



# ALEAS TECHNIQUES

RÉSEAU DE DISTRIBUTION D'ÉLECTRICITÉ

## Courant de court circuit

Version V0 du 01.09.2011

### **COURANT DE COURT CIRCUIT**

#### **PRESENTATION, PRISE EN CONSIDERATION, SOLUTIONS POUR LIMITATIONS**

Identification : DTR-Altec-Icc

Version : V0

Nombre de pages : 12

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

## ***Objet de l'étude***

Le réseau de distribution mis en place est étudié pour respecter certaines contraintes aux courants de court-circuit. Le but de l'étude est de vérifier la tenue aux courants de court-circuit des appareillages et des conducteurs suite à l'apparition d'un courant de défaut. Ces études sont réalisées systématiquement lors de la réactualisation du schéma directeur et en particulier lors du raccordement d'un producteur.

Le raccordement de centrales de production accroîtra progressivement le niveau des contraintes de puissance de court-circuit sur le réseau. Les études prennent en compte l'apport du courant de court-circuit au point de livraison des producteurs. En aval du point de livraison, le producteur peut installer tout dispositif permettant de limiter l'apport de courant de court-circuit.

## ***Normalisation et réglementation en vigueur***

Les principes de calcul des courants de court-circuit sont donnés par la norme CEI 60-909, conformément aux textes réglementaires : décrets du 13 mars 2003 et arrêtés du 17 mars 2003.

Les conséquences des courants de défaut sont :

- des effets thermiques :
  - sur les conducteurs : perte progressive des propriétés mécaniques du conducteur (perte d'élasticité pour les lignes aériennes en cuivre, ce qui peut entraîner un non respect de la flèche de la ligne, et dans le pire cas, fusion du métal et rupture de la ligne en plein conducteur ou sous manchon)
  - sur les isolants des câbles et appareillages : augmentation de la température provoque une détérioration des caractéristiques des isolants qui perdent leurs propriétés de façon irréversible avec pour conséquence la création de point faibles, sièges de futurs défauts
  
- des effets électrodynamiques :
  - efforts électrodynamiques entre conducteurs, proportionnels à la valeur du courant et à la distance entre conducteurs de phase, qui sont maximum au moment où le courant de défaut atteint sa valeur de crête, à l'image du phénomène de « coup de fouet » survenant sur les lignes aériennes au moment d'un défaut aval. Ceux-ci peuvent entraîner une rupture mécanique de conducteur ou d'armement.

- le dépassement des pouvoirs de coupure et de fermeture des appareils :
  - chaque appareil de coupure possède un pouvoir de fermeture et un pouvoir de coupure sur un défaut ; le dépassement des valeurs de dimensionnement de l'appareil de coupure a pour conséquence un risque de non coupure de l'arc ou de non fermeture du courant de défaut avec un risque fort de destruction de l'appareillage

Dans l'étude des contraintes de courant de court-circuit, on ne considère que les défauts polyphasés permanents car :

- le courant de défaut monophasé est limité par l'impédance de neutre du transformateur HTB/HTA, et n'est pas suffisamment élevé pour mettre en contrainte le matériel
- la durée d'un défaut non permanent n'est pas suffisamment longue pour mettre en contrainte le matériel

Les risques liés à ces effets sont :

- le vieillissement des éléments de réseau pour lesquels la tenue à la puissance de court-circuit est dépassée, entraînant à terme des conséquences en termes de continuité de fourniture
- des conséquences sur la sécurité des biens et des personnes dès lors que le dépassement des contraintes conduit à la rupture d'un conducteur, au non respect de distance au sol prévus par l'arrêté technique, à la détérioration du matériel avec impact sur l'environnement

Ainsi, comme vu précédemment, pour s'assurer de la tenue du réseau face aux courants de court-circuit, plusieurs contraintes sont à prendre en considération dans l'étude du réseau, en terme de tenue mécanique, tenue thermique, tenue électrique et électromagnétique.

C'est pourquoi certains points sont à traiter tout particulièrement pour s'assurer de la bonne conception du réseau.

Le tableau ci-dessous nous en donne un aperçu.

Contraintes	Etudes	Valeurs typiques de la tenue des matériels	Commentaires
<b>Effet thermique</b>	$I_{eq\ 1s} < I$ courte durée admissible 1 s	Conducteurs : 2 à 22 kA eff pour la plupart  Jeux de barres : paliers 8 ou 12.5 kA eff	Etudes réalisées en schéma d'exploitation normal
<b>Pouvoir de coupure</b>	$I_{coupé} < I$ coupé admissible	Organes de coupure : Paliers 8 ou 12.5 kA eff	Etudes réalisées en schéma d'exploitation normal et secours
<b>Effet électrodynamique</b>	$I_{crête\ maximal} < I$ crête admissible	Conducteurs, Jeux de barres, Organes de coupure : Paliers 20 ou 31.5 kA crête	Acquis sauf exception si la tenue sur courant coupé est correcte

Si l'étude concerne les conducteurs, celle-ci se fait en schéma de fonctionnement normal.

Si l'étude concerne les appareillages et postes de transformation, celle-ci se fait en schéma normal et en schéma secours.

## ***Hypothèses d'étude***

- ***Modélisation***

La méthode donnée par la norme 60-909 dispense de modéliser les charges consommatrices, hors machines tournantes susceptibles d'injecter transitoirement de la puissance sur le réseau, ainsi que toutes les capacités (gradin de compensation, capacité des câbles et des lignes, filtres ...).

Cette norme permet de calculer les valeurs de courant (courant de court-circuit symétrique coupé au sens de la norme) en corrigeant la valeur de courant de court-circuit symétrique initial pris à l'apparition du court-circuit. Pour ce faire, elle a recours à des coefficients correctifs dépendant du court-circuit symétrique initial, des caractéristiques des sources de tension et de la durée d'application du défaut, assimilable au temps mort d'un disjoncteur.

La modélisation proposée par la norme CEI 60-909 se limite à la représentation de toutes les impédances directes de branches et de transformateurs entre les sources de tension.

- **Réseau**

Le réseau HTB est pris à sa puissance de court-circuit maximale actuelle spécifiée par RTE.

La tension de court-circuit du transformateur HTB/HTA du producteur étudié est prise à sa valeur nominale spécifiée.

- **Producteurs**

Tous les producteurs existants et les producteurs en attente couplés au réseau doivent être modélisés à l'identique dans les schémas d'étude.

Ces producteurs sont modélisés selon le type de machines constituant leur installation. Chaque machine est modélisée par une source de tension en série avec une impédance de court-circuit.

La modélisation prend également en compte le tronçon le plus impédant du réseau interne du site de production. Cela correspond au choix de minorer l'apport des producteurs tout en sécurisant l'étude du plan de protection (détection du courant de court-circuit le plus faible).

Cas particulier des producteurs éoliens :

Les aérogénérateurs éoliens sont classés en 6 familles représentatives des différentes technologies existantes. Les hypothèses de modélisation suivante sont retenues :

- aérogénérateur de famille 1  
Il se modélise comme une machine synchrone
- aérogénérateur de familles 2, 3 et 5  
Il se modélise comme une machine asynchrone

Dans le cas de double machine (ou machine à double enroulement), on réalise l'étude avec la machine donnant le plus grand produit  $S_n \times I_d/I_n$

Dans le cas d'une génératrice avec un dispositif couplé au rotor pouvant modifier l'impédance d'enroulement rotorique, on ne prend pas en compte le dit dispositif et on considère les caractéristiques propres de la génératrice

- aérogénérateur de famille 4

L'apport en courant de court-circuit dépendant notamment du réglage du contrôle-commande, chaque constructeur sera analysé sur la base du rapport d'essai ou de simulation fournis par le producteur.

L'installation de production est modélisée par une machine asynchrone ou par un injecteur de courant.

Si le producteur ne fournit pas l'apport de puissance de court-circuit, on modélise chaque aérogénérateur par une machine asynchrone.

- Aérogénérateur de famille 6

L'apport en courant de court-circuit dépendant notamment du réglage du contrôle-commande, chaque constructeur sera analysé sur la base du rapport d'essai ou de simulation fournis par le producteur. L'installation de production sera alors modélisée par une machine asynchrone ou pas un injecteur de courant.

Si le producteur ne fournit pas l'apport de puissance de court-circuit, la machine est modélisée par défaut comme une machine asynchrone selon les préconisations faites par la CEI 60-909 pour les moteurs asynchrones à convertisseurs statiques pouvant fonctionner au freinage par récupération d'énergie, soit  $ID/I_n = 3$ .

#### ○ **Consommateurs**

Les machines tournantes des consommateurs susceptibles d'injecter transitoirement de la puissance sur le réseau sont modélisées de la même façon que les machines du producteur.

Ces machines sont :

- des moteurs entraînant des charges forte inertie
- des groupes de secours à couplage permanent

#### ● **Données d'entrée**

Les principales caractéristiques utilisées figurent dans les fiches de collecte et précisent ceci :

- machines synchrones :
  - puissance nominale  $S_n$  de la machine
  - réactance subtransitoire  $X_d''$
  - facteur de puissance  $\cos(\varphi_n)$  de la machine

- machine asynchrone (avec comme paramètres utilisés ceux de la machine seule, issus du certificat du constructeur, sans prise en compte de ses éventuels gradins de compensation et de son éventuelle électronique de puissance)
  - puissance nominale  $S_n$  de la machine
  - rapport  $I_d/I_n$
  - nombre de paires de pôles
  - facteur de puissance  $\cos(\varphi_n)$  de la machine
  
- machine asynchrone ou synchrone avec électronique de puissance
  - apport de puissance de court-circuit
  
- transformateur élévateur
  - puissance nominale  $S_n$
  - tension de court-circuit  $U_{cc}$

- **Contraintes thermiques**

- **Calcul du courant de courte durée admissible 1s**

Concernant l'effet thermique, la tenue aux courants de court-circuit d'un conducteur se calcule comme suit :

$$\text{Courant de courte durée admissible 1s} = S \times K$$

Avec :  $S$  section du conducteur

$K$  coefficient défini dans la norme CEI 60-865 et qui prend en compte :

- La température maximale admissible de l'âme ou de l'isolant éventuel. Cette température est propre au conducteur considéré.
- La température initiale du conducteur avant le défaut, prise égale à la température maximale admissible en régime permanent.
- Les caractéristiques intrinsèques du conducteur : chaleur spécifique du métal par unité de volume, résistivité du conducteur à 20°C, coefficient de variation à 20°C de la résistivité en fonction de la température
- Pour les lignes, la flèche (point bas par rapport au sol) à la température considérée vis-à-vis de la hauteur minimale du conducteur au sol définie de manière réglementaire

Ainsi, dans le tableau ci-dessous, nous avons les valeurs de K pour différents types de conducteurs et pour deux températures initiales de l'âme en fonctionnement en continu : température maximale et température de 20°C.

Nature	Métal (code : voir légende ci-dessous)	Technologie (code : voir légende ci-dessous)	K (en A par mm <sup>2</sup> sur durée 1 seconde) à température initiale de l'âme = température maximale	K (en A par mm <sup>2</sup> sur durée 1 seconde) à température initiale de l'âme = 20°C
Souterrain	AL	S3, SC, SR ou SO	94	Coefficient de majoration = 1.27
		SE	72	
		PM, PU ou PP	70	
		PC	77	
	CU	S3, SC, SR ou SO	146	
		SE	112	
		PM, PU ou PP	109	
Aérien	CU, CUF ou CUC	<i>sans objet</i>	100	Coefficient de majoration = 1 (Sans objet)
	AM ou AMC	<i>sans objet</i>	60	
	AA, LA, AR ou LR	<i>sans objet</i>	54	
Torsadé	AL	<i>sans objet</i>	94	
	CU	<i>sans objet</i>	146	

<p><u>Légende des câbles</u></p> <p>S3 : NF C-33-223</p> <p>SC : NFC 33S23</p> <p>SR : Interne isolant PR ou EPR</p> <p>SO : NF C-33-226</p> <p>SE : Interne isolant PE ou PVC ou autre synthétique</p> <p>PM : CPI* tripolaire métallisé</p> <p>PU : CPI* unipolaire</p> <p>PP : CPI* papier tripolaire plomb</p> <p>PC : CPI* à ceinture</p> <p>* CPI : câble papier imprégné</p>	<p><u>Légende des conducteurs aériens</u></p> <p>CU, CUF, CUC : Cuivre (Fil ou Câblé)</p> <p>AM, AMC : Almélec</p> <p>AA : Aluminium Acier</p> <p>LA : Almélec Acier</p> <p>AR : Aluminium Acier Renforcé</p> <p>LR : Almélec Acier Renforcé</p> <p>AL : Aluminium</p>
---	--

○ **Calcul du courant de court-circuit équivalent 1s**

Les courants de court-circuit calculés, en tenant compte des cycles de ré-enclenchement, sont ramenés à un courant de court-circuit équivalent 1seconde (noté  $I_{eq\ 1s}$ ) qui est comparé au courant de courte durée admissible 1s pour les conducteurs et les jeux de barres.  $I_{eq\ 1s}$  est calculé de la manière suivante :

$$I_{eq\ 1s} = \sqrt{\sum T_i * I_i^2}$$

Avec :  $i$  le numéro de la séquence des automatismes de ré-enclenchement

$I_i$  le courant de court-circuit coupé (à 0.25s dans le cas général, à 0.1s dans le cas d'un ré-enclenchement rapide) dans les éléments du réseau pendant la séquence  $i$ , incluant la contribution au courant de court-circuit du producteur considéré

$T_i$  temps d'élimination du défaut correspondant à la séquence  $i$ , donné dans le tableau ci-dessous

Cycle de réenclenchement sans élimination effective du défaut	Temps cumulés d'élimination du défaut pour un autre départ que celui du producteur	Temps cumulés d'élimination du défaut pour le départ du producteur
Double dérivation	0.5 s	0.5 s
Départ avec cycle : 1 rapide + 1 lent Ou 1 lent (sans rapide)	1.15 s	0.15 s
Départ avec cycle : 1 rapide + 2 lents Ou 2 lents (sans rapide)	1.65 s	0.15 s
Sans réenclencheur	1 s	0.5 s

• **Contraintes en pouvoir de coupure**

Pour chaque organe de coupure, on vérifie que le courant coupé est inférieur au courant coupé admissible.

- **Contraintes électrodynamique**

Pour chaque machine synchrone et asynchrone, le respect de la contrainte en courant de court-circuit crête est acquis lorsque la contrainte en courant de court-circuit coupé est respectée, compte tenue de la corrélation entre :

- D'une part la valeur du courant crête et la valeur du courant coupé
- D'autre part la limite en courant crête et la limite en courant coupé

Pour les éoliennes de la famille 4 ou 6 intégrant une interface à électronique de puissance, on vérifie si le courant crête maximal est inférieur au courant crête admissible

## **Détermination de la solution de raccordement**

- **Schéma d'exploitation à prendre en compte**

Concernant les conducteurs, les études de contraintes de courant de court-circuit sont menés en schéma normal et en ne prenant pas en compte de schéma secourant.

Concernant les appareillages, les études sont réalisées en schéma normal, en schéma transformateur secourant et en schéma départ secourant.

- **Détection et levée des contraintes de courant de court-circuit**

Si une contrainte de tenue en courant de court-circuit est détectée sur les ouvrages en réseau, on cherche à la lever par :

- Modification du raccordement du producteur au poste source : déplacement sur une autre rame du poste source prévu pour desservir le producteur étudié ou sur un autre poste source
- Remplacement des interrupteurs (aériens et en armoires) et disjoncteurs (DRR, postes de répartition) en réseau en contrainte
- Remplacement des appareillages HTA (interrupteurs, disjoncteurs, jeux de barres, cellules TT ...) en contrainte dans les postes DP et les postes HTA privés
- Passage des tronçons de conducteurs aériens, torsadés et souterrains à une section plus importante

Si une contrainte de tenue au courant de court-circuit est détectée au niveau des appareillages du poste source, on cherche à la lever par :

- Modification du raccordement du producteur au poste source : déplacement sur une autre rame du poste source prévu pour desservir le producteur étudié ou sur une rame d'un autre poste source
- Remplacement des ouvrages en contrainte par des ouvrages de tenue supérieure

Ces solutions peuvent être envisagées dans un ordre quelconque, la solution à retenir étant la moins onéreuse.

### ***Décision de travaux***

L'étude faite nous permet de connaître quels sont les tronçons qui sont en contraintes. Puis pour ces tronçons, on calcule l'occurrence de défaut (nombre moyen d'années pour un dépassement). L'occurrence admise est égale à celle usuellement retenue pour le traitement des risques vis-à-vis des contraintes climatiques. En fonction d'un seuil fixé à 20 ans, l'étude nous permet la programmation de travaux sur les tronçons considérés afin que ceux-ci soient viables qu'en aux contraintes de courant de court-circuit.

