



**RACCORDEMENT D'UNE PRODUCTION DECENTRALISEE
TENUE AUX COURANTS DE COURT-CIRCUIT**

Objet de l'étude : Vérifier la tenue aux courants de court-circuit des appareillages et des conducteurs. Le tableau suivant liste les contraintes à étudier.

Contraintes	Etudes	Valeurs typiques de la tenue des matériels	Méthode d'étude
Effet thermique sur les jeux de barres et les conducteurs	$I_{eq\ 1s} < I_{courte\ durée\ admissible\ 1s}$	Jeux de barres : paliers 8 ou 12.5 kA eff Conducteurs : dépend du type et de la section	Schémas : - Normal - secours - N-1 Transformateur
Pouvoir de coupure des organes de coupure	$I_{coupée} < I_{coupure\ admissible}$	Paliers 8 ou 12.5 kA eff	
Pouvoir de fermeture des organes de coupure	$I_{fermée} < I_{fermeture\ admissible}$	Fonction du matériel installé	
Effet électrodynamique	$I_{crête} < I_{crête\ admissible}$	paliers 20 ou 31.5 kA crête	Acquis, sauf exception si la tenue sur courant coupé est correcte

A) Hypothèses et méthode d'étude

a) Modélisation

Le calcul des courants de court circuit triphasés apportés par les machines et le réseau HTB est fait selon la norme CEI 60-909 conformément à l'article 5 de l'arrêté du 17 mars 2003. Cette méthode dispense notamment de modéliser les charges consommatrices, hors machines tournantes susceptibles d'injecter transitoirement de la puissance sur le réseau, ainsi que toutes les capacités (gradins de compensation, capacités de câbles ou de lignes, filtres ...).

La norme CEI 60-909 permet de calculer les valeurs de courant (courant de court-circuit symétrique coupé au sens de la norme) en corrigeant la valeur du courant de court-circuit symétrique initial pris à l'apparition du court-circuit. Pour ce faire, elle recourt à des coefficients correctifs dépendant du courant de 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.

a1) Réseau

Le réseau HTB est modélisé par une source de tension infinie en série avec une impédance représentative de la Puissance de Court-circuit maximale fournie par le réseau HTB au jeu de barres HTB du Transformateur HTB/HTA sur lequel est raccordé le producteur étudié.

La tension de court-circuit du Transformateur HTB/HTA est prise à sa valeur minimale.

a2) Producteurs

Tous les producteurs existant et les producteurs en attente couplés au réseau dans les différents schémas étudiés doivent être modélisés.

La modélisation est identique pour les Producteurs Existants et le Producteur Etudié.

Les 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 tient compte également du réseau interne du site de production.

- Cas particulier des producteurs éoliens :

Les aérogénérateurs éoliens sont classés en 6 familles représentatives des différentes technologies existantes. Ces familles sont définies dans le document « Mode d'emploi des fiches de collecte ».

Les hypothèses de modélisation suivantes 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 suivant : $S_n \times I_d/I_n$.

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 de rapport d'essai ou de simulation fournis par les producteurs. 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, 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 $I_d/I_n = 3$.

- **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 de rapport d'essai ou de simulation fournis par les producteurs. 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 utilise la modélisation par défaut de la famille 4.

a3) 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 des producteurs.

Ces machines sont :

- des moteurs entraînant des charges de forte inertie,

- des groupes de secours à couplage permanent.

b) Données d'entrée

Fiches de collecte

Les principales caractéristiques utilisées figurant dans les Fiches de collecte sont les suivantes :

- machine synchrone :
 - ✓ puissance nominale S_n de la machine synchrone
 - ✓ réactance subtransitoire x''_d
 - ✓ facteur de puissance $\cos \varphi_n$ de la machine
- machine asynchrone (les paramètres utilisés sont ceux de la machine asynchrone 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 asynchrone
 - ✓ 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}

c) Calculs des contraintes thermiques

c1) Calcul du « courant de courte durée admissible 1s » pour un conducteur

Les tenues aux courants de court-circuit des conducteurs tiennent compte de l'effet thermique des courants de défaut. Elles s'expriment sous la forme d'un « courant de courte durée admissible 1s » au plan thermique qui dépend :

- 1- de la section S du conducteur,
- 2- de la température maximale admissible de l'âme ou de l'isolant éventuel. Cette température est propre au conducteur considéré. Pour indication, on peut se reporter aux normes NF C 13200 (édition avril 1987 pour les câbles isolés au papier imprégné) et NFC 13-205 qui donnent les températures maximales admissibles pour certains types de câbles.
- 3- de la température initiale du conducteur avant le défaut, prise égale à la température maximale admissible en régime permanent.
- 4- des caractéristiques intrinsèque 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.
- 5- pour les lignes, de la flèche à la température considérée vis à vis de la hauteur minimale du conducteur au sol définie de manière réglementaire.

Les valeurs d'intensité maximale admissible en court-circuit pour les lignes aériennes et les câbles ont été calculées selon cette méthode et sont regroupées dans les tableaux « Caractéristiques des lignes aériennes HTA » et « Caractéristiques des câbles souterrains HTA » disponibles sur le site INTERNET à la rubrique « Référentiel technique ».

c2) Calcul du courant de court-circuit équivalent 1 seconde

Les courants de court-circuit calculés, en tenant compte des cycles de réenclenchement, sont ramenés à un courant de court-circuit équivalent 1 seconde (noté $I_{eq\ 1s}$) qui est comparé à 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 considéré (dépend des automatismes de ré enclenchement),
- I_i le courant de court-circuit coupé dans l'élément de réseau pendant la séquence i , incluant la contribution au courant de court-circuit du producteur considéré,
- T_i le temps d'élimination du défaut correspondant à la séquence i (voir tableau suivant)

Cycle de réenclenchement sans élimination effective du défaut	Temps cumulés d'apport d'Icc par le réseau et par le producteur pour un autre départ que celui du producteur	Temps cumulés d'apport d'Icc par le réseau et par le producteur pour le départ du producteur
Départ avec cycle : 1 rapide + 1 lent Ou 1 lent (sans rapide)	De 1 s à 1,5 s selon les caractéristiques des protections et leur temporisation	Temps écoulé entre l'apparition du défaut et la 1 ^{ère} ouverture du disjoncteur du départ HTA, soit de 0,15 à 0,5s selon les caractéristiques des protections et leur temporisation
Départ avec cycle : 1 rapide + 2 lents Ou 2 lents (sans rapide)	De 1,5 s à 2 s selon les caractéristiques des protections et leur temporisation	Temps écoulé entre l'apparition du défaut et la 1 ^{ère} ouverture du disjoncteur du départ HTA, soit de 0,15 à 0,5s selon les caractéristiques des protections et leur temporisation
Sans réenclencheur	0,5s à 0,7s (0,7 s s'il y a un poste d'étoilement équipé de disjoncteurs réenclencheurs sur le départ)	0,5s à 0,7s (0,7 s s'il y a un poste d'étoilement équipé de disjoncteurs réenclencheurs sur le départ)

Il y a lieu d'étudier également un défaut sur le jeu de barres HTA du poste-source pour lequel le temps d'apport d'intensité de court-circuit est au minimum d'1 s et un défaut sur le transformateur HTB/HTA ou la liaison transformateur-rame HTA source pour lequel le temps d'apport d'intensité de court-circuit est au minimum d'1,3 s.

d) Contrainte en pouvoir de coupure

Pour chaque organe de coupure (sur le réseau ou dans les postes clients), on vérifie que le courant coupé est inférieur au courant coupé admissible.

e) Contrainte en pouvoir de fermeture

Pour chaque organe de manoeuvre (sur le réseau ou dans les postes clients), on vérifie que le courant établi est inférieur au pouvoir de fermeture de l'appareil.

B) Détermination de la solution de raccordement

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

- remplacement des interrupteurs (aériens ou 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 en remplaçant les ouvrages en contrainte par des ouvrages de tenue supérieure.