



ALEAS TECHNIQUES

RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

Impact sur la tenue thermique

Version V0 du 01.09.2011

IMPACT SUR LA TENUE THERMIQUE

PRESENTATION ET PRISE EN CONSIDERATION

Identification : DTR-Altec-Therm
Version : V0

Nombre de pages : 11

Version	Date d'application	Auteur	Nature de la modification
V0	01/09/2011	WB / ORD-TE	Texte original

Objet de l'étude

Ce document a pour but de définir les normes de tenue thermique des composants du réseau, selon le respect de la réglementation applicable à ce sujet, pour assurer un fonctionnement normal.

Descriptif

Les contraintes thermiques dans un conducteur sont fonction :

- du courant maximal admissible en permanence, du courant de défaut I_d et de court circuit I_{cc}
- de la nature et des caractéristiques du conducteur
- du type d'isolation utilisé
- du type de pose et des caractéristiques de l'environnement

Le courant maximal admissible se définit comme la valeur de l'intensité qui provoque, pour un environnement déterminé, un échauffement de l'âme n'entraînant pas de vieillissement accéléré du câble.

Plus précisément, l'intensité maximale admissible en permanence (nommé IMAP) est l'intensité maximale à laquelle un ouvrage peut être exploité sans limitation de durée. Afin de faciliter l'exploitation des réseaux électriques, certains ouvrages peuvent être exploités à une intensité supérieure à l'IMAP mais pendant une durée limitée.

Des protections particulières mettent en sécurité les installations dans le cas où l'intensité dépasserait certaines valeurs pendant une durée définie.

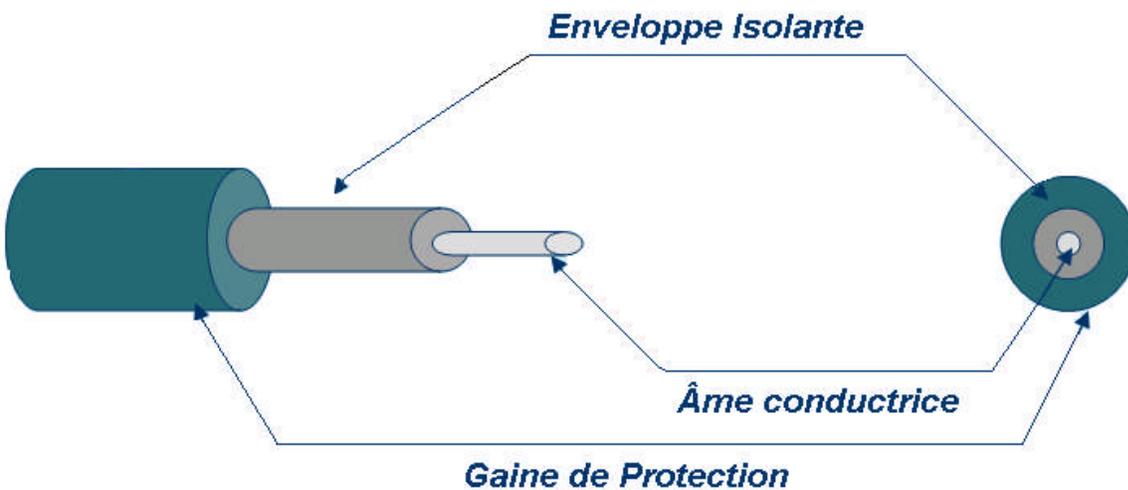
Une des principales causes de détérioration du matériel due à une intensité trop élevée est l'échauffement par un effet joule important. La conséquence de cet échauffement se manifeste de différentes manières selon les ouvrages considérés :

- Pour les câbles électriques, la chaleur produite doit être évacuée par l'intermédiaire de l'isolant électrique (gaine) qui est souvent mauvais conducteur de chaleur. De plus, le câble étant souterrain, l'évacuation de cette chaleur est d'autant plus difficile. En cas d'intensité trop élevée, le risque est la destruction physique du câble par surchauffe.
- Pour les transformateurs, leurs enroulements sont généralement immergés dans un bain d'huile qui joue le rôle d'isolant électrique mais également de fluide caloporteur aérorefrigérant. En cas d'intensité trop élevée, l'huile ne peut plus évacuer assez la chaleur et les enroulements risquent de se détériorer par surchauffe.

- Pour les lignes électriques aériennes, les conducteurs, malgré l'absence de gaine isolante, s'échauffent par effet joule. Cet échauffement entraîne un allongement par effet de dilatation thermique. La ligne électrique étant maintenue à chaque extrémité par un pylône, cet allongement va se matérialiser par une réduction de la hauteur entre la ligne et le sol, ce qui pourrait conduire à un amorçage (arc électrique créant un court circuit) au vu des tensions importantes utilisées dans ces réseaux. Heureusement des protections sont installées sur les lignes pour éviter de tels amorçages qui sont bien sûr extrêmement dangereux.

Sur la commune de Colmar, le gestionnaire du réseau public de distribution doit faire face à ce problème d'échauffement surtout sur les câbles électriques, ce qui constitue la plus grande part de son réseau.

La modélisation de câble la plus classique se présente sous la forme suivante :



L'âme, autrefois en cuivre, est maintenant de plus en plus remplacé par de l'aluminium. L'avantage recherché avec ces constituants, est d'avoir une résistivité faible pour limiter les pertes, et ainsi les échauffements dans les conducteurs.

La bonne conductibilité se traduit par les résistivités suivantes données en $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$:

- ρ cuivre = 0.018, à 20°C
- ρ aluminium = 0.029, à 20°C
- ρ alliage aluminium = 0.032, à 20°C

L'enveloppe isolante permet l'isolement entre les conducteurs, et est composée soit :

- de polychlorure de vinyle (PVC) ou de polyéthylène (PE)
- de polyéthylène réticulé (PR)
- de caoutchouc synthétique

Cette enveloppe doit permettre en particulier une bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu. Selon la constitution, on arrive à différents avantages et inconvénients, détaillés ci après :

Type d'isolation	Température maximale de fonctionnement	Avantages	Inconvénients
Polychlorure de vinyle PVC	70°C	bonnes caractéristiques électriques, mécaniques et thermiques	combustion accompagnée de dégagements nocifs et corrosifs
Polyéthylène réticulé	90°C	bonne tenue en environnement thermique défavorable bonne tenue lors de surcharges de câbles	peu de résistance à la propagation de la flamme
caoutchouc	90°C	haute tenue aux températures extrêmes (-80°C, +250°C) bonne résistance aux agents extérieurs	vieillessement rapide

La gaine de protection protège le câble de son environnement, que ce soit avec des matériaux isolants (PVC, PR) ou des matériaux métalliques (aluminium, feuillard d'acier, plomb)

L'ensemble appelé câble, constitué de l'âme, de l'enveloppe isolante et de la gaine de protection, est définie par classe.

La classe du câble est identifiable à ses repères de couleur (couleur intégrale ou liseré de couleur sur fond noir) :

- rouge pour les câbles non C2 (propagateur de la flamme)
- gris pour les câbles C2 (non propagateur de la flamme)

La propriété de propagateur de flamme est souvent constituée par des gaines extérieures en PE. Mais attention un câble en PE peut être conçu pour avoir une option C2 (non propagateur de flamme).

La propriété de propagateur de flamme est souvent constituée par des gaines extérieures en PVC, selon la norme NF C 33-226.

Les plages de températures de pose sont directement liées à la nature de la gaine extérieure des câbles :

- pour une gaine en PVC, la pose se fait de 0°C à 35°C
- pour une gaine en PE, la pose se fait de -10°C à 50°C

Pour être plus précis qu'en aux températures maximales de fonctionnement, nous devons dissocier les paliers BT et HTA. Ainsi voici les résultats détaillés par les constructeurs de câbles :

En BT :

- Pour une isolation en PVC, la température maximale au niveau de l'âme est de 75°C
- Pour une isolation en PR, la température maximale au niveau de l'âme est de 85°C en souterrain et de 90°C en aérien
- Pour une isolation en papier imprégné, la température maximale au niveau de l'âme est de 65°C

En HTA :

- Pour une isolation en PVC ou en PE, la température maximale au niveau de l'âme est de 70°C
- Pour une isolation en PR, la température maximale au niveau de l'âme est de 90°C
- Pour une isolation en papier imprégné, la température maximale au niveau de l'âme est de 65°C

Il est à noter que les températures ci-dessus sont valables dans le cas d'un fonctionnement normal (régime permanent). Dans le cas d'un courant de défaut tel qu'un court circuit.

Pour une isolation en PVC, la température maximale le temps d'un défaut est de 160°C.

Pour une isolation en PR, la température maximale le temps d'un défaut est de 250°C.

Pour une isolation en caoutchouc, la température maximale le temps d'un défaut est de 220°C.

La dissipation

Dans la modélisation électrique d'un conducteur apparaissent des éléments dissipatifs, en particulier les impédances.

- Résistance :

La résistivité des conducteurs à 20°C est donnée par la norme CEI 60909-0 pour le cuivre, l'aluminium et les alliages d'aluminium. De là est défini la résistance par unité de longueur selon la formule $R = \rho / S$ avec S section du conducteur.

La température prise en compte dans l'étude des lignes aériennes est de 35°C, moyenne de la température de l'air en été (norme NF C 33-223) et de la température du conducteur prise en compte lors de l'étude mécanique de la ligne (norme NF C 11-201).

Pour les câbles enterrés, la température est donnée par la formule approchée :

$\Theta = 20 + [(I/I_{rpe})^2 * (90-20)]$ où I est l'intensité transmise, I_{rpe} l'intensité maximale admissible en régime permanent été donnée par la norme correspondante au câble étudié (norme NF C 33-223). Dans le cas où la température ne serait pas calculable, celle-ci sera prise par défaut à 20°C.

Ensuite, la résistance à une température différente de 20°C est donnée par la relation issue de la norme CEI 60909-0 : $R_{\Theta} = [1 + 0.004*(\Theta-20)] * R_{20}$

- Réactance :

La réactance des câbles est donnée par la norme NF C 13-205.

Pour les lignes aériennes, la réactance a été calculée pour les sections usuelles selon la méthode de la norme CEI 60909-2.

Section (mm ²)	Nature	Norme	Réactance (mΩ/m)
34,4	Alliage d'aluminium	NF C 34-125	0,39
54,6	Alliage d'aluminium	NF C 34-125	0,38
75,5	Alliage d'aluminium	NF C 34-125	0,375
117	Alliage d'aluminium	NF C 34-125	0,365
148	Alliage d'aluminium	NF C 34-125	0,36
228	Alliage d'aluminium	NF C 34-125	0,35

Pour les lignes aériennes ne figurant pas dans le tableau ci-dessus, la réactance est la valeur donnée par défaut par la norme NF C 13-205, soit 0.30 mΩ/m.

La réactance des câbles est donnée par la norme NF C 13-205. La valeur est de 0.15 mΩ/m pour l'ensemble des câbles HTA mono conducteurs et de 0.08 mΩ/m pour les câbles HTA multi conducteurs.

Ainsi, afin de respecter au mieux les normes sur les tenues thermiques des composants du réseau électrique, selon la section et la nature de l'âme, un courant de transit est défini afin d'assurer le transport de l'énergie tout en étant aux normes qu'en à la réglementation citée.

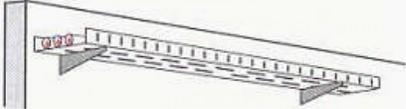
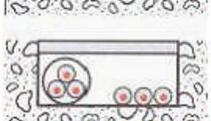
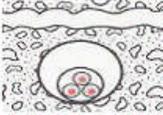
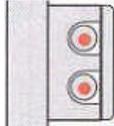
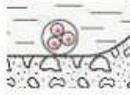
Les intensités admissibles en régime permanent ont été déterminées à partir de la norme NF C 13-205.

Câbles	Intensités
240 mm ² Alu souterrain	400 A
150 mm ² Alu souterrain	300 A
95 mm ² lu souterrain	200 A
35 mm ² Alu souterrain	125 A
70 mm ² Alu aérien	180 / 200 A
75 mm ² Cu souterrain	300 A
50 mm ² Cu souterrain	200 A

Les conditions atmosphériques, et plus particulièrement la température ambiante, ainsi que le mode de pose du câble ont une influence qu'en à la dissipation des échauffements.

A cet effet, la norme NF C 15-100 nous donne des spécifications qu'en aux modes de pose en relation toujours avec les températures de fonctionnement.

Ces données sont regroupées dans le tableau ci-dessous, extrait du tableau 52C des exemples de modes de pose de la norme NF C 15-100.

Classe	Désignation	
0	Pose sous conduit	
1	Pose des câbles à l'air libre	
2	Pose dans les vides de construction	
3	Pose dans les goulottes	
4	Pose dans les caniveaux	
5	Encastrement direct	
6	Pose enterrée	
7	Pose dans les moulures	
8	Pose immergée	

Le mode de pose va dépendre de la localisation géographique où le câble doit être posé, de la nature du sol en présence, du type de ventilation (naturelle ou forcée) quand il est possible, afin de respecter les normes thermiques.

La résistivité du sol va jouer un rôle dans la définition du mode de pose. En effet selon la valeur attribuée à un sol, on peut prévoir comment évoluera le dégagement de chaleur issu du câble. Toujours selon la norme NF C 15-100, nous disposons de ces valeurs :

Résistivité thermique du terrain (°K.m/W)	Facteur de Correction	Observations		
		Humidité	Nature du terrain	
0,40	1,18	Pose immergée	Marécages	
0,50	1,15	Terrains très humides	Sable	
0,70	1,07	Terrains humides		Argile et calcaire
0,85	1,00	Terrain dit normal		
1	0,95	Terrain sec		
1,20	0,89			
1,50	0,83			
2,00	0,72	Terrain très sec	Sable sec	Cendres et mâchefer
2,50	0,66			
3,00	0,62			

Le facteur de correction intervient dans le choix définissant la section de câble en fonction du courant admissible.

Spécification

- NF C 33-100, NF C 33-223 et NF C 33- 226 concernant les caractéristiques des câbles HTA
- Norme CEI 60909-0 et NF C 13-205 définissent les caractéristiques des impédances de conducteur
- NF C 15-100 pour la définition des types de pose de câble

La norme NF C 13-100 définit au point 42 les généralités concernant les protections contre les effets thermiques et autres effets nocifs.

Les personnes et le matériel doivent être protégés contre les risques d'incendie et de brûlure. Pour cela, la norme citée prévoit des conditions à cet effet.

