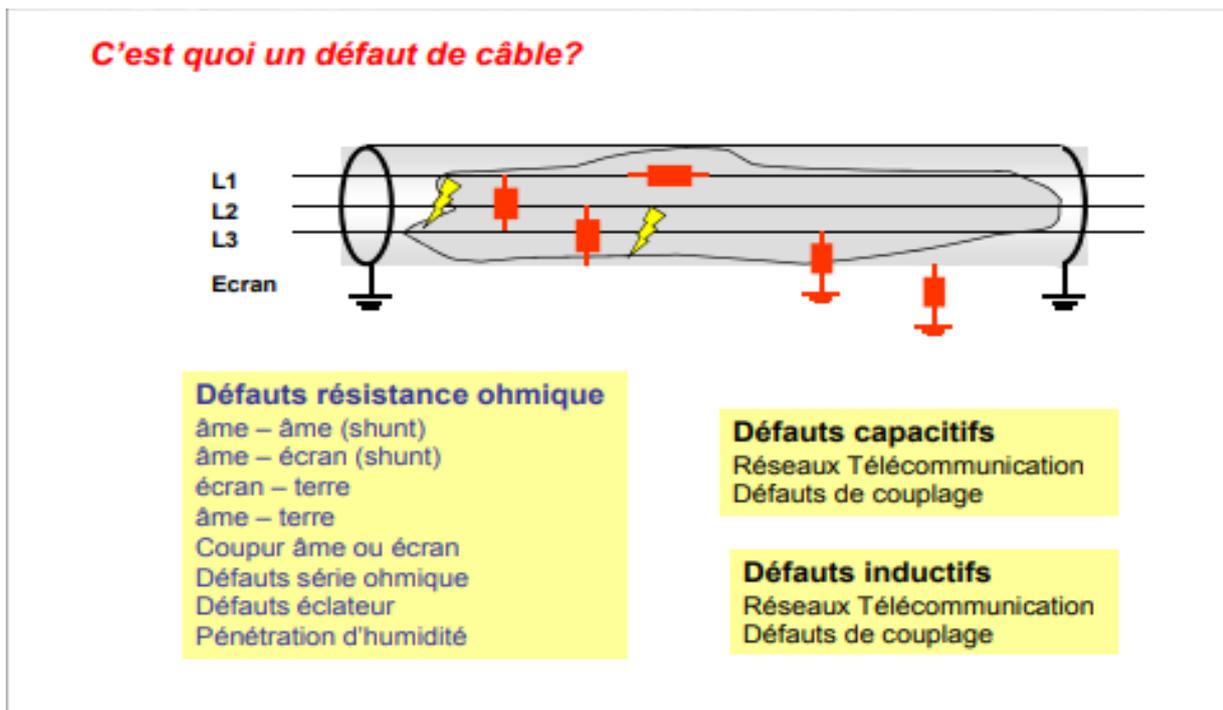


Figure 8 : Les différents types de défauts

3-Types de défauts :

On peut distinguer les types de défauts comme suit :

- ✚ **Court-circuit** : Des isolations endommagées conduisent à une liaison à basse résistance de deux conducteurs ou plus à l'emplacement du défaut.
- ✚ **Défaut à la terre/court-circuit à la terre** : Les pannes peuvent être dues à un court-circuit à la terre (liaison à basse résistance à la masse) d'un réseau supprimé ou exploité en étant isolé et/ou à un court-circuit d'un réseau mis à la terre. Un autre type de défaut est la double mise à la terre qui présente deux court-circuit à la terre espacés l'un de l'autre sur des conducteurs différents.

⁷ Remise lors d'une formation.



- ✚ **Ruptures de câble** : Des dommages mécaniques et des mouvements de terrain peuvent entraîner la rupture d'un ou plusieurs conducteurs.
- ✚ **Défauts intermittents** : Il arrive fréquemment que les défauts ne surviennent pas en continu, mais uniquement de temps en temps et en fonction de la charge du câble. L'une des raisons expliquant ce phénomène est le séchage de câbles isolés à l'huile en cas de faible charge. Une autre raison est la décharge partielle due au vieillissement ou à des «arborescences électriques» dans des câbles isolés par matière plastique.
- ✚ **Défauts de gaine** : Les dommages de la gaine extérieure du câble n'entraînent pas toujours des pannes franches, mais peuvent générer à long terme des défauts de câble, notamment à la suite de la pénétration d'humidité et à des défauts d'isolation

4- Causes :

Les liaisons câblées sont influencées par différents paramètres environnementaux. Une liaison câblée peut se composer de nombreuses portions de câbles différentes de types divers.

En fonction du niveau de tension, de la capacité de charge exigée et de la technique de montage et de garniture disponible, on emploie des câbles avec une isolation en matière plastique ou à papier imprégné. En pratique, les défauts de câble doivent être localisés sur tous les niveaux de tension : de la basse tension à la très haute tension en passant par la moyenne tension.

Indépendamment du type de câble, les causes de défaut les plus fréquentes, outre les interventions extérieures telles que les dommages lors de travaux d'excavation ou de terrassement, sont les suivantes : le vieillissement ou la fin de la durée de vie, la surtension, les sur contraintes thermiques, les dommages dus à la corrosion, une pose non conforme des câbles, les défauts d'usinage ou les dommages dus au transport et au stockage.

Il est essentiel que l'équipement de recherche de défauts de câbles soit conçu pour la plage de moyenne et de haute tension, mais qu'il puisse tout aussi bien être employé pour la plage de basse tension.

5-Analyse des statistiques des incidents MT :

À la région Fès-Meknès, la distribution et la fourniture de l'électricité se fait par des lignes hautes et moyennes tensions, nous parlons des câbles (S22, S23, S26). Dû aux raisons auparavant citées, la



régie a connu durant les 9 dernières années une nette augmentation du nombre d'incidents causé généralement par des défauts de câbles.

	Nombre des incidents par ans	Nombre des incidents moyen par mois	Durée de coupure par ans en min	Durée moyenne par mois en min	Durée moyenne par déclenchement en min
2008	96	8	3447	287	35
2009	124	10	4534	377	36
2010	136	11	5414	451	39
2011	198	16.5	5564	463	28
2012	140	11.5	2857	238	20
2013	129	10.75	34342044	286	26
2014	129	10.75	4803	170	15
2015	158	13	4077	400	30
2016	164	13.6	2213	339.75	25
2017	111	9.25		184.41	20

Tableau 1 : Statistique des incidents MT

1385 déclenchements MT depuis l'année 2008 jusqu'au 2017. La durée de coupure des déclenchements MT est de 38287 mn=638 heures=26 jours et 12 heures.

	Défaut câble	Travaux tiers	Cellule MT	Boîte jonction	Boîte d'extrémité	Diverses Causes
2008	31	35	1	2	6	21
2009	42	48	5	2	4	23
2010	45	50	1	1	10	29
2011	85	66	12	3	6	26
2012	44	52	6	5	4	29
2013	43	52	7	2	3	22
2014	40	50	3	5	4	27
2015	54	50	3	5	4	27
2016	55	65	7	1	10	26
2017	56	23	4	8	8	12
Total	495	497	60	30	55	248

Tableau 2 : Statistiques des incidents MT par cause

Diverses causes : TSA- transformateur- tentative de vol- sympathie- relais de protection- ligne aérienne- fugitif- aéro en défaut- jeu de barre – rongeurs-délestage.

Conclusion :

Comme nous l'avons expliqué, un câble qui livre aux consommateurs de l'électricité peut à tout moment être impacté par des facteurs de l'environnement ou même d'infrastructure, ce qui cause des pannes au niveau des installations électriques, et qui dit pannes, dit perte d'énergie, coupure pour les abonnés et un impact négatif au niveau économique du fournisseur d'énergie.

Alors, pourrons- nous anticiper ces défauts et les éviter avant qu'elles causent des pannes aux niveaux des installations? Quelles sont les différentes méthodes pour localiser ces défauts ? Et quelles sont les solutions que nous pourrons réaliser pour faire face à cette problématique ?



Chapitre III:

Diagnostic des câbles

Introduction

Les câbles sont présents dans tous les systèmes électriques ou électroniques, qu'il s'agisse de l'alimentation pour transporter de la puissance ou pour la transmission de données. Cependant, leur maintenance est souvent négligée et aucun système n'existe pour fournir un diagnostic rapide et précis de leur état. Compte tenu de l'augmentation de la longueur des câbles et de leur nombre, il est nécessaire de proposer un moyen de diagnostiquer les défauts qui y apparaissent. La détection et la localisation de défauts ont un intérêt majeur pour les ingénieurs et les chercheurs du domaine du génie électrique depuis de nombreuses années. La plupart des recherches effectuées dans ce domaine à ce jour ont eu pour but de détecter les défauts dans les lignes de transmission. Cela s'explique principalement en raison de l'impact des défauts des lignes de transmission sur les systèmes électriques

Dans ce chapitre, nous allons expliquer les différentes méthodes de localiser les défauts qui surviennent les câbles HTA ,définir les facteurs mis en jeu et finalement expliquer les méthodes de diagnostic effectuées par la régie et les solutions proposées pour faire face à ces défauts .

1-Définition de l'échomètre :

L'échométrie est la combinaison d'un oscilloscope et d'un générateur d'impulsions. La détection du défaut s'effectue par comparaison des échogrammes entre un conducteur sain et le conducteur en défaut. Tant que les impulsions ne sont pas parvenues au défaut les deux échogrammes sont identiques. A l'endroit du défaut les deux échogrammes divergent. Si l'écho de fin du câble en défaut est positif, le défaut est une coupure bien isolée. Si l'écho est négatif, il s'agit d'un défaut d'isolement. Dans les deux cas, la mesure s'effectue entre le pied de l'impulsion de départ et le pied de l'écho de fin.

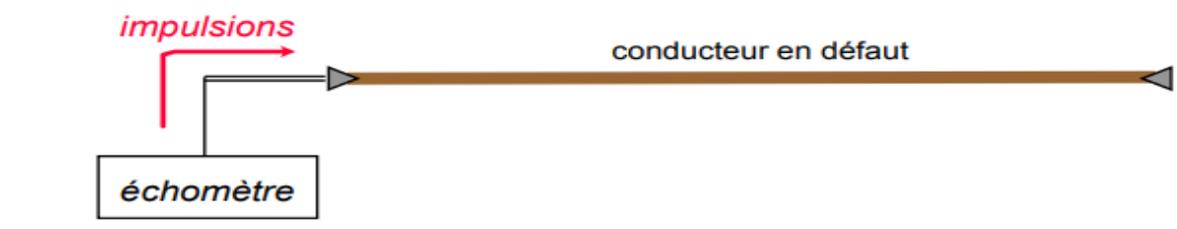


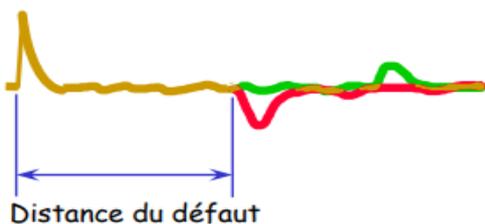
Figure9 : Utilisation d'échomètre



Echogramme obtenu sur un câble présentant une extrémité ouverte (extrémité normale du câble ou coupure du câble)
L'écho de fin est positif



Echogramme obtenu sur un câble présentant une extrémité mise à la terre (sectionneur de terre fermé sur l'extrémité normale du câble ou défaut d'isolement)



La comparaison de deux relevés (un sur un câble sain et l'autre sur le câble en défaut permet de mesurer la distance du défaut par rapport à l'échomètre)
La divergence des deux échogrammes indique la distance du défaut.
Dans notre cas :
échogramme vert pour le câble sain et échogramme rouge pour le câble en défaut.
L'écho de fin négatif indique un défaut d'isolement entre phase et écran.

Figure 10 : Résultats de mesure à l'aide d'échomètre

2-Étapes de localisation de défauts⁸:

La première phase est faite par le chargé d'essais qui devra effectuer la consignation consistant en l'identification de l'ouvrage, la vérification d'absence de tension suivie de la mise à la terre et en court-circuit. Pour effectuer les essais électriques, le câble devra en plus être réquisitionné.

- **Test** : Objectif : Identifier les défauts de câble et leurs types (par ex. défauts d'isolement ou boîtes de jonction défectueuses), elle s'effectue par une mesure d'isolement du câble au mégohmmètre 500V courant continu.

Le contrôle doit être réalisé entre phases, et entre phase et terre et permet de trouver les câbles défectueux. Un défaut d'isolement se caractérise par une résistance d'isolement inférieur à 160Ω dans le cas d'un câble sans dérivation;

- **Pré-localisation** : Objectif: La mesure s'effectue par échométrie basse tension afin de déterminer le coefficient de réflexion du câble. Ce coefficient est positif lorsqu'il s'agit d'un défaut de continuité sur le câble (coupure bien isolée) ou négatif dans le cas d'un défaut d'isolement.
- **Tracé de câble** : Objectif: Déterminer le cheminement de câble et la profondeur. Le dispositif est constitué d'un générateur installé à l'une des extrémités du câble et qui injecte une fréquence dans celui-ci. Un traceur comprenant une bobine de détection permet à un technicien de repérer le câble et de le suivre;
- **Localisation fine** : Objectif: Localiser avec précision la position de défaut de câble ;
- **Identification de câble** : Objectif: Sélectionner le câble souhaité.

Résumant ces étapes ci-dessous :

⁸ file:///C:/Users/hp/Desktop/stage/principe_recherche_dfaut.pdf.

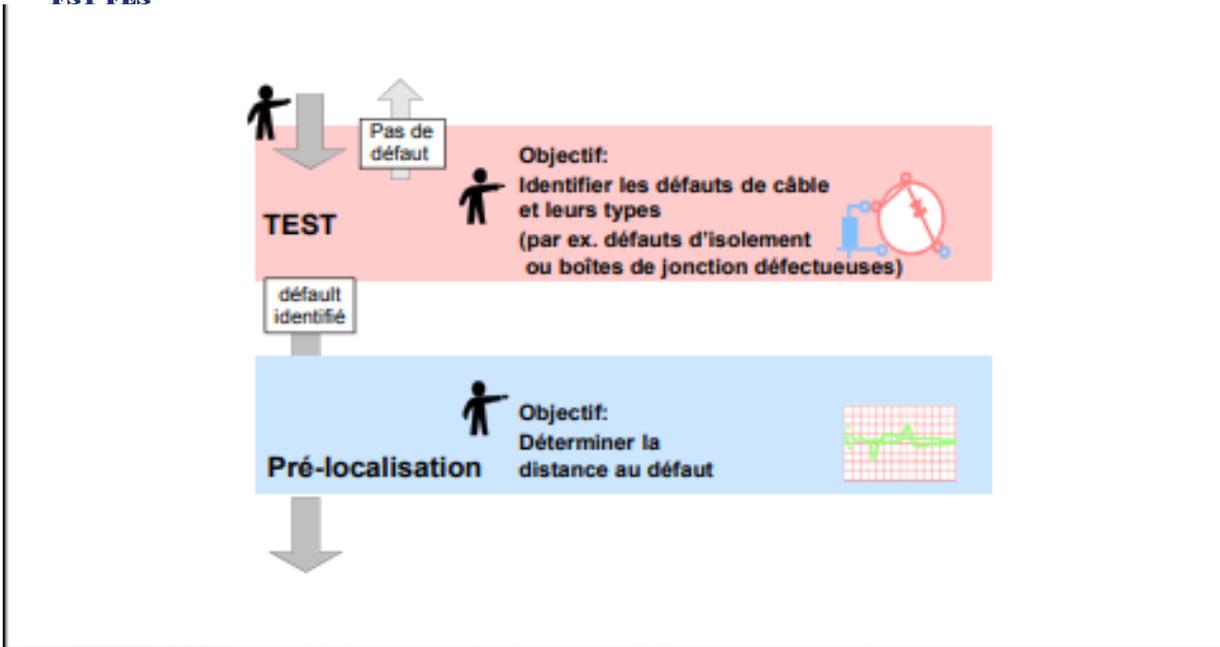


Figure 11 : Etapes de localisation d'un défaut (1)

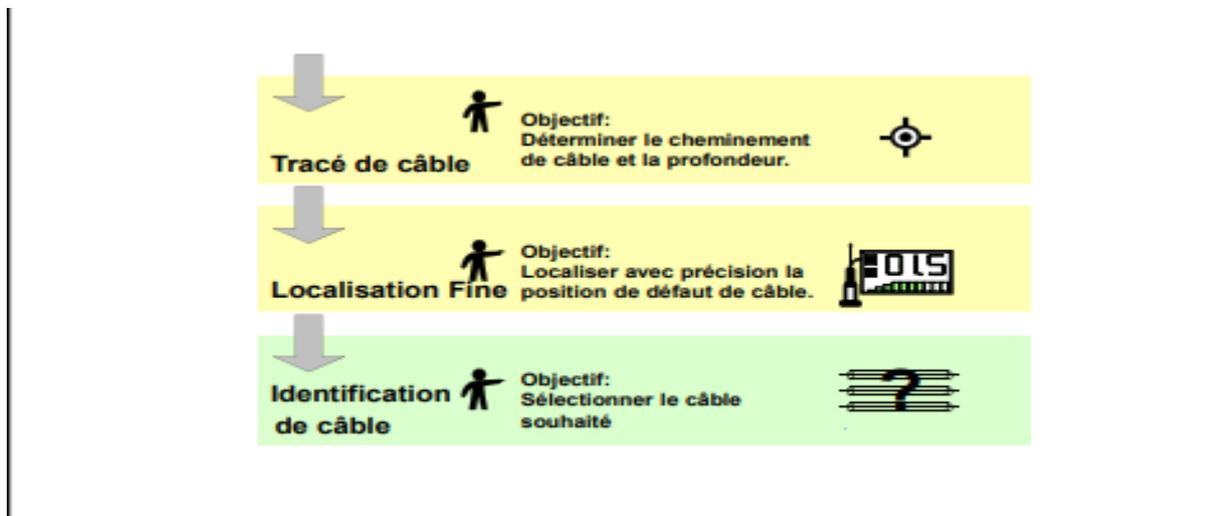


Figure 12 : étapes de localisation d'un défaut (2)

3-Facteur de réflexion :

3-1⁹ Définition :

C'est une onde qui est émise au début de câble et une onde qui est reçue à la fin du câble. En général c'est ce qui nous revient sur ce qui est parti.

$$r = U_r / U_s$$

r : Facteur de réflexion.

U_S : Signal d'émission.

U_R : Signal de réflexion.

Une expression plus simplifiée du facteur de réflexion :

$$r = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$$

Z₁ : Impédance caractéristique de la première ligne de transmission.

Z₂ : Impédance caractéristique de la seconde ligne de transmission.

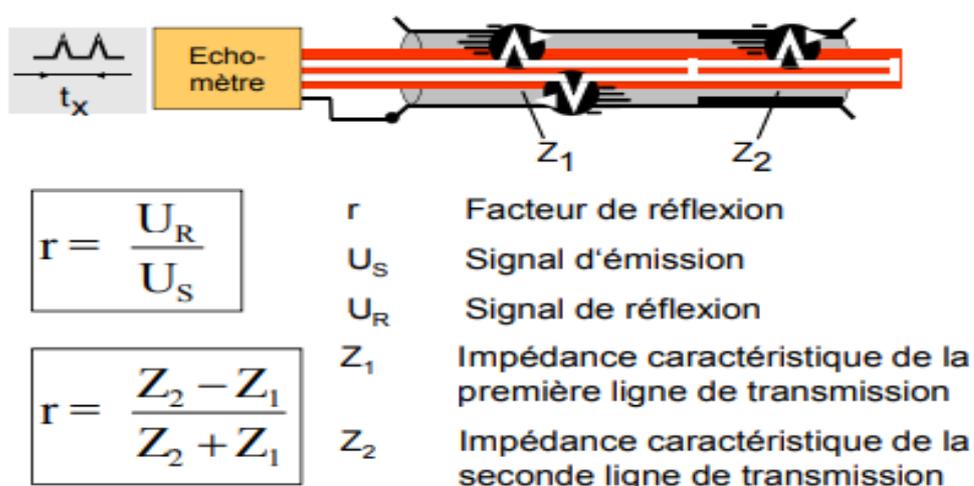


Figure 13 : formule pour le calcul de facteur de réflexion

⁹ Définition remise lors d'une formation au sein de la RADEEF.

3-2-Facteur de réflexion – Court-circuit :

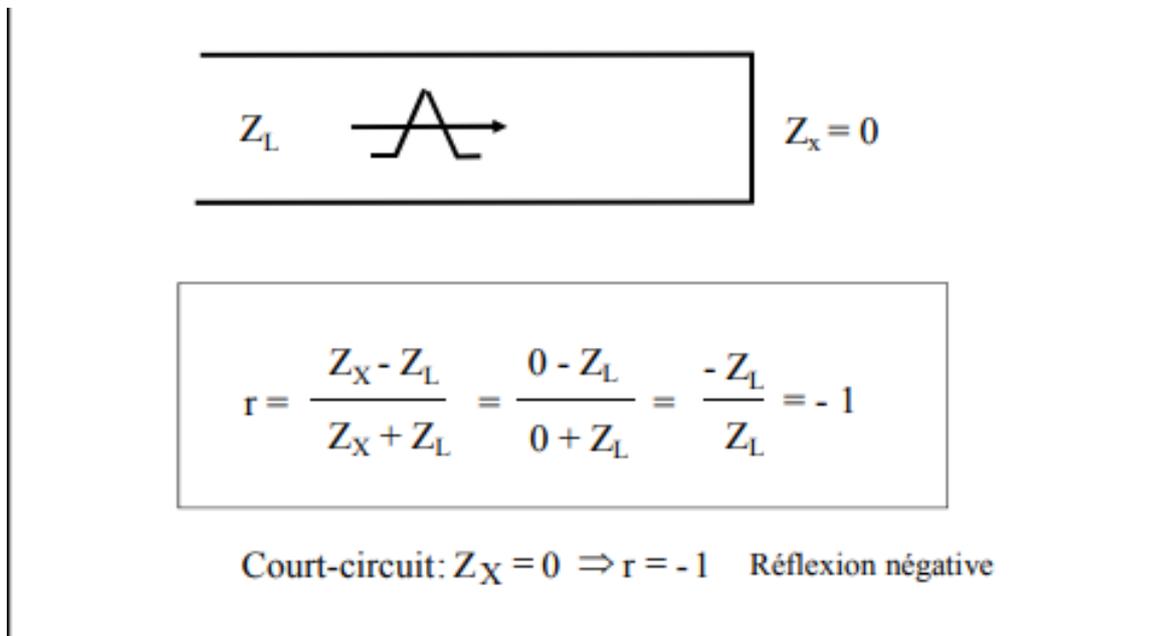


Figure 14: Facteur de réflexion : court-circuit

On remarque qu'à la fin du câble l'impédance vaut 0. En appliquant la formule du facteur de réflexion, on trouve -1 donc la réflexion est négative.

3-3-Facteur de réflexion - Extrémité ouverte :

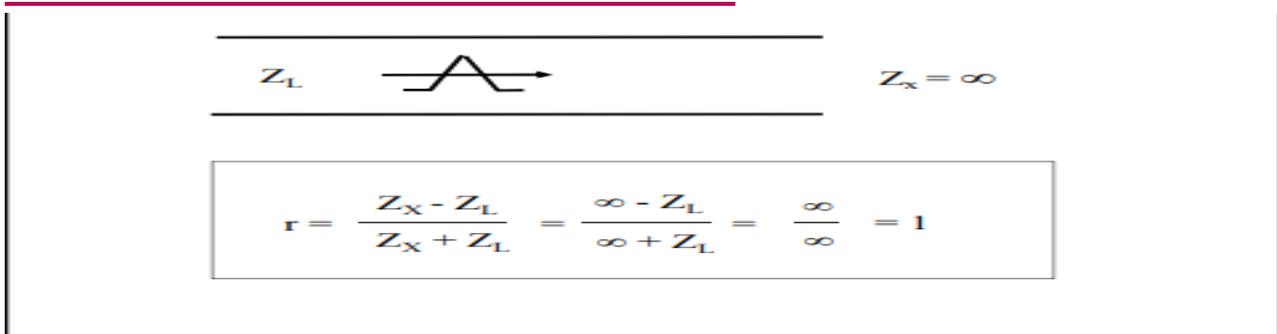
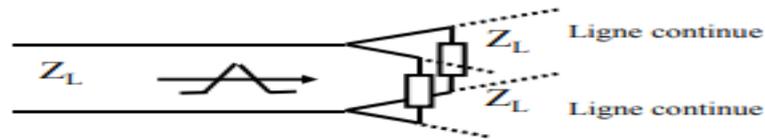


Figure 15: Facteur de réflexion - Extrémité ouverte dans ce cas

D'après la figure, on a une coupure de câble. Donc l'extrémité ouverte est déterminée par une impédance infinie. Ce qui implique que la réflexion vaut 1. Ce qui veut dire que tout ce que je cède revient c'est la même impulsion de départ.

3-4-Facteur de réflexion – Dérivation :



$$Z_X = \frac{Z_L^2}{2 \times Z_L} = \frac{1}{2} Z_L$$

$$r = \frac{Z_X - Z_L}{Z_X + Z_L} = \frac{\frac{1}{2} Z_L - Z_L}{\frac{1}{2} Z_L + Z_L} = \frac{-\frac{1}{2} Z_L}{+\frac{3}{2} Z_L} = -\frac{1}{3}$$

Figure 16: Facteur de réflexion - Dérivation

Dérivation veut dire dans ce cas, qu'à la fin le câble se partage en deux câbles identiques ce qui implique que l'impédance est divisée en deux. On trouve comme résultat -1/3.

3-5-Facteur de réflexion - Extrémité de câble avec impédance caractéristique :

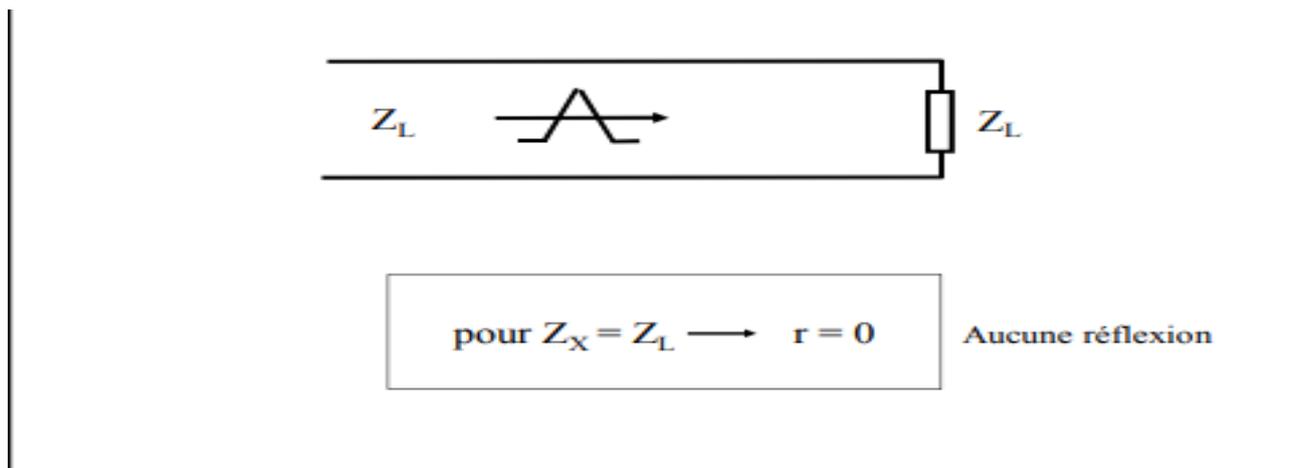


Figure 17 : Facteur de réflexion - Extrémité de câble avec impédance caractéristique

Dans ce cas aucune réflexion.

3-6-Facteur de réflexion (exemple de calcul) :

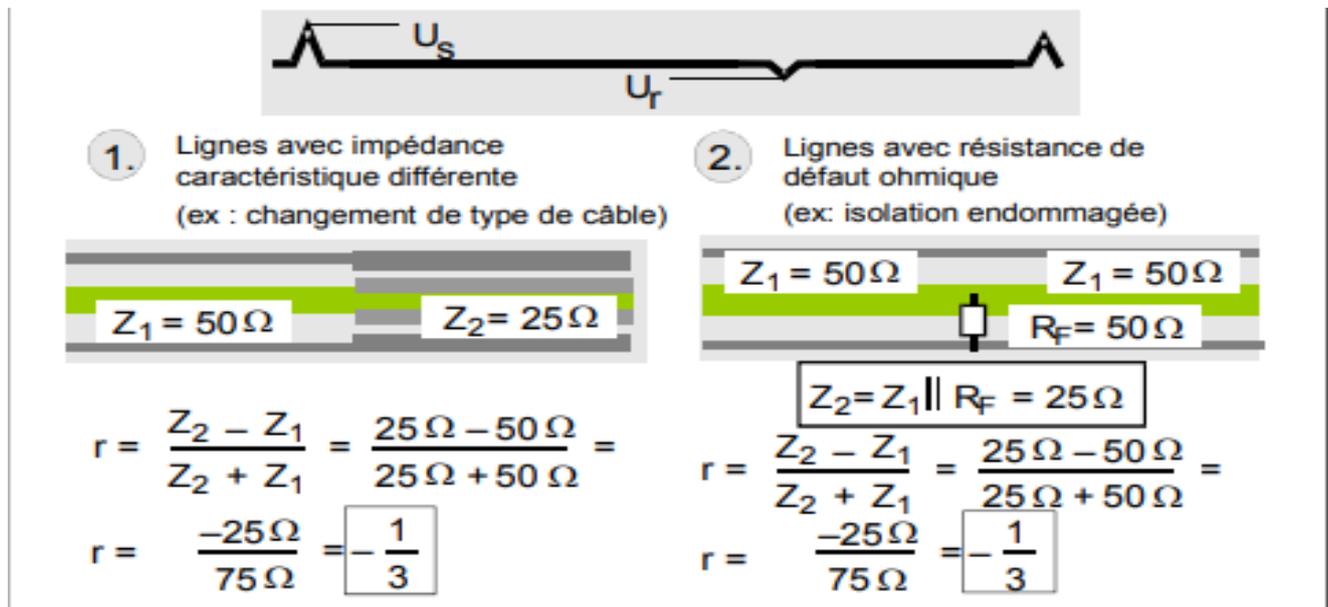


Figure 18: Exemple de calcul

3-7 Résultats de localisation de défauts avec un Echomètre :

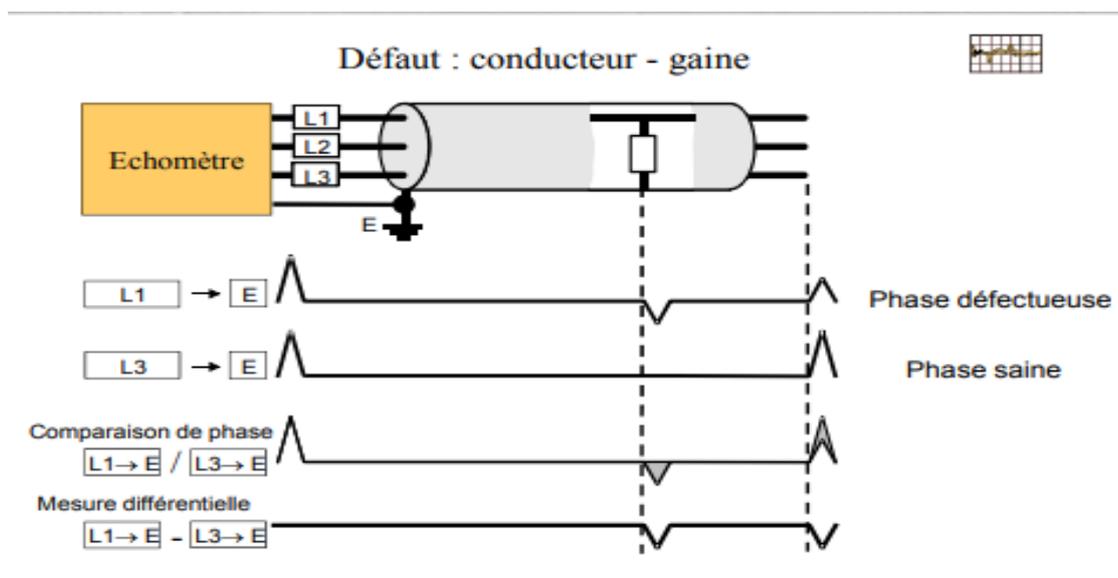


Figure 19 : Résultat de localisation(1)

Dans ce cas, le défaut se situe entre phase et terre. Nous remarquons une impulsion négative qui se déclenche à la phase défectueuse. Avec ce résultat nous pouvons savoir le type de notre défaut. Donc impulsion négative implique un court-circuit, car le facteur de réflexion d'un court-circuit vaut -1.

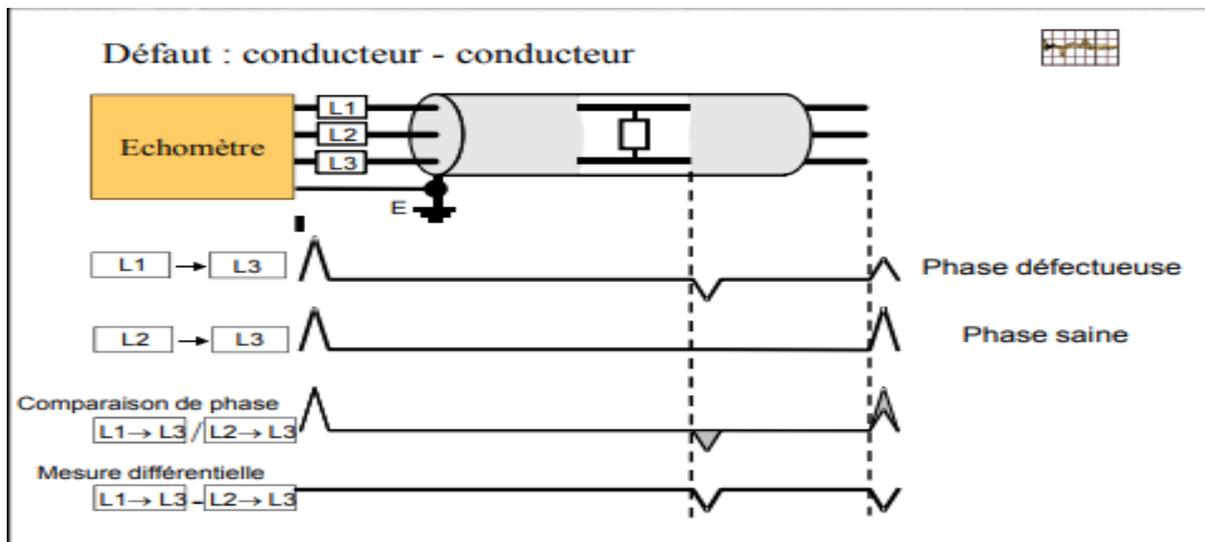


Figure 20 : Résultat de localisation(2)

Dans ce cas, nous avons le même type de défaut à savoir un court-circuit, mais ce qui est différent c'est que le défaut se situe entre deux phases.

4-Diagnostic des câbles:

¹⁰L'objectif principal des technologies de diagnostic est d'éviter les interruptions de service lors d'une opération sur un réseau, quel que soit son niveau de tension. Les coupures sont principalement causées par des dommages sur les câbles, dus à une pose de mauvaise qualité, à des défauts de fabrication et à une détérioration progressive des boîtes de jonction, des terminaisons ou de l'isolant.

Les problèmes potentiels et les défauts dus à une mauvaise installation peuvent ainsi être détectés et corrigés alors que tous les composants sont encore accessibles. Cela permet d'éviter des pannes futures sur le réseau ainsi que des coûts résultants aux réparations. Un autre moyen de réaliser des économies est de remplacer les câbles efficacement en connaissant leur état. Pour des câbles critiques étant déjà en service, une analyse continue ou périodique de leur état permet d'identifier des défauts potentiels et de planifier au mieux un programme de maintenance, afin d'éviter des interruptions de service et des coûts importants liés à une panne du réseau.

¹⁰ http://es.megger.com/getmedia/aaca76de-170d-4231-99a0-a996c90b6cef/2016-Catalogue-cables_FR_V01a.pdf.

La décharge partielle et la tan delta sont les deux méthodes optées par la RADEEF pour le diagnostic à l'aide du camion qui se présente comme suit :



Figure 21 : Camion de diagnostic (1)



Figure 22 : Camion de diagnostic (2)

4-1 Détection du défaut à l'aide de la décharge partielle :¹¹

Lorsqu'un câble de distribution de l'énergie électrique est en service, son isolation vieillit et se dégrade inéluctablement. La plupart des imperfections de l'isolant d'un câble se manifestent d'ailleurs par des petites décharges, communément appelées décharges partielles. Il est dès lors tout naturel de considérer ces décharges pour identifier tout signe précurseur de la défaillance d'un câble. Celles-ci se manifestent par des pulsations (de courant et de tension) haute fréquence qui se propagent le long du câble en question. En détectant ces pulses au niveau des extrémités du câble, on peut espérer se faire une idée de la qualité de son isolation et par conséquent de son stade de vieillissement.

Les câbles doivent donc faire l'objet d'un diagnostic régulier ayant pour principale mission de vérifier la qualité de leur isolation. A cet égard, la mesure de décharges partielles est une technique qui a prouvé toute son efficacité depuis de nombreuses années.

4-1-1 Définition de la décharge partielle :¹²

Dans le domaine de l'électricité, une **décharge partielle** (DP) est une « décharge électrique localisée qui court-circuite partiellement l'intervalle isolant séparant des conducteurs¹ » sous l'effet d'une forte tension (HTB ou HTA). Leur présence conduit à une dégradation accélérée de l'isolation qu'elle soit liquide, par oxydation, ou solide, par érosion.

4-1-2 Types de la décharge partielle :¹³

On distingue deux types de décharge partielle :

- ❖ **La décharge partielle de surface** : fait suite à l'effet «Corona » ou effet « couronne » du fait de la couronne de gaz créée par l'ionisation de l'air. Cette décharge partielle, destructrice pour le matériel l'est également pour l'être humain. En effet, ce phénomène se produit lorsque l'isolation n'est plus suffisante et que l'électricité trouve un chemin plus court vers un potentiel différent via l'air ionisé. Ce genre de décharge arrive fréquemment sur les têtes de câbles et autres éléments des cellules¹⁴ HT laissant des « traces » ou « marbrures ».

¹¹ [file:///C:/Users/hp/Downloads/TFE_Lebas%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/hp/Downloads/TFE_Lebas%20(1).pdf).

¹²

¹³ <https://fr.linkedin.com/pulse/anticiper-les-pannes-des-installations-haute-tension-par-cellier>

¹⁴ HT : haute tension

- ❖ **La décharge partielle interne** : Ce produit lorsqu'un vide est créé dans l'isolation. Ce genre de décharge arrive notamment dans les câbles des réseaux HT souterrains. Invisible, cette décharge peut facilement coûter très cher. En effet, une fois que la défaillance aura eu lieu, il sera difficile de détecter et localiser rapidement la partie du câble incriminée. On retrouve également ce genre de phénomène sur les isolateurs et parafoudre des AIS.¹⁵

4-1-3 Comment les détecter ?

Ces phénomènes de décharge partielle ont plusieurs symptômes de leur manifestation :

- ✚ De la lumière ;
- ✚ De la chaleur ;
- ✚ Des odeurs ;
- ✚ Des effets électromagnétiques ;
- ✚ Du bruit.

4-1-4 Mesure :¹⁶

La mesure des décharges partielles se fait suivant la norme IEC 60270. Les décharges partielles (DP) apparaissent à des emplacements en défaut sur le câble, par exemple sur les arborescences électriques, les boîtes de jonction ou les extrémités. La mesure de décharges partielles permet notamment d'identifier avec succès :

- Les défauts sur les garnitures neuves et anciennes, par exemple les boîtes de jonction mal montées ou également les garnitures ;
- Les défauts détériorant l'effet isolant dans l'isolation en matière plastique des câbles, les arborescences électriques par exemple ;
- Une isolation à papier imprégné insuffisante en raison de l'assèchement.

¹⁵ AIS :

¹⁶ <https://fr.linkedin.com/pulse/anticiper-les-pannes-des-installations-haute-tension-par-cellier>.

4-2-Détection du défaut à l'aide tan delta :¹⁷

La régie utilise les deux méthodes pour le diagnostic, celle de mesures des décharges partielles qui est moins utilisé par rapport à la deuxième, et en ce qui concerne les installations anciennes ils optent simplement pour le renouvellement du câble. La deuxième méthode, celle du diagnostic par mesure de tan delta est la plus utilisée, en ce qui suit nous allons expliquer les étapes de cette démarche.

Le module de mesure Tan Delta permet à l'opérateur de déterminer précisément l'état d'un câble. Les effets du vieillissement, le degré d'humidité ou encore les « arborescences d'eau » peuvent être détectés et quantifiés simplement, ce qui fait du Tan Delta l'outil idéal pour contrôler l'état d'un câble.

4-2-1 : Définition de la Tan Delta :

C'est le rapport des permittivités relatives imaginaires et réelles, donc des constantes diélectriques.

$$\text{Tan } \delta = I_r / I_c = 1 / \omega RC$$

I_r est le courant de fuite, plus le courant de fuite est grand plus la Tang delta est importante ils sont proportionnelles. En résumé, plus la Tan Delta est élevée, plus le câble est mauvais.

4-2-2 Mesure :

Pour mesurer le vieillissement d'un câble à l'aide du tan delta on injecte une tension sinusoïdale dans chacune des phases et on note la valeur trouvée, on reprend la même démarche en augmentant la tension et on note la nouvelle valeur. On répète cette opération plusieurs fois pour observer la variation du tan delta. Donc plus la variation est grande plus le câble est endommagé.

¹⁷ <file:///C:/Users/hp/Desktop/stage/vlf%20tangente%20delta%20fm.pdf>.

Connection diagram tanδ measuring system

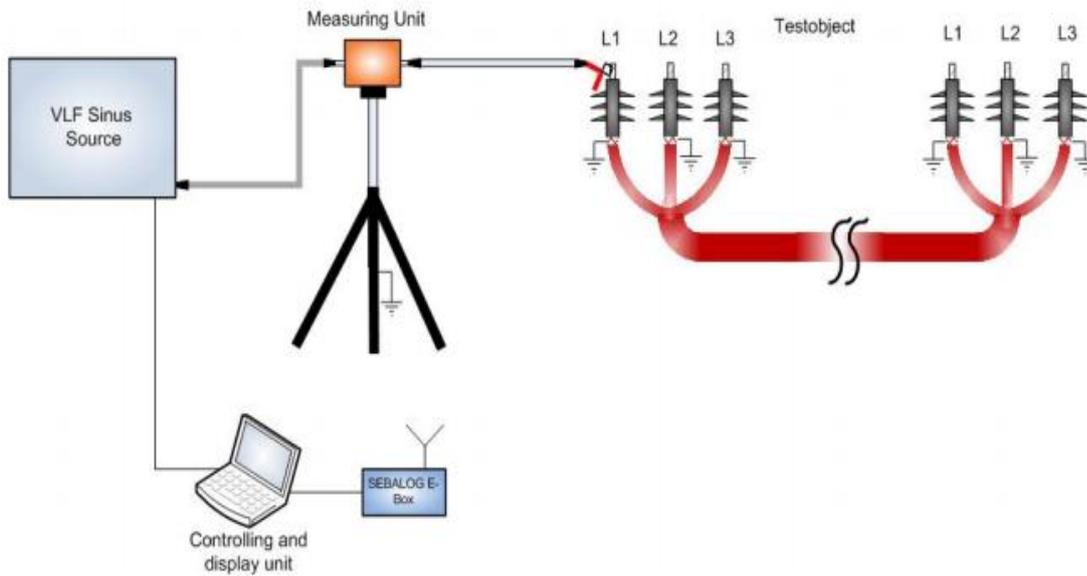


Figure 23 : Mesure du tan delta

La figure ci-dessous nous montre le résultat de mesure d'un câble dans différent état :

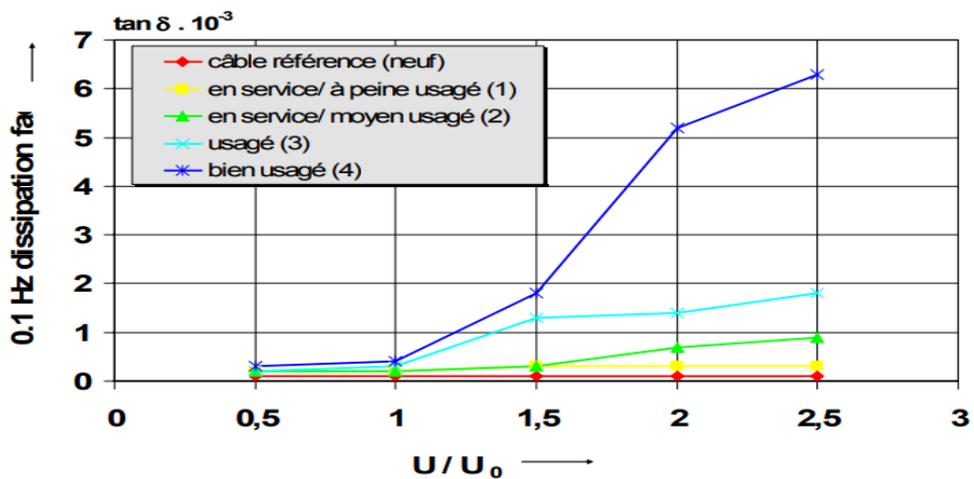


Figure 24 : Comparaison entre différents états d'un câble

Affichage de la Tan Delta en fonction de la tension et la visualisation de son allure:



Figure 25 : Résultat de mesure des trois phases

La valeur de la Tan Delta peut être classée parmi 3 catégories: l'isolant est en bonne condition/ l'isolant a déjà vieilli / l'isolant est fortement dégradé. En fonction de la catégorie de la Tan Delta, des décisions sont préconisées.

Tan Delta à $2U_0$	Diagnostic	Nécessité de répétition de la mesure
$\text{Tan } \delta \leq 1.2 \cdot 10^{-3}$	Bon	5 ans
$1.2 \cdot 10^{-3} < \text{Tan } \delta < 2.2 \cdot 10^{-3}$	Vieilli	annuel
$2.2 \cdot 10^{-3} \leq \text{Tan } \delta$	Fortement dégradé	Remplacement

Tableau 3 : Résultat du diagnostic à l'aide du tan delta

Le câble devrait également être remplacé si $(\Delta \text{ Tan } \delta)$ entre $1U_0$ et $2U_0 > 1 \cdot 10^{-3}$.

Pour réaliser une mesure de Tan Delta, il faut disposer des composants suivants :

- ✓ Appareil de test VLF sinus avec un signal sinusoïdal;
- ✓ Un capteur HT Tan Delta et un capteur de courant de fuite.



L'appareil Tan Delta a 3 composants :

- ✓ Appareil de mesure (MCU);
- ✓ Sebalog E-box;
- ✓ Unité de contrôle et d'affichage (un PC portable p.ex. Ou l'unité de pilotage d'un véhicule laboratoire de RDC).

Les avantages de cette mesure :

- Les délais de mesure sont courts ;
- Mesure complètement indépendante des perturbations électriques ou des mises à la terre multiples.

5-solution proposée :

Durant note période de stage, nous avons vu les différentes méthodes que la régie optent pour faire le diagnostic des câbles HTA, la méthode de détection des défauts en utilisant la tangente delta ou bien par les décharges partielles qui sont réalisées à l'aide du camion de diagnostic comme cité auparavant.

La question qui se pose est : peut-on trouver un autre moyen de diagnostic et d'anticipation de pannes? Comment savoir est-ce qu'un câble est priorisé d'être diagnostiqué par rapport à un autre ?

C'est ici où nous avons intervenu, en intégrant des dispositifs bien précis qui nous aideront à prioriser des câbles en défaut par rapport à d'autres, pour faire le nécessaire et réparer ce qui peut à long terme endommager un câble.

5-1Principe de fonctionnement:

Notre système sera implémenté directement au câbles déjà alimentés, que ça soit souterrains ou aériens, grâce à des capteurs de courant, nous calculerons la différence de courant entre deux points situé sur câble, si la valeur en un deuxième point est approximativement égale à celle de la valeur du courant du premier point, ceci signifie qu'il y a un courant de fuite important et donc le câble est en bon état, sinon, si les deux valeurs sont différentes, c'est-à-dire le courant au deuxième point est inférieur par rapport à celui du premier, alors le câble nécessite un diagnostic en utilisant le camion, par les deux méthode qu'utilise déjà la régie pour s'assurer de son état et voir est-ce qu'il nécessite un changement ou pas ?

5-2 Description des composants du système:

Notre système se compose de deux capteurs de courant, 2 microcontrôleurs, un générateur, un récepteur, un transmetteur radio TX 433 MHZ, Récepteur RX et le câble que nous allons étudier son état.

- Les deux capteurs que nous allons utiliser sont des capteurs de courant à effet hall , ils délivrent en sortie une tension v_H quasiment proportionnelle au champ magnétique et donc dépendant de l'intensité i : le courant à visualiser est appliqué à un enroulement de circuit magnétique. Ils produisent un champ magnétique qui est responsable de l'apparition de la tension « Hall » v_H ;



Figure 26 : Capteurs à effet Hall

- 2 microcontrôleurs, qui nous permettront de mémoriser la valeur de courant en un point, que le capteur a pu détecter ;

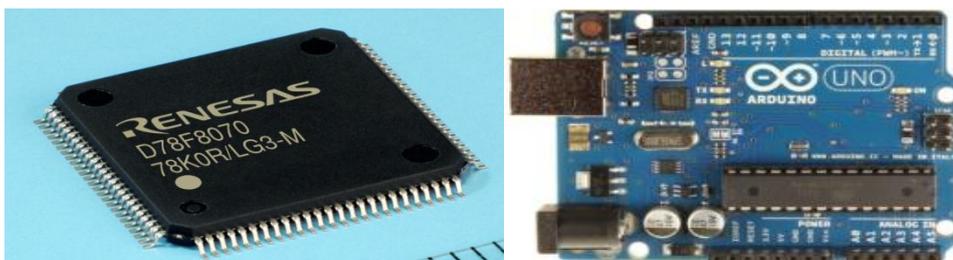


Figure 27 : Microcontrôleurs

✚ Emetteur TX qui sera implémenté en le premier point du câble (début l'une liaison), qui contient la première valeur du courant livré par le microcontrôle , et qui va transmettre le message au récepteur RX.

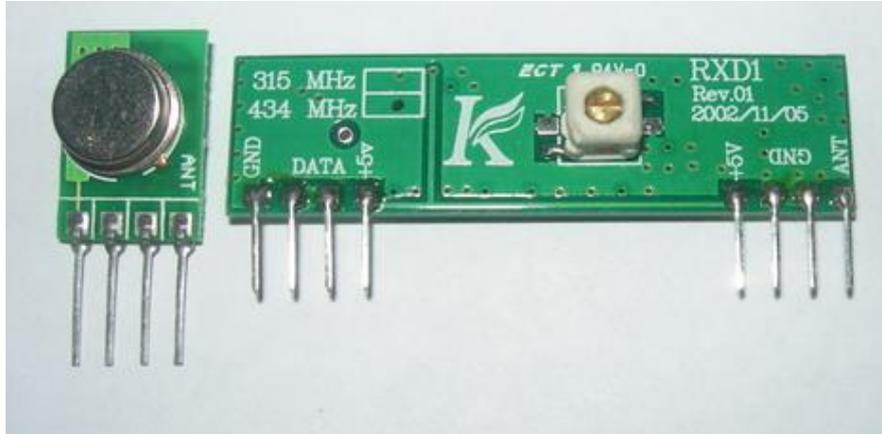


Figure 28 : Emetteur TX

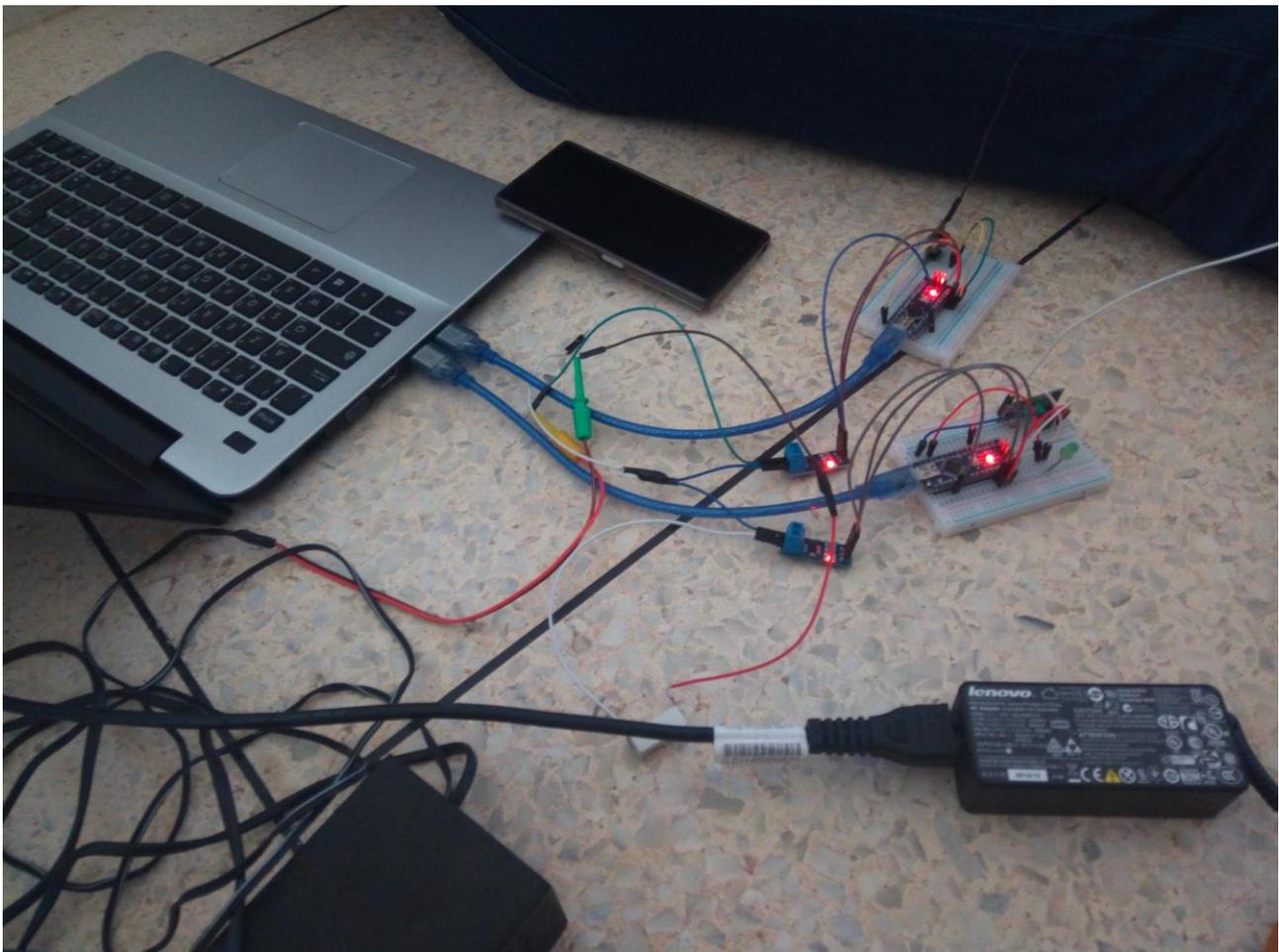
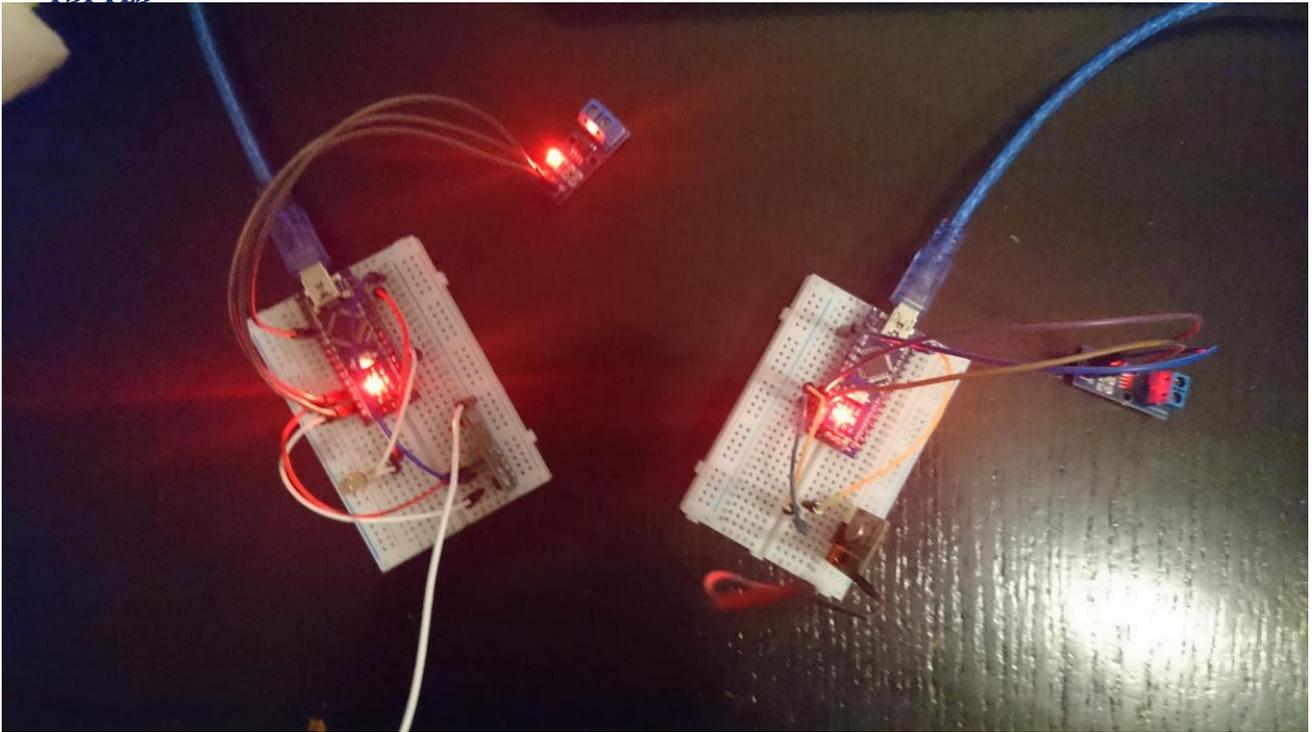
✚ Le récepteur RX est un dispositif qui va recevoir le message envoyé par le transmetteur TX, pour avoir la valeur du courant du premier point..

5-3 Le prototype réalisé:

La démarche de notre prototype est simple, nous placerons nos capteurs en deux points différents du câble alimenté A et B (au début et à la fin d'une liaison) .

Le premier capteur détectera par effet hall la valeur du courant IA qui sera livré au premier Arduino uno 3, ce dernier va moduler le message en ASK qui contient cette valeur, et à son rôle, il sera relié avec le Emetteur Tx433 qui va envoyer le message modulé , une fois le message est reçu par le récepteur RX, le deuxième Arduino placé au point B mémorisera en valeur le courant reçu au message, après l'avoir démodulé, fera la différence entre cette valeur et la valeur IB détectée par le capteur de courant CB située au deuxième point (à la fin de la liaison).Si les deux valeurs sont approximativement égales, ceci signifie que le câble est en un bon état.

Si cette différence est importante cela signifie qu'y a un courant de fuite important. Une carte GSM liée au circuit va envoyer un message pour informer la cellule de mesures et protections que ce câble nécessite un diagnostic dans le prochain délai.



5-4 Impact de la solution :

Ceci aura un impact positif sur la régie,

- ✓ Au niveau économique : un câble priorisé d'être diagnostiqué sera vérifié au bon moment, ne va être endommagé, et va nous éviter des pannes au niveau du réseau électrique et des couts résultants de cette panne.
- ✓ Au niveau de gestion de la cellule de mesures et protections : Ce système grâce aux messages qu'il va envoyer, aidera la régie à avoir une base de données pour faire son rôle de diagnostic des câbles, que ça soit aux niveau des nouvelles installations ou anciennes, par ordre de priorité.

Après avoir réalisé le bon diagnostic du câble, nous avons pensé à une autre solution pour les installations anciennes, et qui nous permettra d'éviter la seule solution optée par la régie, celle du changement du câble ancien HTA au cas d'une détection de défauts.

5-5 Le rajeunissement de pression soutenu (SPR):

Cette méthode consiste à injecter des fluides dans les câbles souterrains pour prolonger leur durée de vie, une méthode dédiée pour les vieux câbles qui commencent à être endommagés, ils réparent le défaut et injectent les fluides et relient le câble au réseau électrique, ce qui augmente considérablement la fiabilité du câble injecté tout en s'assurant de la sécurité pendant l'injection.

Le SPR peut être utilisé avec les fluides d'injection Cablecure iXL ou Cablecure 732. Le fluide sélectionné est injecté et confiné aux segments de câble sous pression modérée et adaptée.

Le processus SPR augmente considérablement la fiabilité du câble et bénéficie d'une garantie allant jusqu'à 40 ans. Le processus est complété en une seule visite, et la rigidité diélectrique totale du câble est rétablie en sept jours. Et donc la force diélectrique complète est rétablie en seulement un court temps.

5-5-1 Processus de rajeunissement:

Premièrement nous isolons, testons et mettons à la terre le câble, puis nous utilisons le DTR pour vérifier chaque segment pour les épissures, la corrosion neutre et la longueur.



Figure 29 : Vérification de la longueur et du défaut de câble à l'aide du DTR

Les épissures sont localisées à l'aide d'un localisateur RF et d'une roue de mesure.

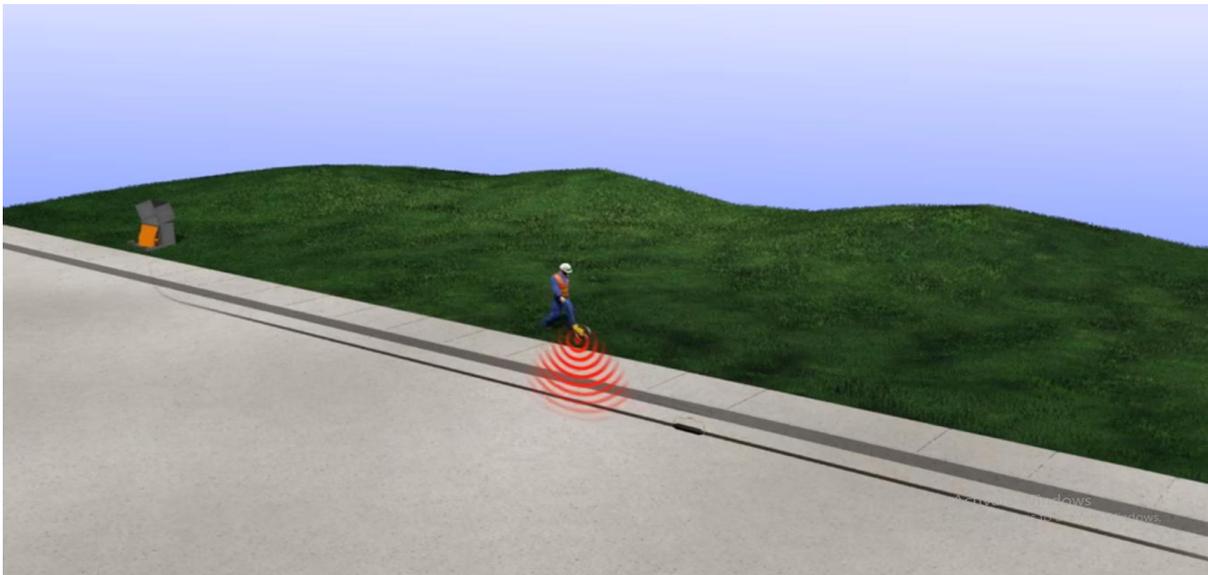


Figure 30 : Mesure des épissures

Au fur et à mesure, nous creusons une fosse pour exposer et retirer l'ancienne épissure.

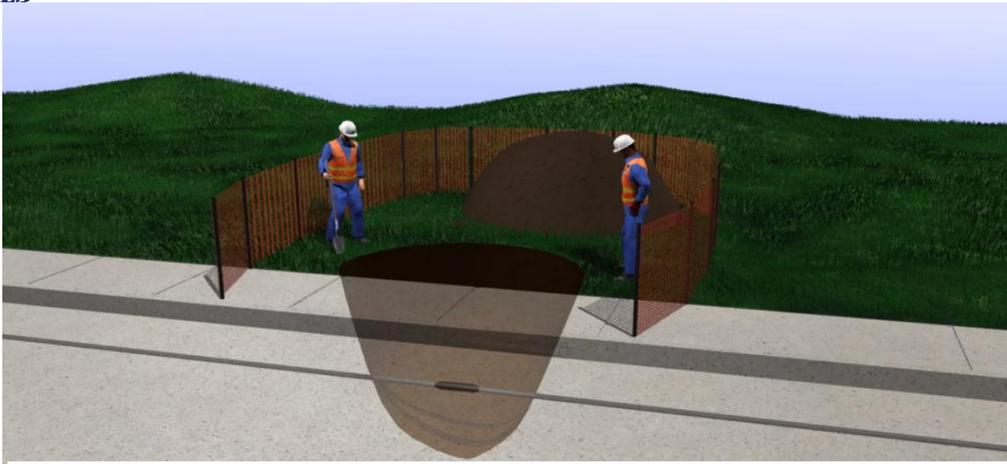


Figure 31 : Mesure

Ensuite, nous utilisons une presse radiale pour installer de nouveaux adaptateurs d'injection et connecteurs d'épissures. Cette installation est vérifiée avec un modèle mesuré.

Puis, nous positionnons les outils d'injection, nous injectons chaque sous-segment à une pression modérée. A 100 mètres prend typiquement 30 minutes ou moins pour injecter.

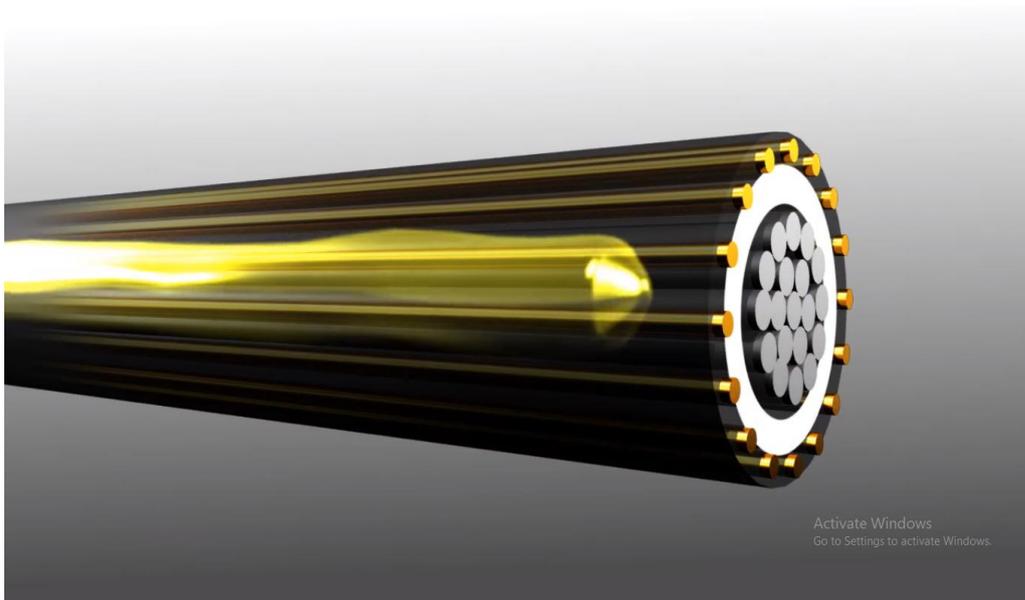


Figure 32 : Injection

Après l'injection, nous enlevons l'équipement, terminons l'installation de l'épissure et installons des coudes standards à chaque extrémité.

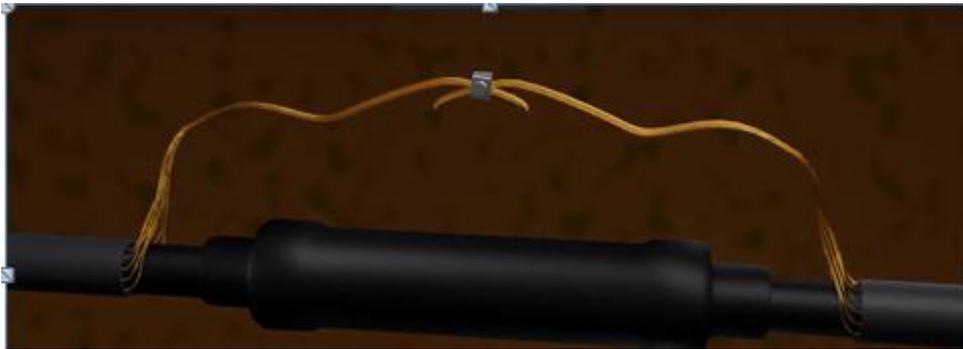


Figure 33 : Fin de l'opération

Ensuite, nous réenergisons le câble, résorbons la fosse et passons au segment suivant.



Conclusion

Comme nous l'avons expliqué auparavant, plusieurs facteurs peuvent impacter un câble, et causer par la suite une panne à l'installation. Les distributeurs, notamment la régie utilisent deux méthodes principales qui sont la tan delta et mesures par des décharges partielles.

Grace au camion, qui fait les calculs et donne des courbes qui permettent de savoir si le câble est en bon état, s'il y a un défaut existant et même la nature de ce défaut.

Nous avons aussi proposé un système qui aidera la régie a avoir une base de donnés pour les câbles qui nécessitent un programme de maintenance (besoin d'être diagnostiqués), par ordre de priorité, grâce à la carte GSM et va envoyer le message à la régie à chaque détection d'un courant de fuite important.

Tout cela va nous permettre d'éviter toute panne au niveau du réseau électrique et les couts résultats à cette panne.

Table de matière

Remerciements.....	1
Dédicaces.....	2
Sommaire.....	3
Introduction générale.....	4
Chapitre1 :l'organisme d'accueil :.....	6
1. Présentation d'accueil.....	8
2. Service et division	8
Chapitre2 : Étude de défauts :.....	14
1. Définition d'un câble :.....	16
2. Étude général de défauts :.....	18
3. Types de défauts :.....	20
4. Causes :.....	21
5. Analyse des statistiques des incidents MT :	21
Chapitre3 : Diagnostic des câbles :.....	25
1. Définition de l'échométre :.....	27
2. Étapes de localisation de défauts :.....	28
3. Facteur de réflexion :.....	30
3.1. Définition du facteur de réflexion :.....	30
3.2. Facteur de réflexion-court-circuit :.....	31
3.3. Facteur de réflexion-extrémité ouverte :	31
3.4. Facteur de réflexion-Dérivation :.....	32



3.5. Facteur de réflexion-extrémité de câble avec impédance caractéristique :.....	32
3.6. Facteur de réflexion-exemple de calcul :.....	33
3.7. Résultats de localisation de défauts avec un échomètre :.....	33
4. Diagnostic des câbles :.....	34
4.1. Détection du défaut à l'aide de la décharge partiel :.....	36
4.1.1. Définition de décharge partielle :.....	36
4.1.2. Types de décharges partielles :.....	36
4.1.3. Comment les détecter :.....	37
4.1.4. Mesure :.....	37
4.2. Détection des défauts à l'aide du tan delta :.....	38
4.2.1. Définition du tant delta :.....	38
4.2.2. Mesure :.....	38
5. Solution proposée :.....	41
5.1. Principe de fonctionnement :.....	41
5.2. Description es composants du système :.....	42
5.3. Le prototype réalisé :.....	43
5.4. Impacte de la solution :.....	43
5.5. Le rajeunissement de pression soutenu :.....	44
5.5.1. Processus de rajeunissement :.....	44
6. Conclusion.....	48
Liste des figures :.....	49
Liste des tableaux :.....	51