

CAHIER DES CHARGES GENERAL - LIAISONS SOUTERRAINES CCG – LS

Décembre 2013

CENTRE NATIONAL D'EXPERTISE RÉSEAUX

*COEUR DEFENSE - TOUR B
100, ESPLANADE DU GENERAL DE GAULLE
92932 PARIS LA DEFENSE CEDEX
TEL : 01.79.24.88.76 FAX : 01.79.24.88.90*

www.rte-france.com



05-09-00-LONG

SOMMAIRE

1. Présentation du CCG - LS	5
1.1 Objet	5
1.2 Description générale d'une liaison souterraine.....	5
1.2.1 Fonctionnalités d'une liaison souterraine.....	5
1.2.2 Composition générale d'une liaison souterraine	6
1.3 Description des constituants électriques	6
1.3.1 Câbles de puissance	6
1.3.2 Jonctions	7
1.3.3 Extrémités	7
1.3.4 Matériels associés	8
2. Exigences réglementaires et normatives.....	10
2.1 Positionnement.....	10
2.2 Arrêté Technique	10
2.2.1 Objet.....	10
2.2.2 Application aux liaisons souterraines HTB	11
2.3 Normes nationales et internationales	12
2.3.1 Normes sur les constituants électriques	12
2.3.2 Normes sur le dimensionnement des constituants électriques.....	13
2.3.3 Normes sur les constituants des ouvrages de génie civil	14
2.4 Protection de l'ouvrage et des tiers.....	15
2.4.1 Protection mécanique de l'ouvrage	15
2.4.2 Protection des tiers	15
2.4.3 Exigences sur les constituants de Génie Civil	15
2.5 Réglementation sur la compatibilité électromagnétique.....	16
2.5.1 Description du phénomène.....	16
2.5.2 Conditions à respecter	16
2.5.3 Qualification des prestataires et des composants électriques	17
3. Exigences Electriques	18
3.1 Tensions d'exploitation du réseau	18
3.1.1 Définitions	18
3.1.2 Tensions d'exploitation	18
3.2 Courants de court - circuit.....	19
3.2.1 Présentation	19
3.2.2 Intensités et durées des courants de court - circuit.....	19
3.2.3 Protections contre les courts-circuits.....	19
3.3 Montée en potentiel des écrans métalliques.....	19
3.3.1 Description du phénomène.....	19

3.3.2	Conséquences sur le dimensionnement	19
3.4	induction et conduction.....	21
3.4.1	Induction électromagnétique.....	21
3.4.2	Conduction dans le sol	23
3.5	Coordination d'isolement	23
3.5.1	Introduction	23
3.5.2	Niveaux d'isolement.....	23
3.5.3	Distances à respecter	23
3.5.4	Tenue des isolateurs d'extrémités extérieures	23
3.5.5	Extrémités pour postes intérieurs modulaires	24
3.5.6	Protections de surcharges.....	25
4.	Exigences thermiques.....	26
4.1	Description du phénomène.....	26
4.2	Méthode générale de dimensionnement	26
4.3	Environnement thermique de l'ouvrage.....	26
4.3.1	Température de sol	26
4.3.2	Résistivité thermique	28
4.3.3	Limitation du dessèchement du sol	28
4.4	Température de fonctionnement des câbles	28
4.5	Régime cyclique de la charge	29
4.5.1	Introduction	29
4.5.2	Facteur de forme.....	29
4.6	Modalités d'exploitation des câbles souterrains.....	30
4.6.1	Présentation.....	30
4.6.2	Dimensionnement avec besoin d'un régime de secours	30
4.6.3	Dimensionnement sans besoin de régime de secours.....	30
4.6.4	Diagrammes usuels de surcharges	31

TABLEAUX

Tableau 1 :	Distances minimales par rapport aux ouvrages tiers enterrés courants	12
Tableau 2 :	Distances minimales à respecter avec une voie ferrée ou une autoroute.....	12
Tableau 3 :	Tensions assignées, tensions maximales.....	18
Tableau 4 :	Ligne de fuite	24
Tableau 5 :	Coefficient de dimensionnement des isolateurs	24
Tableau 6 :	Températures de sol.....	27
Tableau 7 :	Températures maximales admissibles sur l'âme	28
Figure 1 :	référentiel du CCG-LS	10
Figure 2 :	Définition géographique des zones de pose « Froid », « Intermédiaire » et « Chaud »	27
Figure 3 :	Exemple de courbe de charge journalière de type interconnexion	30
Figure 4 :	Exemple de réglage des surcharges, pour un ouvrage (à isolation PR) souterrain à 3 seuils.....	31
Figure 5 :	Exemple de réglage des surcharges, pour un ouvrage souterrain (à isolation PR) à 1 seuil.....	31

1. PRESENTATION DU CCG - LS

1.1 OBJET

Le présent Cahier des Charges Général - Liaisons Souterraines, désigné par la suite CCG - LS, spécifie les critères techniques devant être respectés par tout nouvel ouvrage et à proximité de tout ouvrage de liaison souterraine HTB du Réseau Public de Transport (RPT) d'Electricité.

Ces critères prennent notamment en compte :

- les lois, décrets et arrêtés nationaux,
- les normes internationales ou nationales lorsqu'elles existent,
- les spécifications d'entreprise,
- les contraintes techniques pour satisfaire les besoins d'exploitation,
- les paramètres liés à l'impact climatique ou environnemental.

Ce Cahier des charges général sera complété par un Cahier des Clauses Techniques Particulières spécifique à chaque ouvrage.

Le CCG - LS s'applique aux liaisons souterraines HTB terrestres à courant alternatif. Les ouvrages de liaisons HTB sous-marines ou à courant continu ne sont pas concernés par le présent document.

1.2 DESCRIPTION GENERALE D'UNE LIAISON SOUTERRAINE

Une liaison souterraine HTB est un ouvrage en câbles isolés assurant le transport d'un courant alternatif de tension nominale strictement supérieure à 50 kV. Les niveaux de tension pour le raccordement au RPT sont 63 kV, 90 kV, 150 kV¹, 225 kV et 400 kV en courant alternatif.

1.2.1 Fonctionnalités d'une liaison souterraine

Une liaison souterraine HTB doit assurer le transport de l'énergie électrique entre deux points qui peuvent être :

- des sites clients (consommateurs et producteurs),
- des matériels dans l'enceinte d'un poste,
- des postes aériens, urbains en bâtiment ou sous enveloppe métallique (PSEM),
- des pylônes aérosouterrains.

Un siphon est une liaison souterraine encadrée par deux tronçons de lignes aériennes, c'est-à-dire qu'elle est située entre deux pylônes aérosouterrains.

La durée de vie minimale pour laquelle l'ouvrage est conçu est de 40 ans, tant au niveau du vieillissement électrique des matériels que de leur étanchéité.

¹ Pour le 150 kV, sauf spécifications contraires ou précisions dans le CCTP, les spécifications requises sont celles du niveau 225 kV.

1.2.2 Composition générale d'une liaison souterraine

1.2.2.1 PARTIE ELECTRIQUE DE L'OUVRAGE

Une liaison souterraine est composée d'une partie « électrique » comprenant :

- un multiple de trois câbles de puissance ou de câbles tripolaires permettant le transport de l'énergie pouvant être réduit, dans certains cas particuliers, à un multiple de deux câbles (alimentation de sous-stations RFF),
- des jonctions, si nécessaire, permettant de relier plusieurs longueurs de câble entre elles,
- des extrémités permettant le raccordement des câbles, fixées sur les pylônes, les charpentes de postes ou directement dans les caissons (Poste Sous Enveloppe Métallique) ou compartiments (Poste modulaire),
- des dispositifs associés aux câbles de puissance pour garantir leur bonne exploitation et la sécurité des tiers (Mise A La Terre, protections et automates),
- des câbles de télécommunication, dédiés notamment au pilotage du réseau et à la surveillance et au diagnostic de l'ouvrage.

1.2.2.2 PARTIE GENIE CIVIL DE L'OUVRAGE

La partie électrique est complétée par une prestation de Génie Civil comprenant : le terrassement, la réalisation d'ouvrages destinés à recevoir les câbles, l'installation des câbles et leurs accessoires, le remblaiement et les réfections de surface, en incluant les dispositions nécessaires à la sécurité des tiers.

1.3 DESCRIPTION DES CONSTITUANTS ELECTRIQUES

1.3.1 Câbles de puissance

1.3.1.1 INTRODUCTION

Les câbles utilisés doivent être du type unipolaires² et à champ radial³ ou de type tripolaires dans certains cas particuliers.

Les câbles unipolaires sont constitués de six parties concentriques, de l'intérieur vers l'extérieur : l'âme, l'écran semi-conducteur sur l'âme, l'enveloppe isolante, l'écran semi-conducteur sur l'enveloppe isolante, la nappe de fil et/ou l'écran métallique et la gaine de protection extérieure. Pour des technologies ou utilisations particulières, des couches spécifiques comme le fretage ou une armure peuvent être ajoutées.

1.3.1.2 TECHNOLOGIES

Les ouvrages neufs sont réalisés avec des câbles à isolation synthétique. L'enveloppe isolante doit être constituée d'une ou plusieurs couches extrudées en une seule opération, de polyéthylène réticulé (PR).

L'utilisation d'autres technologies doit être soumise à l'accord préalable de RTE.

Les raccordements sur des portions d'ouvrages réalisés avec d'anciennes technologies (exemple : câbles à isolation papier à huile fluide) sont effectués de préférence avec des câbles à isolation synthétique ou, à défaut, avec des câbles de la technologie d'origine.

² C'est à dire un câble par phase. Par opposition, un câble multipolaire est un ensemble de conducteurs électriquement distincts mais comportant une protection commune

³ Cette dernière disposition a pour but de prémunir la couche isolante des contraintes tangentielles.

1.3.2 Jonctions

1.3.2.1 INTRODUCTION

L'ouvrage est généralement composé de plusieurs longueurs de câbles, appelées tronçons. Ces derniers doivent être reliés entre eux par des jonctions de puissance.

1.3.2.2 CARACTERISTIQUES FONCTIONNELLES DES JONCTIONS

Les jonctions de puissance doivent assurer les mêmes fonctions de continuité électrique, d'isolement et d'étanchéité que les câbles qu'elles relient.

Elles peuvent être de trois types :

- les jonctions sans arrêt d'écran avec ou sans mise à la terre,
- les jonctions à arrêt d'écran avec ou sans mise à la terre,
- les jonctions mixtes ou de transition qui sont destinées à relier deux câbles de nature différente.

1.3.2.3 CONDITIONS D'INSTALLATION

Les jonctions doivent être installées de telle sorte que le confinement des défauts éventuels soit assuré, conformément aux dispositions de l'Arrêté Technique du 17 mai 2001.

Elles doivent être disposées dans des ouvrages de Génie Civil nommés « chambre de jonctions ».

1.3.3 Extrémités

1.3.3.1 INTRODUCTION

Les extrémités doivent raccorder les câbles isolés à des pièces nues dans l'air ou dans un fluide isolant (sur portiques en poste, sur pylône aérosouterrain, directement sur une traversée de transformateur...).

1.3.3.2 CARACTERISTIQUES FONCTIONNELLES

Les extrémités doivent assurer la transition entre l'isolant du câble souterrain et l'isolant constitué :

- d'air au niveau des dispositifs aériens, pour les extrémités extérieures ou intérieures,
- d'huile ou de gaz hexafluorure de soufre SF6 au niveau du système de raccordement au caisson du transformateur ou au poste sous enveloppe métallique.

Le déflecteur de champ installé sur les extrémités du câble doit satisfaire les critères de tenue diélectrique.

Les extrémités peuvent être de trois types selon le type d'appareil sur lequel elles sont raccordées :

- les extrémités extérieures,
- les extrémités intérieures,
- les extrémités sous enveloppe métallique.

1.3.3.3 CONDITIONS D'INSTALLATION

Quel que soit le type d'extrémité considéré et son lieu d'implantation, le Maître d'Ouvrage doit prendre les dispositions nécessaires pour garantir une liaison équipotentielle entre l'embase de l'extrémité et son support. Les caractéristiques du câble de terre doivent être adaptées au site et ce câble doit être connecté au réseau général de mise à la terre du poste ou du pylône aérosouterrain.

Les conditions d'installation des extrémités doivent garantir, de façon pérenne, l'isolement entre le support considéré d'une part, et l'embase métallique des extrémités d'autre part. Ces conditions doivent respecter les spécifications mécaniques et dimensionnelles définies :

- dans le CCG - Postes (Structures et matériels HTB) lorsqu'il s'agit d'une installation sur une charpente de poste ou dans un poste intérieur modulaire,
- dans le CCG - Lignes Aériennes HTB lorsqu'il s'agit d'un pylône aérosouterrain.

Dans le cas des extrémités sous enveloppe métallique, ces conditions sont déterminées par les fournisseurs de câbles isolés et de matériels sous enveloppe métallique.

1.3.4 Matériels associés

1.3.4.1 LIMITEURS DE SURTENSION

Introduction

Afin de garantir le non-dépassement des valeurs limites lors de chocs de foudre, des dispositifs de protection doivent être mis en place dans les installations de mise à la terre par connexions spéciales d'écrans (cf.2.3.2.2). Les dispositifs devant être mis en place sur les ouvrages de liaisons souterraines sont des limiteurs de surtension.

Caractéristiques fonctionnelles des limiteurs de surtension

Les limiteurs de surtension doivent assurer la protection contre les chocs de manœuvre et les chocs de foudre :

- de la gaine extérieure du câble,
- des jonctions à arrêt d'écrans,
- des extrémités,
- des anneaux isolants dans les extrémités en caissons blindés.

Les caractéristiques des limiteurs de surtension doivent être telles que :

- la tension de service en régime permanent de chaque limiteur soit au moins égale à la tension permanente supportée par la gaine en régime pleine charge (cf.3.3.2.2),
- la tension admissible en court-circuit soit calculée en fonction de la plus forte tension 50 Hz qui lui est appliquée lors de défauts (cf.3.3.2.2).
- la capacité de dissiper sans dommage l'énergie dégagée par suite de manœuvres sur le réseau ou de chocs de foudre soit garantie tout en assurant le niveau de protection requis défini dans le CCTP.

Les limiteurs de surtension choisis doivent avoir une tension d'amorçage, en choc à fréquence industrielle et en choc de foudre, inférieure à la tenue de la gaine de protection.

Les transformateurs et les postes sous enveloppe métallique du RPT sont isolés de la terre. Il est donc nécessaire de disposer des limiteurs de surtension raccordés d'une part à la masse du transformateur et d'autre part aux écrans métalliques des câbles afin d'éviter tout contournement.

1.3.4.2 PARAFODRES DE PHASE

Des parafoudres de phases doivent obligatoirement être mis en œuvre à chaque extrémité du câble aux raccordements aérosouterrains. Les conditions d'installations sont précisées dans le CCG - Postes.

1.3.4.3 CABLE DE TERRE

Le câble de terre doit canaliser l'évacuation des courants de défauts. Il peut être isolé ou non selon la configuration de l'ouvrage. Son dimensionnement dépend du courant de défaut à évacuer.

2.

EXIGENCES REGLEMENTAIRES ET NORMATIVES

2.1 POSITIONNEMENT

L'objet de ce paragraphe est de positionner le CCG-LS par rapport au référentiel réglementaire concernant la conception et la réalisation de liaisons souterraines HTB.

Les textes suivants sont opposables dans leur intégralité à toutes les liaisons HTB :

- « l'Arrêté Technique Interministériel fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique » ; il est désigné par la suite par « Arrêté Technique ». Celui-ci fixe les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.
- NF C 18-510 (en remplacement de l'UTE C18-510). La norme définit les prescriptions permettant d'assurer la sécurité des personnes contre les dangers d'origine électrique, lorsqu'elles effectuent des opérations sur ou au voisinage des ouvrages électriques en exploitation ou sur les mêmes ouvrages électriques en construction, lorsqu'ils se trouvent au voisinage d'autres ouvrages électriques en exploitation.

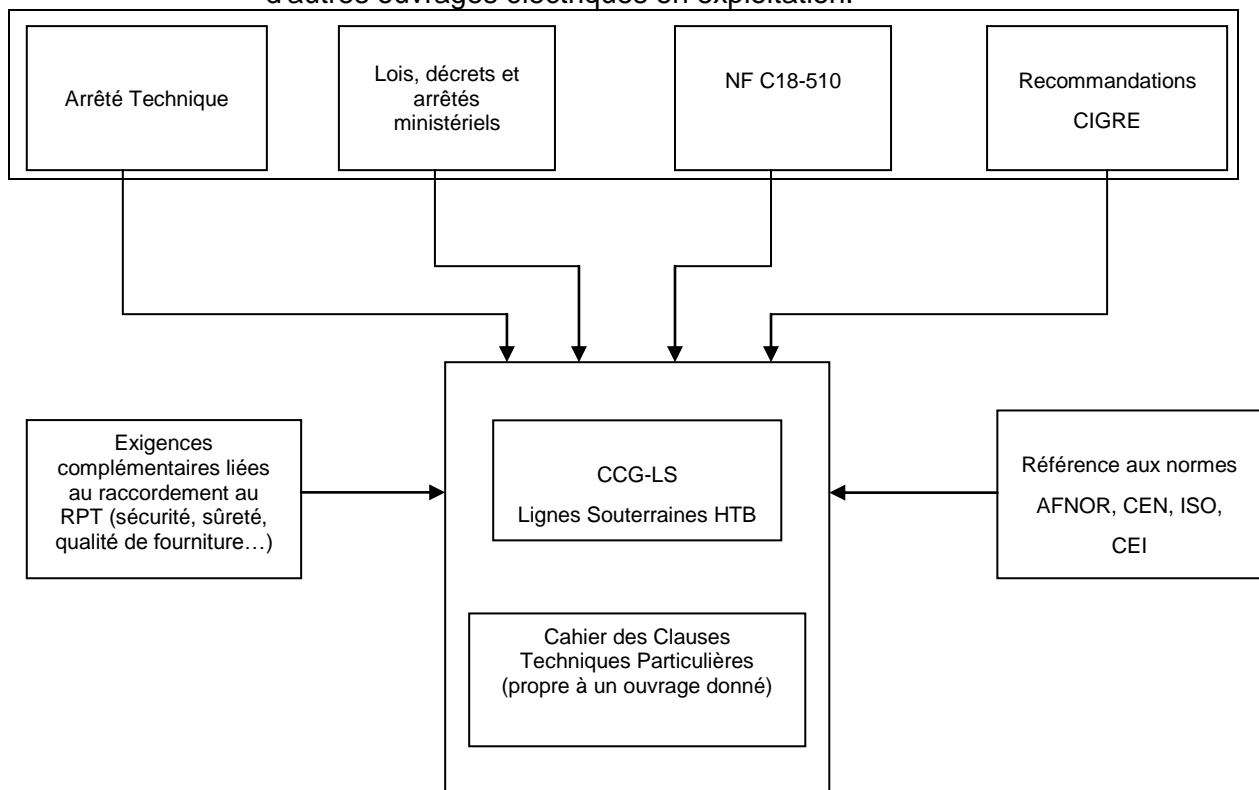


Figure 1 : référentiel du CCG-LS

2.2 ARRETE TECHNIQUE

2.2.1 Objet

La construction de tout nouvel ouvrage électrique doit satisfaire certaines prescriptions techniques minimales précisées dans l'Arrêté Technique.

Ainsi, pour les ouvrages souterrains, ces conditions visent principalement à :

- garantir la sécurité du public et celle des personnes travaillant à proximité de l'ouvrage,
- gérer et optimiser l'emprise de l'ouvrage afin de minimiser la gêne occasionnée par celui-ci sur les installations existantes ou futures.

Ce chapitre rappelle les principales dispositions applicables aux ouvrages souterrains. Dans la pratique, le Maître d'Ouvrage doit se référer à la publication originale afin de s'assurer que l'ouvrage souterrain projeté répond effectivement à toutes les prescriptions techniques ainsi définies.

2.2.2 Application aux liaisons souterraines HTB

2.2.2.1 TRACE

Le tracé de l'ouvrage doit satisfaire les dispositions de l'article « Identification » et de l'article « Limitation de l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques » de l'Arrêté Technique.

2.2.2.2 PRINCIPES GENERAUX DE POSE

Les principes généraux de pose sont notamment spécifiés :

- dans l'article « Respect des règles de l'art » de l'Arrêté Technique pour les dispositions relatives au respect des règles de l'art,
- dans l'article « Canalisations électriques enterrées » de l'Arrêté Technique pour la protection des tiers,
- dans les articles « Canalisations électriques enterrées », « Canalisations électriques souterraines placées dans un ouvrage », « Voisinage de chemins de fer et d'autres voies rigides pour véhicules guidés ou d'autoroutes » de l'Arrêté Technique pour les conditions de voisinage ou de croisement avec d'autres installations. Celles-ci sont reprises dans les Tableau 1 et Tableau 2.

Installations enterrées à proximité de l'ouvrage électrique considéré	Distances minimales	
	Croisement	Voisinage
Autre liaison électrique souterraine enterrée	0,20 m	-
Liaison de télécommunication enterrée dans le sol	0,20 m	0,50 m
Liaison de télécommunication en fourreaux	0,20 m	0,20 m
Canalisation de transport de fluide (eau, hydrocarbure, gaz, air comprimé, vapeur)	0,20 m	0,20 m

Tableau 1 : Distances minimales par rapport aux ouvrages tiers enterrés courants

Installations à proximité de l'ouvrage électrique considéré	Distances minimales	
	Croisement	Voisinage
Voie ferrée	1,20 m	- ⁴
Autoroute	1,20 m	

Tableau 2 : Distances minimales à respecter avec une voie ferrée ou une autoroute

2.2.2.3 PRINCIPES GENERAUX D'EXPLOITATION

Les principes généraux d'exploitation sont notamment spécifiés :

- à l'article « Interdiction d'utiliser la terre comme conducteur actif » de l'Arrêté Technique pour les dispositions d'utilisation de la terre,
- aux articles « Voisinage de lignes de télécommunications, induction électromagnétique, influence électrique et élévation de potentiel du sol » et « Voisinage de canalisations de transport de fluide » de l'Arrêté Technique pour la maîtrise des phénomènes électromagnétiques.

2.3 NORMES NATIONALES ET INTERNATIONALES

2.3.1 Normes sur les constituants électriques

2.3.1.1 GENERALITES

Tous les matériels doivent satisfaire aux spécifications édictées par RTE. En l'absence de celles-ci, les matériels doivent être prioritairement conformes aux normes françaises si elles existent et aux normes internationales en vigueur.

2.3.1.2 COMPOSANTS HAUTE TENSION

Tous les câbles et accessoires de tensions assignées supérieures ou égales à 50 kV et jusqu'à 400 kV doivent être conformes à la Spécification RTE en vigueur relative aux Câbles et matériels de raccordement pour les liaisons souterraines du 63 au 400 kV en vigueur.

2.3.1.3 COMPOSANTS DE TELECOMMUNICATION

Les liaisons de télécommunication posées le long des liaisons souterraines HTB sont destinées à l'exploitation et à la surveillance de l'ouvrage et assurent le fonctionnement des protections et/ou le pilotage du RPT.

Toutes les liaisons électriques souterraines HTB neuves sont systématiquement accompagnées d'au moins un câble à fibres optiques. Pour construire une infrastructure de

⁴ Il est nécessaire de se rapprocher du concessionnaire concerné pour obtenir l'information.

fibres optiques accueillant les applications du réseau de sécurité et répondant aux enjeux de Sûreté du Système Electrique, RTE applique les dispositions suivantes :

- 2 câbles à fibres optiques pour le développement réseau 400 kV et « 225 kV proche »⁵,
- au moins 1 câble à fibres optiques pour le développement réseau 225 kV et 63 / 90 kV.

Les câbles de télécommunication posés le long de liaisons du RPT doivent être conformes aux spécifications suivantes :

Câbles à quartes

Ces câbles sont constitués de fils de cuivre isolés organisés en quartes. Les fils et les quartes doivent être repérés à l'aide de couleurs. Ces câbles ne sont désormais plus installés sur les ouvrages neufs.

Câbles à fibres optiques

Ces câbles comportent un nombre variable de fibres optiques, au minimum 48 pour les liaisons neuves. Chacune des fibres doit être repérée par une couleur. Leurs caractéristiques optiques ne doivent pas être modifiées sous les diverses contraintes qu'elles subissent (contraintes mécaniques, thermiques...). Les jonctions ou épissures doivent assurer la continuité de la transmission du signal optique.

Ces câbles doivent être équipés d'une protection anti-rongeur et ne doivent comporter aucune partie métallique (pour supprimer la contrainte d'induction), sauf lorsqu'ils sont situés dans un poste RTE. Les spécifications de référence sont les spécifications RTE :

NT-ING-CNER-DL-ML-12-00348 : Spécification technique des Câbles Optiques Souterrains le long des liaisons souterraines HTB (COS-D) et dans les liaisons BR-BI des postes de RTE (COS-M)

2.3.1.4 ACCESSOIRES

A ce jour, aucune norme nationale ou internationale n'existe pour les matériels annexes des liaisons souterraines de puissance, tels que limiteurs de surtension de gaines, les coffrets de permutation et de mise à la terre.

2.3.2 Normes sur le dimensionnement des constituants électriques

2.3.2.1 DIMENSIONNEMENT THERMIQUE

Tout calcul effectué dans le cadre du dimensionnement thermique d'une liaison du RPT doit être conforme aux publications CEI suivantes :

CEI 60287 *Câbles électriques - Calcul du courant admissible dans les câbles en régime permanent*

CEI 60853 *Calcul des capacités de transport des câbles pour les régimes de charge cycliques et de surcharge de secours*

2.3.2.2 MISES A LA TERRE DES ECRANS METALLIQUES

Les écrans métalliques des câbles de puissance doivent être reliés à la terre au moins en un point de l'ouvrage. Cette mise à la terre est désignée par la suite par MALT. Différentes configurations de MALT sont possibles en respectant les critères de tension induite limite imposés par le RPT français. Les différentes méthodes figurent dans les trois publications CIGRE suivantes :

ELECTRA n°28 *Etude des réseaux de câbles à connexion spéciale des gaines*

⁵ Ligne engageant la sûreté du Système électrique, à la stabilité des groupes de production.

2.3.2.3 COORDINATION D'ISOLEMENT

Les tensions de tenue adoptées sur les réseaux et les caractéristiques des isolateurs doivent être conformes aux normes suivantes :

NF EN 60071 *Coordination de l'isolement*

CEI 60815 *Guide pour le choix des isolateurs sous pollution*

2.3.3 Normes sur les constituants des ouvrages de génie civil

2.3.3.1 GENERALITES

Tous les matériaux entrant dans la composition d'un ouvrage du RPT doivent être conformes aux normes françaises en vigueur, lorsqu'elles existent.

2.3.3.2 LIANTS HYDRAULIQUES ET ACIERS

Liants hydrauliques

La désignation et la classe du ciment sont choisies en fonction des conditions d'utilisation et de l'agressivité du milieu d'implantation de l'ouvrage selon les normes NF EN 197-1.

Bétons

Les matériaux entrant dans la composition des bétons doivent satisfaire les normes suivantes :

Granulats NF EN 12620, P 18-302 ou NF P 18-306

Adjuvants NF EN 934-2 et NF EN 934-6

Béton NF EN 206-1

Toutes les dispositions utiles doivent être prises pour conférer au béton la résistance mécanique et thermique prévues afin de garantir le confinement des défauts éventuels et l'évacuation des calories produites par le courant transporté.

Le dimensionnement des structures en béton armé doit respecter les spécifications des Règles⁶ françaises en vigueur.

Aciers

Les aciers pour béton armé sont des armatures Haute Adhérence conformes aux normes suivantes : NF A 35-015, NF A 35-016-01, NF A 35-016-02, NF A 35-019-1 et NF A 35-019-2.

⁶ Décret relatif à l'application du fascicule n°62, titre 1er, section 1 (B.A.E.L.) du CCTG applicable aux marchés de travaux publics.

2.3.3.3 AUTRES MATERIAUX

Tous les autres matériaux entrant dans la composition d'une liaison souterraine devront être identifiés par référence aux normes qui les concernent.

2.4 PROTECTION DE L'OUVRAGE ET DES TIERS

2.4.1 Protection mécanique de l'ouvrage

L'Arrêté Technique en vigueur impose la protection mécanique des liaisons souterraines contre les avaries d'origine externe (tassement des terres, contact des corps durs, choc des outils métalliques à main).

En conséquence, la profondeur de pose et l'enrobage des câbles doivent être étudiés pour minimiser les risques d'avaries dus à une agression mécanique externe, en rendant les parties sensibles des liaisons souterraines inaccessibles à un tiers qui n'engagerait pas une démarche volontaire d'accès à l'ouvrage.

Par ailleurs, un « dispositif avertisseur » doit être mis en place, pour satisfaire les spécifications de l'Arrêté Technique en vigueur. Ce dispositif constitue un système visuel alertant les tiers des risques encourus, et protégeant ainsi l'ouvrage électrique souterrain. Lorsque l'ouvrage est implanté en terre agricole, ce dispositif doit être situé à une profondeur minimale de 0,80 m par rapport au terrain naturel.

2.4.2 Protection des tiers

En complément de la protection mécanique, toutes les dispositions constructives utiles doivent être prises pour réduire au maximum les risques encourus par les tiers vis-à-vis des courants électriques parcourant l'âme du câble en régime permanent ou l'écran en régime de défaut.

Ainsi, la profondeur de pose et l'enrobage des câbles de l'ouvrage doivent être étudiés pour :

- protéger les tiers de tout risque d'électrisation ou d'électrocution que ce soit en cas d'intervention inopportune dans le voisinage immédiat de l'ouvrage, ou lors d'un court-circuit sur cet ouvrage.
- limiter les manifestations extérieures à proximité de l'ouvrage en défaut.

2.4.3 Exigences sur les constituants de Génie Civil

2.4.3.1 INTRODUCTION

Il existe deux types de constituants de Génie Civil :

- les modes de pose qui correspondent aux ouvrages linéaires contenant les câbles de puissance et de télécommunication,
- les ouvrages ponctuels qui sont destinés à l'installation des accessoires de ces câbles ou qui permettent la transition entre deux parties de l'ouvrage.

Les constituants de Génie Civil doivent :

- protéger l'ouvrage contre les agressions externes et assurer le confinement des défauts éventuels, conformément aux dispositions de l'Arrêté Technique,

- garantir l'accessibilité⁷ à certaines parties de l'ouvrage pour la maintenance ou la réparation.

2.4.3.2 MODES DE POSE

Les modes de pose couramment utilisés sur le RPT sont :

- la pose des câbles en ouvrages fourreaux PVC enrobés de béton, en ouvrages fourreaux PEHD enrobés ou non de béton, en tranchée ouverte, en caniveaux,
- la pose en galerie, tunnel ou à l'intérieur d'ouvrage d'art (pont, viaduc...), en sous-œuvre...

D'autres modes de pose peuvent être utilisés sur le RPT s'ils sont validés par RTE.

En cas de franchissement ou d'utilisation d'ouvrages d'autres concessionnaires, les dispositions constructives retenues doivent être validées par ceux-ci.

2.4.3.3 OUVRAGES PONCTUELS

Les ouvrages ponctuels sont :

- les ouvrages de jonctions de puissance,
- les ouvrages de remontées sur pylône ou sur charpente,
- les puits de permutation et les puits de terre,
- les puits de remontées lors de passages des câbles à grande profondeur,
- les ouvrages particuliers comme les ouvrages de ventilation de galerie ou les ouvrages permettant le maintien des câbles lorsque ceux-ci sont installés en zone de fortes pentes,
- les ouvrages de jonctions télécommunication.

Les puits de permutation et les puits de terre doivent être visitables pour les besoins de l'exploitation. Ils doivent, par conséquent, être équipés de tampon et placés de manière à minimiser les gênes sur le milieu environnant.

2.5 REGLEMENTATION SUR LA COMPATIBILITE ELECTROMAGNETIQUE

2.5.1 Description du phénomène

Tous les câbles isolés HTB sont équipés d'un écran métallique étanche qui confine le champ **électrique** à 50 Hz. Le champ électrique à proximité d'une liaison souterraine est donc nul.

Le champ **magnétique** à 50 Hz, non confiné par l'écran métallique, doit être pris en considération, aussi bien vis-à-vis de l'exposition des personnes que de certains matériels.

2.5.2 Conditions à respecter

2.5.2.1 EXPOSITION DES PERSONNES

La norme générique européenne NF EN 50082-1 intitulée « Compatibilité électromagnétique – norme générique – Partie 1 : résidentiel, commercial et industrie légère » fournit des seuils de perturbations indicatifs.

Le Conseil de l'Union Européenne a adopté en juillet 1999 la « recommandation relative à la limitation de l'exposition du public aux champs électromagnétiques (de 0 Hz à 300 Ghz) » (1999/519/CE). Celle-ci reprend avec quelques aménagements les recommandations de

⁷ La notion d' « accessibilité » peut être partielle ; elle peut correspondre à un optimum technico-économique des opérations nécessaires à l'accès à l'ouvrage.

l'International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) et celles de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

L'article « Limitation de l'exposition des tiers aux champs électromagnétiques » de l'Arrêté Technique impose que le champ magnétique généré par l'ouvrage n'excède pas 100 μT dans les conditions de fonctionnement en régime permanent dans les lieux accessibles aux tiers. La hauteur de référence pour le calcul de la mesure est prise à 1 m au-dessus de la surface du sol, hauteur qui correspond à une exposition moyenne du corps humain.

2.5.2.2 PERTURBATIONS SUR LES MATERIELS

Lorsque l'ouvrage de liaisons souterraines est implanté à proximité de locaux susceptibles d'être équipés de matériels sensibles à l'induction magnétique à 50 Hz, des dispositions spécifiques doivent être prises pour limiter l'effet des champs.

La norme générique européenne NF EN 50082-1 intitulée « Compatibilité électromagnétique - norme générique - Partie 1 : résidentiel, commercial et industrie légère », stipule dans l'annexe informative A8 :

- qu'un appareil soumis à une perturbation magnétique de 1 A/m (soit 1,26 μT) doit continuer à fonctionner sans aucune dégradation du fonctionnement ou perte de fonction,
- que le seuil de perturbation admis pour les afficheurs à tube cathodique est de 3 A/m (soit 3,78 μT).

2.5.3 Qualification des prestataires et des composants électriques

Les matériels installés sur les ouvrages du RPT doivent être agréés par RTE, conformément aux spécifications précisées dans le présent document.

Les prestataires de RTE doivent être qualifiés / agréés par RTE lorsqu'ils réalisent les activités suivantes :

- la réalisation des ouvrages de génie civil au contact immédiat des matériels électriques,
- le déroulage des câbles,
- le montage des accessoires de puissance.

⁸ Une annexe informative constitue une recommandation qui n'a pas un caractère obligatoire.

3. EXIGENCES ELECTRIQUES

3.1 TENSIONS D'EXPLOITATION DU RESEAU

3.1.1 Définitions

Notations suivantes relatives à la tension d'exploitation du réseau :

- U_0 : valeur efficace de la tension assignée, à fréquence industrielle, entre une âme conductrice et la terre ou l'écran métallique,
- U : valeur efficace de la tension assignée, à fréquence industrielle, entre deux âmes conductrices,
- U_m : valeur efficace de la tension maximale assignée, à fréquence industrielle, entre deux âmes conductrices pour laquelle le câble et ses accessoires ont été conçus,
- U_{min} : valeur efficace de la tension minimale assignée, à fréquence industrielle, entre deux âmes conductrices.

3.1.2 Tensions d'exploitation

3.1.2.1 VALEURS

Le Tableau 3 donne les valeurs à prendre en compte pour U et U_0 , et précise par ailleurs les valeurs maximales U_m retenues.

U_0 (kV)	U (kV)	U_m (kV)	U_{min} (kV)
36	63	72,5	63
52	90	100	90
130	225	245	220
230	400	420	390

Tableau 3 : Tensions assignées,
tensions maximales

3.1.2.2 CONSEQUENCES SUR LE DIMENSIONNEMENT DES CABLES

Pour un câble souterrain, la tension d'exploitation du réseau intervient :

- pour le dimensionnement de l'épaisseur de son enveloppe isolante,
- pour la détermination de la section de l'âme nécessaire au transport d'une puissance donnée.

1. Conséquences sur l'épaisseur de l'enveloppe isolante

L'épaisseur de l'enveloppe isolante requise pour un câble est déterminée à partir de la tension assignée entre l'âme du câble et la terre (U_0) et de la valeur maximale admise pour le gradient de potentiel dans le câble.

Dans un réseau triphasé équilibré : $U_0 = \frac{U}{\sqrt{3}}$

2. Conséquences sur la section de l'âme

Le dimensionnement doit être réalisé pour la tension minimale du réseau. En effet, pour une puissance donnée, la valeur maximale de l'intensité transitée est obtenue pour la tension minimale.

3.2 COURANTS DE COURT - CIRCUIT

3.2.1 Présentation

Les perturbations atmosphériques susceptibles d'affecter les réseaux électriques aérosouterrains, ainsi que les avaries des matériels, conduisent à des courants de court-circuit monophasés ou triphasés dont les intensités et les durées d'élimination du défaut sont à prendre en compte lors de leur dimensionnement.

3.2.2 Intensités et durées des courants de court - circuit

Les intensités et temps d'élimination des courants de court-circuit nécessaires à la qualification des câbles et accessoires sont définis dans les spécifications RTE en vigueur.

Le plan de protection LS garantit des temps d'élimination de défaut de :

- 270 ms en HTB 1,
- 250 ms en HTB2 et HTB3.

La Documentation Technique de Référence (DTR, disponible sur le site internet de RTE) détaille ces temps d'élimination de défaut.

3.2.3 Protections contre les courts-circuits

L'ouvrage doit être équipé de protections contre les défauts d'isolement adéquates garantissant son exploitation conforme aux contraintes du réseau dans lequel il s'insère.

3.3 MONTEE EN POTENTIEL DES ECRANS METALLIQUES

3.3.1 Description du phénomène

Lorsque l'âme conductrice d'un câble est parcourue par un courant alternatif, une tension proportionnelle au courant inducteur et à la longueur du circuit et dépendant de la distance entre phases (mode de pose) apparaît sur la nappe de fil et/ou l'écran métallique.

Cette tension induite doit être prise en compte lors du dimensionnement de l'ouvrage et l'écran doit être relié à la terre en au moins un point.

3.3.2 Conséquences sur le dimensionnement

3.3.2.1 PRESENTATION GENERALE DES MISES A LA TERRE

Pour satisfaire les exigences de l'Arrêté Technique, le Maître d'Ouvrage doit retenir l'une des deux dispositions suivantes :

- l'annulation de cette tension par mise à la terre de l'écran aux deux extrémités et, éventuellement, en d'autres points de la liaison, respectivement désignée par « mise à la terre continue » ou « mise à la terre en plusieurs points ».

Cette solution, techniquement satisfaisante vis-à-vis de la protection de l'ouvrage et des tiers, n'est pas économiquement optimale vis-à-vis de l'exploitation, car la

circulation d'un courant dans l'écran métallique induit des pertes Joule et diminue donc la capacité de transport du câble.

- la limitation de cette tension, aussi bien en régime permanent qu'en régime de défaut, par des techniques de connexions spéciales des écrans métalliques. Il s'agit de la « mise à la terre en un point » et de la « permutation ternaire des écrans ».

Cette disposition entraînant une élévation du potentiel le long des écrans, le Maître d'Ouvrage devra prendre les dispositions requises à la protection des personnes et des matériels.

3.3.2.2 VALEURS MAXIMALES DES TENSIONS D'ECRAN

Les valeurs maximales des tensions pouvant être atteintes par l'écran d'un câble souterrain sont issues des règles de l'art et des normes en vigueur sur les câbles à isolation synthétique du réseau électrique. Elles sont fixées en fonction des différents régimes :

- a) En régime permanent

La valeur maximale de la tension induite en régime permanent sur l'écran est fixée à 400 V.

- b) En régime de défaut

La valeur maximale de la tension alternative autorisée sur l'écran en régime de court-circuit est fixée à 20 kV efficace, valeur qui permet d'assurer la pérennité de la tenue diélectrique de l'enveloppe de protection extérieure des câbles. Cette valeur peut être plus élevée pour les arrêts d'écran.

- c) En cas de manœuvres ou suite à un choc de foudre

Des surtensions de manœuvre ou de chocs de foudre apparaissent en régime transitoire sur les écrans des câbles. La tenue de la gaine aux ondes de choc est fixée à 50 kV crête.

3.3.2.3 MISE A LA TERRE CONTINUE

Les écrans métalliques sont reliés à la terre à chaque extrémité. En cas de déconnexion des câbles de mise à la terre au niveau d'une extrémité, la tension induite au niveau des écrans ne doit pas dépasser 400 V en régime permanent, ce qui peut nécessiter des mises à la terre intermédiaires.

La mise à la terre des écrans en plusieurs points engendre un courant induit dans les écrans des câbles. Ce courant est fonction de l'intensité transportée dans l'âme du câble et conduit à un échauffement de l'écran par effet Joule diminuant ainsi la capacité de transport du câble. Le Maître d'Ouvrage doit prendre ce phénomène en compte lors du dimensionnement de l'ouvrage.

3.3.2.4 MISE A LA TERRE EN 1 POINT

Les écrans métalliques sont reliés à la terre en un unique point : à une extrémité ou en un point de mise à la terre intermédiaire. Aucun courant induit ne peut alors circuler dans les écrans.

Un conducteur de terre servant à transporter le courant de court-circuit en cas de défaut doit être déroulé sur tout le tracé de l'ouvrage.

Les tensions induites dans les écrans doivent être limitées au niveau des extrémités et ne pas dépasser 400 V en régime permanent.

En cas de court-circuit, la tension induite doit rester inférieure aux limites de tenue des matériels spécifiées dans les normes correspondantes, en tenant compte notamment de l'asymétrie du courant de court-circuit.

3.3.2.5 PERMUTATION TERNAIRE

La permutation ternaire consiste en une mise à la terre des écrans aux deux extrémités avec annulation du courant induit dans les écrans par permutation des écrans.

Le Maître d'Ouvrage doit s'assurer :

- soit de l'obtention d'une permutation parfaitement équilibrée pour laquelle aucun courant induit ne circule dans les écrans,
- soit que les effets du déséquilibre dû à l'implantation des points de permutation sur le terrain, sont pris en compte lors du dimensionnement de l'ouvrage.

La tension induite en régime permanent au niveau des extrémités ne doit pas dépasser 400 V en cas de déconnexion des mises à la terre.

En cas de court-circuit, les tensions induites dans les écrans au niveau des jonctions d'arrêt d'écran doivent être inférieures aux limites spécifiées dans les spécifications du système de câbles correspondantes, en tenant compte notamment de l'asymétrie du courant de court-circuit.

3.3.2.6 CAS PARTICULIERS

1. Modes de MALT combinés

Les différents modes de mise à la terre peuvent être combinés, en respectant les limites indiquées ci-dessus.

2. Siphons

Les mêmes modes de mise à la terre peuvent être mis en place pour les siphons⁹, en respectant les règles de sécurité et de tenue des matériels ci-dessus.

Les pylônes de transitions aérosouterraines sont généralement équipés d'une prise de terre avec une résistance nettement supérieure à celle du réseau de terre d'un poste. Cette résistance conduit à une élévation de potentiel supplémentaire des écrans en cas de court-circuit de la partie souterraine.

Le Maître d'Ouvrage doit impérativement intégrer ce phénomène lors des études d'un ouvrage en siphon, notamment en renforçant les prises de terre des pylônes encadrant le siphon.

3.4 INDUCTION ET CONDUCTION

3.4.1 Induction électromagnétique

3.4.1.1 DESCRIPTION DU PHENOMENE

Les ouvrages constitués partiellement de parties métalliques (circuits de télécommunication, canalisations de fluide...) et longeant les liaisons souterraines peuvent être soumis à des tensions induites, potentiellement préjudiciables à la sécurité des personnes et à la pérennité de ces ouvrages. En conséquence et afin de respecter les spécifications de l'Arrêté Technique, ces tensions induites doivent être limitées.

⁹ On appelle SIPHON un tronçon de ligne souterraine inséré dans une ligne aérienne.

3.4.1.2 CONSEQUENCES SUR LE DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES DE TELECOMMUNICATION

1. Principes

Les circuits de télécommunication, circuits industriels de télécommande ou télésignalisation, ou autres circuits équivalents, situés à proximité d'une liaison souterraine sont les sièges de forces électromotrices induites qui peuvent devenir importantes lorsqu'il se produit un défaut monophasé à la terre sur la liaison de transport d'énergie.

En conséquence, le Maître d'Ouvrage doit calculer la valeur de tension induite dans les circuits de télécommunication existants et prendre les dispositions nécessaires au respect de la réglementation en vigueur. Par ailleurs, il doit requérir l'avis de l'autorité responsable de ces circuits.

2. Méthode de calcul

Le Maître d'Ouvrage doit effectuer les calculs en respectant les Directives de l'Union Internationale des Télécommunications (ex C.C.I.T.T) et, si elles existent, les spécifications émanant des différents réseaux.

La valeur maximale de la tension longitudinale induite dans les câbles de télécommunication est égale à :

- 650 V, lorsque le circuit inducteur est une liaison d'énergie souterraine dite « à grande sécurité de service », ce qui est le cas des liaisons souterraines de tension égale ou supérieure à 63 kV,
- 60 % de la tension de claquage de l'enveloppe du câble de télécommunication.

3. Dispositifs de protections

Lorsque dans une configuration donnée de l'ouvrage, les valeurs maximales admissibles pour la tension induite sont dépassées, le Maître d'Ouvrage doit soit corriger le tracé de l'ouvrage, soit mettre en place des protections spécifiques comme :

- l'installation de coffrets assurant la mise à la terre rapide des circuits de télécommunication au moment d'un défaut,
- l'installation d'autres dispositifs de protection.

Ces dispositions doivent être soumises à l'agrément de l'autorité responsable des circuits de télécommunication.

4. Cas particuliers des voies ferrées

Lorsque l'ouvrage à construire se trouve à proximité des circuits de transmission de signaux ferroviaires, le Maître d'Ouvrage doit respecter les procédures particulières requises par l'organisme qui gère ces réseaux de transmission.

3.4.1.3 CONSEQUENCES SUR LE DIMENSIONNEMENT DES CONDUITES DE FLUIDE

Une canalisation de transport de fluide située à proximité d'une liaison souterraine est le siège d'une force électromotrice induite qui peut devenir importante lorsqu'il se produit un défaut monophasé à la terre sur la liaison souterraine. Celle-ci peut conduire au claquage du revêtement protecteur de la canalisation et au franchissement électrique des joints isolants.

Le Maître d’Ouvrage doit calculer la valeur de tension induite dans ces conduites par les effets combinés de l’induction électromagnétique et de la conduction dans le sol et prendre les dispositions nécessaires au respect de la réglementation en vigueur.

3.4.2 Conduction dans le sol

3.4.2.1 DESCRIPTION DU PHENOMENE

Lorsque l’écran métallique d’un câble est relié à la terre en au moins un point, un courant important peut circuler dans la prise de terre en cas de défaut.

3.4.2.2 CONSEQUENCES SUR LE DIMENSIONNEMENT

Lorsque le point de mise à la terre est situé en dehors des postes d’extrémités¹⁰, le Maître d’Ouvrage doit réaliser un examen précis de la montée en potentiel du sol autour de la prise de terre.

Pour cela, une étude de conduction doit être combinée avec l’étude d’induction démontrant que les contraintes occasionnées sur les ouvrages à proximité ne dépassent pas les limites indiquées précédemment.

3.5 COORDINATION D'ISOLEMENT

3.5.1 Introduction

Les notions relatives à la coordination de l’isolement interviennent dans la détermination des contraintes d’installation des extrémités de type extérieur, des puits de terre ou des permutations et dans le dimensionnement des composants de l’ouvrage.

3.5.2 Niveaux d’isolement

Les tensions de tenue adoptées sur les réseaux doivent respecter les spécifications des normes NF EN 60071- 1 et 2. Les câbles et accessoires doivent être validés par des essais de tenue diélectrique selon les spécifications RTE.

3.5.3 Distances à respecter

La coordination de l’isolement fixe, pour chaque niveau de tension, l’ensemble des distances électriques pour l’installation de l’appareillage et des connexions de raccordement.

Selon les sites d’installation des extrémités de l’ouvrage, les spécifications à respecter sont celles :

- du CCG – Postes (Structures et matériels HTB) pour l’installation en poste,
- du CCG – Lignes Aériennes HTB pour l’installation en pylône aérosouterrain.

3.5.4 Tenue des isolateurs d’extrémités extérieures

3.5.4.1 DEFINITION

Une « extrémité extérieure » est une extrémité installée à l’air libre et soumise aux contraintes climatiques.

Le profil d’un isolateur est caractérisé par les paramètres suivants :

- distance minimale entre deux ailettes,

¹⁰ Dans les postes, les mises à la terre n’induisent, en principe, pas de problème du fait de l’existence du réseau de terre du poste.

- rapport entre le pas et la profondeur de l'ailette,
- rapport entre ligne de fuite et distance dans l'air,
- ailettes alternées,
- inclinaison des ailettes,
- paramètres caractérisant l'isolateur dans son ensemble : facteur de ligne de fuite, facteur de profil.

3.5.4.2 DEFINITION DES NIVEAUX DE POLLUTION

La pluie et la pollution ont une grande influence sur les tensions de tenue des isolateurs. Des dépôts de sel ou de poussière peuvent s'accumuler à la surface. Par temps de pluie, de brouillard ou lorsqu'il se produit une condensation, ces dépôts humidifiés forment une couche plus ou moins conductrice qui favorise le développement d'un arc superficiel pouvant conduire au contournement de l'isolateur.

Conformément à la normalisation nationale et internationale, quatre niveaux de pollution sont définis qualitativement, depuis une pollution faible (I) jusqu'à une très forte pollution (IV).

3.5.4.3 LIGNE DE FUITE

Pour chaque classe de pollution, une ligne de fuite minimale L est définie dans le Tableau 4. Cette ligne de fuite est impérative quel que soit le matériau utilisé pour l'isolateur (porcelaine, composite ou autre).

Tension nominale U du réseau		63 kV	90 kV	225 kV	400 kV	
Tension maximale U _m du réseau		72,5 kV	100 kV	245 kV	420 kV	
Classe de pollution	Salinité équivalente S (*) (kg.m ⁻³)	L (mm.kV ⁻¹)	Ligne de fuite minimale L × U _m (mm)			
I	S < 7	16	1 160	1 600	3 920	6 720
II	7 ≤ S < 20	20	1 450	2 000	4 900	8 400
III	20 ≤ S < 80	25	1 810	2 500	6 130	10 500
IV	S ≥ 80	31	2 250	3 100	7 600	13 020

(*) Cette salinité est donnée seulement à titre indicatif

Tableau 4 : Ligne de fuite

Pour le dimensionnement des isolateurs, les valeurs des lignes de fuite minimales données dans le Tableau 5 doivent être multipliées par un coefficient k qui dépend du diamètre moyen (D_m) de l'isolateur.

D _m (mm)	< 300	entre 300 et 500	> 500
k	1	1,1	1,2

Tableau 5 : Coefficient de dimensionnement des isolateurs

3.5.5 Extrémités pour postes intérieurs modulaires

Les caractéristiques minimales des extrémités synthétiques de type intérieur de 63 kV et 90 kV doivent être :

- de 1 600 mm pour la ligne de fuite,

- de 325 kV pour la tension de tenue aux chocs de foudre.

3.5.6 Protections de surcharges

L'ouvrage doit être équipé de protections de surcharges adéquates garantissant son exploitation conforme aux contraintes du réseau dans lequel il s'insère.

4.

EXIGENCES THERMIQUES

4.1 DESCRIPTION DU PHENOMENE

La circulation de courant dans un câble entraîne l'échauffement de celui-ci :

- dans l'âme conductrice, par effet Joule,
- dans l'enveloppe isolante par pertes diélectriques,
- dans l'écran métallique par effet Joule et effet magnétique.

La chaleur ainsi produite traverse les différentes couches du câble, puis est évacuée dans le milieu extérieur :

- par conduction si le câble est enterré,
- par convection et rayonnement si le câble est posé en fourreaux, en galerie, en ouvrage confiné ou à l'air libre.

Le dépassement d'une certaine température au niveau du sol enrobant la liaison peut conduire à un dessèchement de celui-ci et donc à une augmentation de sa résistivité thermique. En fonction du type de sol et de la nature de la surface, ce phénomène peut être plus ou moins irréversible et conduire à un emballement thermique du câble.

4.2 METHODE GENERALE DE DIMENSIONNEMENT

Le Maître d'Ouvrage détermine l'intensité maximale admissible dans les câbles en prenant en compte, pour toutes les configurations le long du tracé de l'ouvrage :

- l'environnement thermique (caractéristiques thermiques du sol, autres ouvrages à proximité, mode et profondeur de pose...).
- l'inertie thermique du sol confère des capacités de surcharge qui contribuent notamment à l'optimisation du dimensionnement dans le cas de charges cycliques.

Le Maître d'Ouvrage effectue son dimensionnement en se référant aux publications spécifiées en respectant les exigences précédemment citées.

Le Maître d'Ouvrage doit spécifier les valeurs des paramètres retenus et leur justification.

4.3 ENVIRONNEMENT THERMIQUE DE L'OUVRAGE

Deux saisons sont définies pour le dimensionnement des ouvrages en fonction des conditions d'exploitation : la période HIVER et la période ETE.

4.3.1 Température de sol

La température du sol correspond à la température à la limite entre le sol et l'air, en dehors de toute source de chaleur à l'intérieur du sol.

Les caractéristiques de température au sol et de résistivité thermique du sol ont des valeurs par défaut égales à des valeurs standards.

La France peut être divisée en 3 zones selon les hypothèses du Tableau 6.

Zone climatique	Été	Hiver
Froid	20° C	13° C
Intermédiaire	22° C	15° C
Chaud	25° C	17° C

Tableau 6 : Températures de sol

Une marge de température de + 5°C doit être ajoutée aux valeurs indiquées ci-dessus pour intégrer les éventuels échauffements supplémentaires du sol liés à la proximité de la liaison souterraine du sol avec d'autres sources thermiques :

- lorsqu'il existe des incertitudes sur l'identification exhaustive des sources thermiques existantes,
- pour se prémunir d'installations futures non connues lors du dimensionnement (chauffage urbain, autres liaisons électriques, etc.).

La carte de la Figure 2 situe les régions dans lesquelles les hypothèses des zones « Froid », « Intermédiaire » et « Chaud » s'appliquent.

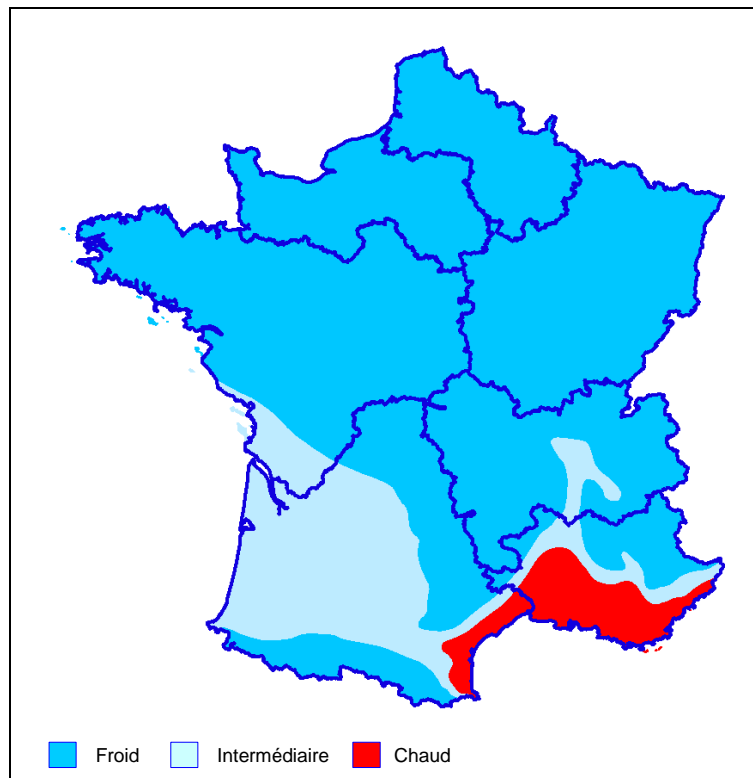


Figure 2 : Définition géographique des zones de pose « Froid », « Intermédiaire » et « Chaud »

Remarque : pose en galerie ventilée

Lors de la pose de câbles en galerie ventilée, le Maître d'Ouvrage doit effectuer une étude spécifique qui intègre notamment les conditions retenues pour l'évacuation de la chaleur dissipée par les installations techniques.

A titre informatif, les températures moyennes à prendre en compte par défaut pour une pose à l'air libre en galerie technique sont de 20°C en hiver et de 30°C en été.

4.3.2 Résistivité thermique

La résistivité thermique d'un sol mesure la propriété du sol à s'opposer à la diffusion de la chaleur depuis une source chaude (câbles) vers une source froide (sol loin de toute influence).

Les valeurs de résistivité thermique des sols naturels¹¹ seront prises par défaut égales à :

- 1,20 K.m/W en été,
- 0,85 K.m/W en hiver.

Ces valeurs correspondent aux valeurs extrêmes mesurées en été et en hiver pour des sols naturels physiquement aptes à être utilisés pour combler la tranchée et dont l'humidité pondérale résiduelle est égale à environ 2 % en été et 6 % en hiver.

La résistivité thermique du sol desséché sera prise par défaut égale à 2,5 K.m.W⁻¹.

4.3.3 Limitation du dessèchement du sol

Afin d'éviter le dessèchement du sol, préjudiciable à l'ouvrage, la température maximale du sol, en régime permanent, doit être inférieure à 55°C en été et 60°C en hiver.

A titre dérogatoire, il est possible de s'affranchir de ces limites à condition de considérer un dessèchement partiel du sol.

4.4 TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT DES CABLES

La température maximale admissible sur l'âme est un paramètre fondamental pour le choix des câbles.

Le Tableau 7 précise pour chaque technologie de câble les températures maximales spécifiées par RTE et fait apparaître l'ensemble des technologies de câbles installées sur le RPT.

Type de câble	Nature de l'isolant	Température de l'âme (°C)	
		Régime permanent	Régime de court-circuit
Câble à isolation synthétique	PEBD ¹²	70	150
	PEHD ¹³	80	180
	PR ¹⁴	90	250
	EPR ¹⁵	90	250
Papier imprégné matière visqueuse	Papier imprégné	50	170
Papier imprégné matière non migrante	Papier imprégné	65	170
Pression interne d'huile sans circulation	Papier imprégné	80	170
Pression interne d'huile avec circulation	Papier imprégné	85	170
Oléostatique sans balancement de l'huile	Papier imprégné	80	170
Oléostatique avec balancement de l'huile	Papier imprégné	85	170

Tableau 7 : Températures maximales admissibles sur l'âme

¹¹ On désigne par « sol naturel » le sol qui était en place avant la construction de l'ouvrage. Les remblais, mêmes existants, ne sont pas considérés comme « sol naturel ».

¹² PEBD : polyéthylène basse densité

¹³ PEHD : polyéthylène haute densité

¹⁴ PR : polyéthylène réticulé

¹⁵ EPR : caoutchouc d'éthylène propylène

4.5 REGIME CYCLIQUE DE LA CHARGE

4.5.1 Introduction

Le dimensionnement de l'ouvrage s'appuie sur des critères de diffusion dans le sol de la chaleur générée par les pertes dans les câbles. Ces pertes sont fonction du régime cyclique de la charge, d'où l'importance de leur prise en compte dans le dimensionnement.

Selon la situation de l'ouvrage sur le réseau (raccordement d'un groupe de production ou liaison entre postes notamment), sa charge présente des fluctuations plus ou moins marquées au cours d'une même journée. Ces variations sont appelées « Courbe de Charge Journalière ».

Les câbles isolés ont une inertie thermique plus importante que les câbles nus. En conséquence, une liaison souterraine, soumise à une charge constante, atteint son équilibre thermique plus tardivement qu'une liaison aérienne.

4.5.2 Facteur de forme

4.5.2.1 DEFINITION

Le facteur de forme F , spécifique à chaque courbe de charge, exprime la relation entre l'intensité de secours temporaire et une intensité permanente équivalente, qui transportée pendant 24 heures, conduit au même échauffement du câble que la charge cyclique. F est toujours inférieur ou égal à 1.

$$F = \frac{I_{PE}}{IST}$$

Avec :

- IST : intensité de secours temporaire, c'est-à-dire intensité maximale transportée au cours de la courbe de charge journalière en régime normal (pointe du cycle)
- I_{PE} : intensité permanente équivalente, c'est-à-dire intensité du courant qui, appliquée en permanence à la liaison, conduit à la même température θ du conducteur, qu'au cours d'un cycle de charge journalier,
- θ : température maximale admissible par le câble en régime permanent (cf. Tableau 7).

4.5.2.2 VALEURS PAR DEFAUT

Les valeurs du facteur de forme définies par défaut sont comprises entre 0,9 et 1, selon leur fonction sur le RPT :

- Réseau de répartition / distribution 63, 90 et 225 kV : $F = 0,9$;
- Interconnexion (400 et 225 kV) / raccordement de centrales de production et de clients : $F = 1$.

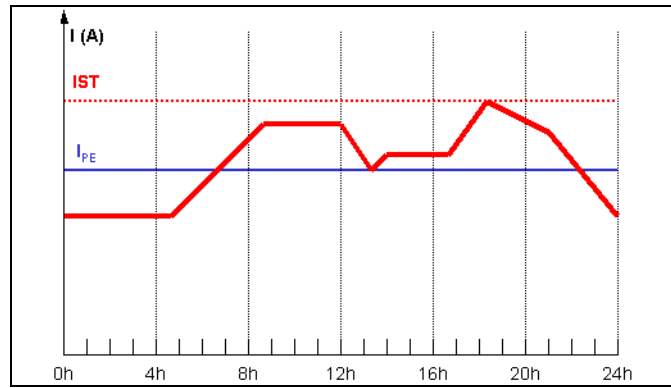


Figure 3 : Exemple de courbe de charge journalière de type interconnexion

4.5.2.3 APPLICATION

Le Maître d'Ouvrage doit appliquer le facteur de forme déterminé par RTE pour les besoins d'exploitation du RPT.

4.6 MODALITES D'EXPLOITATION DES CABLES SOUTERRAINS

4.6.1 Présentation

Les régimes d'exploitation proposés sur un câble sont de deux types et concernent tous les niveaux de tension :

- Cas 1 : avec intensités de secours de courte durée
- Cas 2 : sans intensité transitoire

4.6.2 Dimensionnement avec besoin d'un régime de secours

Des surcharges courtes peuvent être prises en compte lors du dimensionnement. Elles permettent au chargé de conduite de manœuvrer sur le réseau (ou de faire manœuvrer pour son compte) afin d'adapter ponctuellement le schéma d'exploitation retenu, et ainsi lever la surcharge.

Les intensités de secours de courte durée sont calculées à la température maximale admissible sur âme du câble (soit 90°C pour les câbles à isolation PR), sans tenir compte du dessèchement du sol.

Les intensités de secours du câble sont les suivantes :

- Intensité de secours temporaire : IST
- Intensité transitoire 20 min : IT20
- Intensité transitoire 5 ou 10 min : IT5 et IT10

Le coefficient de surcharge X_i permettant de calculer les intensités de surcharge est défini tel que $IT_i = X_i \times I_{pe}$, avec $X_i \leq 2,5$

4.6.3 Dimensionnement sans besoin de régime de secours

Dans les cas où, compte tenu de la future utilisation du câble, aucune capacité de secours de courte durée n'est nécessaire, le câble est dimensionné pour pouvoir fonctionner à sa température maximale admissible sur âme en régime de secours durable (IST).

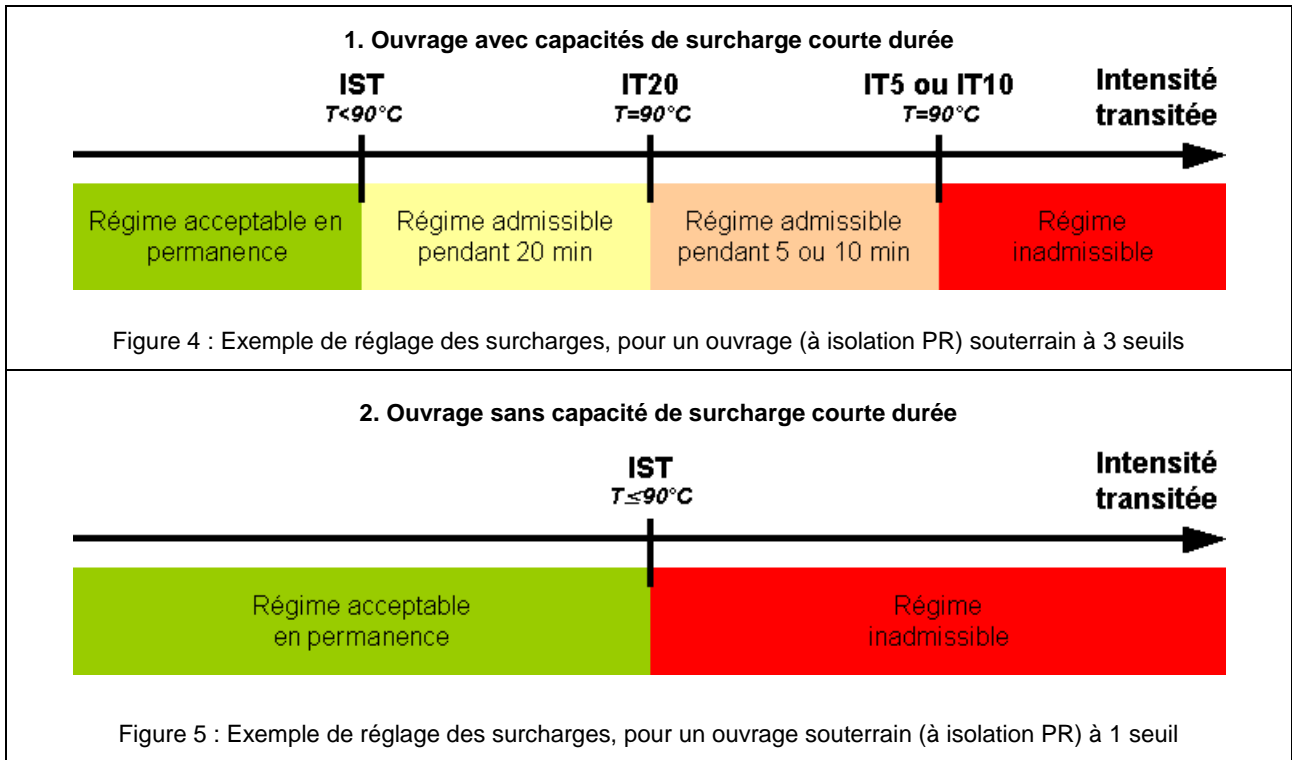
Aucune surcharge n'est alors autorisée sur ce câble.

La seule intensité de secours du câble est l'intensité de secours temporaire : IST

Si la surcharge en intensité n'est pas levée dans le laps de temps défini, pour interdire toute exploitation du câble à une température supérieure à sa température maximale admissible, le déclenchement de l'ouvrage peut être prévu afin de préserver son intégrité technique.

4.6.4 Diagrammes usuels de surcharges

Les types de diagrammes des surcharges des Figure 4 et Figure 5 ne sont donnés qu'à titre indicatif, et ne présagent pas du type d'exploitation qui pourra être retenu sur un ouvrage particulier et qui sera précisée dans le CCTP.



FIN DU DOCUMENT