

Étude de tenue aux courants de court circuit pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA

Identification :	Enedis-NMO-RES_041E
Version :	1
Nb. de pages :	1+xx

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
1	15/09/2025	Création – changement de référence	Enedis-PRO-RES_07E

Document(s) associé(s) et annexe(s) :

Résumé / Avertissement

NB : Dans le cadre de son projet de simplification documentaire, Enedis modernise son système de référencement et met à jour toutes ses références de notes, tant internes qu'externes.
Cette note Enedis-NMO-RES_041E remplace donc à l'identique la note Enedis-PRO-RES_07E, comme indiqué dans la note récapitulative Enedis-MOP-RCA_003E.

Ce document décrit les études de tenue aux courants de court circuit qui sont menées pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA.

Étude de tenue aux courants de court circuit pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA

Identification : Enedis-PRO-RES_07E

Version : 4

Nb. de pages : 8

Version	Date d'application	Nature de la modification	Annule et remplace
1	09/06/2005	Création	
2	15/09/2006	Changement d'identité visuelle	
3	01/03/2008	Prise en compte de l'identité visuelle d'ERDF	ERDF-NOP-RES_32E
4	15/02/2017	Prise en compte de la nouvelle dénomination sociale d'Enedis	ERDF-PRO-RES_07E

Résumé / Avertissement

Ce document décrit les études de tenue aux courants de court circuit qui sont menées pour le raccordement d'une production décentralisée en HTA.

SOMMAIRE

1. Objet de l'étude	3
2. Critère de déclenchement de l'étude.....	3
3. Hypothèses.....	3
3.1. Modélisation	3
3.1.1. Réseau	3
3.1.2. Producteurs	4
3.1.3. Consommateurs.....	4
3.2. Données d'entrée.....	5
3.3. Calculs des contraintes thermiques	5
3.3.1. Calcul du « courant de courte durée admissible 1s »	5
3.3.2. Calcul du courant de court-circuit équivalent 1 seconde.....	7
3.4. Calcul des contraintes en pouvoir de coupure	7
3.5. Contrainte des contraintes électrodynamiques.....	7
4. Détermination de la solution de raccordement	8
4.1. Schéma d'exploitation à prendre en compte.....	8
4.2. Détection et levée des contraintes de courant de court-circuit	8

1. Objet de l'étude

Vérifier la tenue aux courants de court-circuit des appareillages et des conducteurs.

Le Tableau 1 ci-dessous liste les contraintes à étudier :

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

Tableau 1 : liste des contraintes induites par un courant de court-circuit

2. Critère de déclenchement de l'étude

Cette étude est à réaliser de manière systématique.

3. Hypothèses

3.1. 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.

3.1.1. 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.

3.1.2. Producteurs

Tous les producteurs existants et les producteurs en attente couplés au réseau dans les schémas étudiés doivent être modélisés. La modélisation est identique pour les producteurs existants et le producteur étudié.

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 prend également en compte le tronçon le plus impédant du réseau interne du producteur. Cela correspond au choix suivant de minorer l'apport des producteurs tout en sécurisant l'étude plan de protection (détection du courant de défaut le plus faible).

Cas particulier des producteurs éoliens :

Les aérogénérateurs éoliens sont classées en 6 familles représentatives des différentes technologies existantes. Ces familles sont définies dans le document « Mode d'emploi des Fiches de Collectes de renseignements ». 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 par Enedis sur la base de 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 par Enedis sur la base de rapport d'essai ou de simulation fournis par le producteur. L'Installation de Production sera alors 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 $I_d/I_n = 3$.

3.1.3. 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 des producteurs.

Ces machines sont :

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

3.2. Données d'entrée

Fiches de Collectes :

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

- machine synchrone :
 - puissance nominale S_n de la machine synchrone ;
 - réactance subtransitoire x''_d ;
 - facteur de puissance $\cos \phi_n$ 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 $\cos \phi_n$ 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 ucc.

3.3. Calculs des contraintes thermiques

3.3.1. Calcul du « courant de courte durée admissible 1s »

Concernant l'effet thermique, la tenue aux courants de court-circuit d'un conducteur s'exprime sous la forme d'un « courant de courte durée admissible 1s » au plan thermique et se calcule comme suit.

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

Avec :

- S , la section du conducteur,
- K , un coefficient défini dans la norme CEI 60865 qui prend en compte :
 - 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 à la norme CEI 60986 qui donne des températures maximales admissibles pour certains types de câbles,
 - 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 à la température considérée vis à vis de la hauteur minimale du conducteur au sol définie de manière réglementaire.

Ci-dessous, le **Tableau 2** présente les valeurs de K pour différents types de conducteurs et pour deux températures initiales de l'âme en fonctionnement en continu : maximale et à 20°C.

Nature	Métal (code : voir légende ci-dessous)	Technologie (code : voir légende ci-dessous)	K (en A par mm ² sur durée 1 seconde) à température initiale de l'âme = température maximale	K (en A par mm ² 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	sans objet	100	Coefficient de majoration = 1 (Sans objet)	
	AM ou AMC	sans objet	60		
	AA, LA, AR ou LR	sans objet	54		
Torsadé	AL	sans objet	94		
	CU	sans objet	146		
<u>Légende des câbles</u>			<u>Légende des conducteurs aériens</u>		
S3 : NF C 33-223			CU, CUF, CUC : Cuivre (Fil ou Câblé)		
SC : NF C 33-S23			AM, AMC : Almélec		
SR : Interne isolant PR ou EPR			AA : Aluminium Acier		
SO : NF C 33-226			LA : Almélec Acier		
SE : Interne isolant PE ou PVC ou autre synthétique			AR : Aluminium Acier Renforcé		
PM : CPI* tripolaire métallisé			LR : Almélec Acier Renforcé		
PU : CPI* unipolaire			AL : Aluminium		
PP : CPI* papier tripolaire plomb					
PC : CPI* à ceinture					
* CPI : câble papier imprégné					

Tableau 2 : tenue thermique des conducteurs

3.3.2. Calcul du courant de court-circuit équivalent 1 seconde

Les courants de court-circuit calculés, en tenant compte des cycles de ré-enclenchement, sont ramenés à un courant de court-circuit équivalent 1 seconde (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 0.25 s dans le cas général et à 0.1 s dans le cas d'un ré-enclenchement rapide) 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 3 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

Tableau 3 : temps d'élimination des défauts

3.4. Calcul des contraintes en pouvoir de coupe

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

3.5. Contrainte des contraintes électrodynamiques

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

4. Détermination de la solution de raccordement

4.1. Schéma d'exploitation à prendre en compte

Concernant les **conducteurs**, les études de contraintes de courant de court-circuit sont menées 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.

4.2. Détection et levée des contraintes de courant de court-circuit

Si une contrainte de tenue au courant de court-circuit est détectée sur les ouvrages en réseau, on la lève 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 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 la lève 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.