

**« *Technical Rationale and Justification for  
Reliability Standard* » (Justification technique)  
(version française)**



**NERC**

NORTH AMERICAN ELECTRIC  
RELIABILITY CORPORATION

# Planification du comportement du réseau de transport en cas de perturbation géomagnétique

Justification technique de la norme de fiabilité  
TPL-007-4

Novembre 2019

Fiabilité | Résilience | Sécurité



3353 Peachtree Road NE  
Suite 600, North Tower  
Atlanta, GA 30326  
404-446-2560 | [www.nerc.com](http://www.nerc.com)

## Table des matières

---

Préface .....	iii
Introduction .....	iv
Contexte.....	iv
Généralités .....	1
Justification de l'applicabilité.....	1
PGM de référence (TPL-007-4, annexe 1).....	1
PGM supplémentaire (TPL-007-4, annexe 1) .....	1
Exigence E2.....	2
Exigence E4.....	3
Exigence E5.....	4
Exigence E6.....	5
Exigence E7.....	6
Évaluation de vulnérabilité à la PGM supplémentaire .....	7
Exigence E8.....	8
Exigence E9.....	9
Exigence E10.....	10
Exigence E11.....	11
Exigence E12.....	12
Exigence E13.....	13
Références .....	14

## Préface

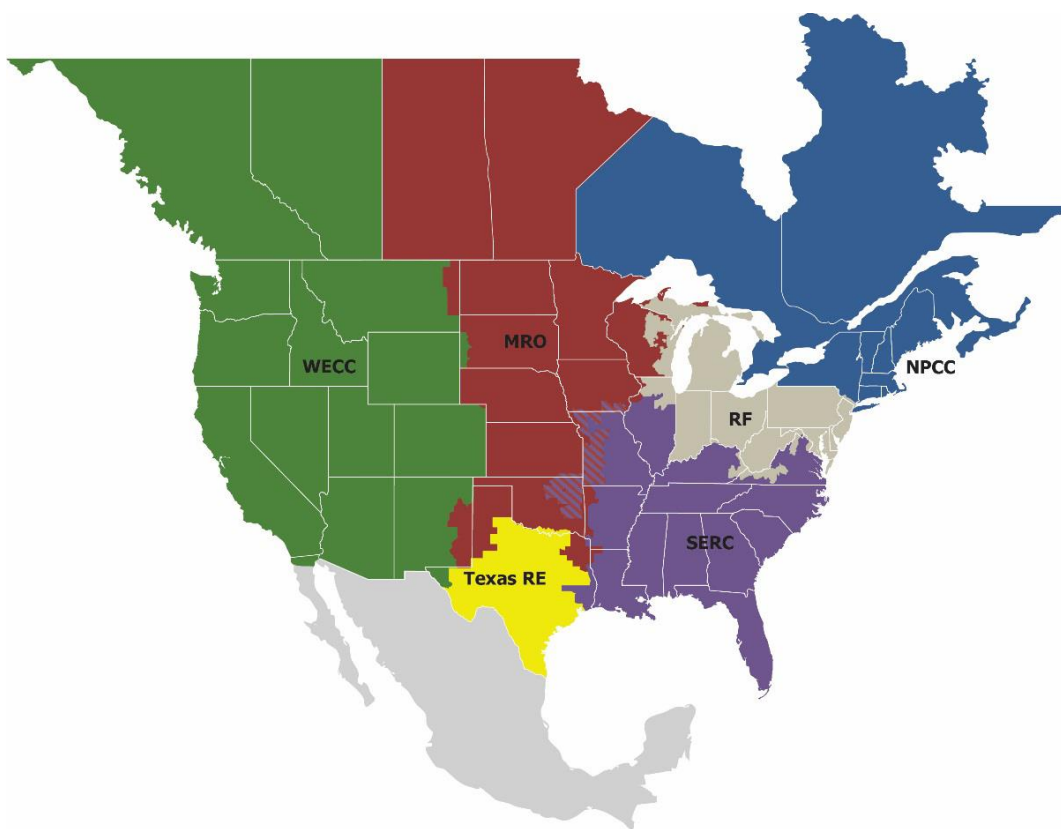
---

L'électricité est un élément essentiel du tissu de nos sociétés modernes, et l'organisme de fiabilité électrique (ERO) a pour mission de renforcer ce tissu. La vision de l'ERO, qui regroupe la North American Electric Reliability Corporation (NERC) et six entités régionales, veille de près à la fiabilité du réseau électrique interconnecté de l'Amérique du Nord. L'ERO travaille en permanence à réduire de manière efficace et efficiente les risques pour la fiabilité et la sécurité du réseau électrique.

Fiabilité | Résilience | Sécurité

Parce que près de 400 millions de citoyens en Amérique du Nord comptent sur nous

Le réseau électrique interconnecté de l'Amérique du Nord est divisé en six territoires d'entités régionales, comme le montrent la carte et le tableau ci-dessous. Les zones combinant deux couleurs indiquent des chevauchements, car certains *responsables de l'approvisionnement* sont actifs dans une région alors que les *propriétaires d'installation de transport* et les *exploitants de réseau de transport* associés sont actifs dans une autre région.



<b>MRO</b>	Midwest Reliability Organization
<b>NPCC</b>	Northeast Power Coordinating Council
<b>RF</b>	ReliabilityFirst Corporation
<b>SERC</b>	SERC Reliability Corporation
<b>Texas RE</b>	Texas Reliability Entity
<b>WECC</b>	Western Electricity Coordinating Council

# Introduction

## Contexte

Ce document expose la démarche et la justification technique de la norme de fiabilité proposée TPL-007-4, *Planification du comportement du réseau de transport en cas de perturbation géomagnétique*. Il vise à guider les parties prenantes ainsi que l'ERO dans la compréhension des exigences techniques de cette norme de fiabilité. Il apporte aussi des éclaircissements sur l'intention de l'équipe de rédaction de la norme. Le présent document, *Justification technique de la norme de fiabilité TPL-007-4*, n'est pas une norme de fiabilité et son contenu ne doit donc pas être considéré comme obligatoire et exécutoire.

La première version de la norme (TPL-007-1), approuvée par la FERC dans son ordonnance 779 [1], demande aux entités d'évaluer l'impact sur leurs réseaux d'une perturbation géomagnétique bien définie, appelée « PGM de référence ». La deuxième version (TPL-007-2) comporte de nouvelles exigences (E8, E9 et E10) qui demandent aux entités responsables d'évaluer les effets potentiels d'une « PGM supplémentaire » sur leurs équipements et réseaux, conformément aux prescriptions de l'ordonnance 830 de la FERC [2]. Certaines PGM impliquent des ajustements localisés du champ géomagnétique ; la PGM supplémentaire sert à représenter les conditions associées à de tels ajustements pendant une PGM sévère dans le cadre d'une *évaluation de vulnérabilité aux PGM*. La troisième version (TPL-007-3) vient ajouter une différence régionale pour le Canada : celle-ci permet aux entités inscrites canadiennes de mettre à profit leur expérience d'exploitation, les effets observés des PGM ainsi que les recherches en cours afin de définir des variantes de PGM de référence ou de PGM supplémentaire qui représentent plus adéquatement les particularités géographiques et géologiques du Canada. Les exigences applicables à l'échelle du continent demeurent inchangées entre les deuxième et troisième versions de la norme. La quatrième version (TPL-007-4) répond aux prescriptions de l'ordonnance 851 de la FERC [3] qui demandent de modifier la norme de fiabilité TPL-007-3 ; la FERC demande à la NERC de soumettre certaines modifications consistant à 1) exiger l'établissement et la mise en œuvre de *plans d'actions correctives* visant à atténuer les vulnérabilités liées à la PGM supplémentaire (paragraphe 29 de l'ordonnance), et à 2) remplacer la disposition concernant les prolongations du calendrier du *plan d'actions correctives* de l'exigence E7.4 de la norme TPL-007-3 par un processus dans lequel ces prolongations sont étudiées au cas par cas (paragraphe 54).

Les exigences de cette norme couvrent divers aspects du processus d'*évaluation de vulnérabilité aux PGM*. Le schéma de la figure 1 illustre les différentes étapes de ce processus :

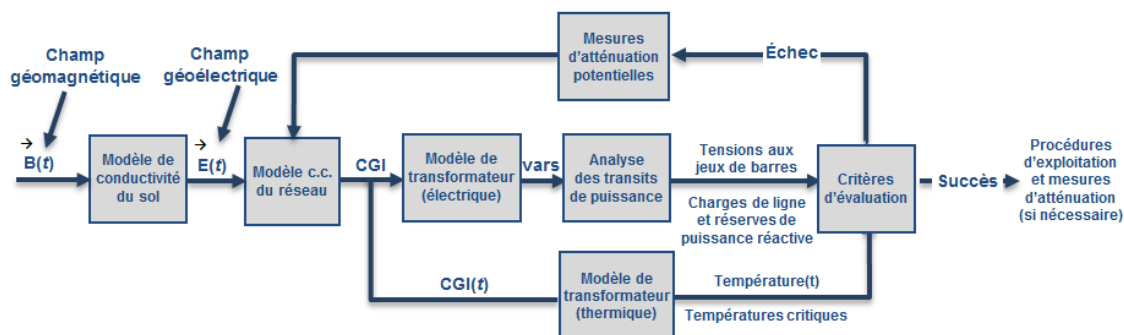


Figure 1 – Processus d'évaluation de vulnérabilité aux PGM

# Généralités

---

## Justification de l'applicabilité

La norme de fiabilité TPL-007-4 vise les *installations* comprenant un ou des transformateurs de puissance dont le côté haute tension présente un enroulement en étoile avec neutre mis à la terre et dont la tension aux bornes est supérieure à 200 kV.

Les transformateurs de mesure et les transformateurs de service auxiliaire n'ont pas d'impact appréciable sur les courants géomagnétiquement induits (CGI) ; c'est pourquoi ces types de transformateur ne sont pas mentionnés dans la section Applicabilité de la norme. La tension aux bornes correspond à la tension phase-phase.

## PGM de référence (TPL-007-4, annexe 1)

La PGM de référence définit les valeurs du champ géoélectrique qui servent à calculer les flux de CGI nécessaires pour une *évaluation de vulnérabilité à la PGM* de référence. La publication *Benchmark Geomagnetic Disturbance Event Description* (mai 2016) [4] présente la description de la PGM de référence, son analyse et des exemples de calculs.

## PGM supplémentaire (TPL-007-4, annexe 1)

La PGM supplémentaire définit les valeurs du champ géoélectrique qui servent à calculer les flux de CGI nécessaires pour une *évaluation de vulnérabilité à la PGM* supplémentaire. La publication *Supplemental Geomagnetic Disturbance Event Description* (octobre 2017) [5] présente la description de la PGM supplémentaire et son analyse.

## Exigence E2

---

Une *évaluation de vulnérabilité aux PGM* nécessite un modèle CGI de *réseau* (représentation c.c. du *réseau*) pour le calcul des flux de CGI. Dans une *évaluation de vulnérabilité aux PGM*, les simulations de CGI servent à déterminer l'absorption de puissance réactive par les transformateurs et la réponse thermique de ceux-ci. Des indications sur la création d'un modèle CGI de *réseau* sont présentées dans la publication *Application Guide – Computing Geomagnetically-Induced Current in the Bulk-Power System* (décembre 2013) [6].

Les modèles de *réseau* indiqués à l'exigence E2 servent à effectuer une analyse des transits de puissance en régime permanent qui tient compte de l'absorption de puissance réactive par les transformateurs de puissance en raison des flux de CGI dans le *réseau*, lors des *évaluations de vulnérabilité aux PGM*. Des considérations supplémentaires de modélisation de *réseau* pourraient s'appliquer aux installations de moins de 200 kV.

Le modèle CGI de *réseau* comprend tous les transformateurs de puissance dont le côté haute tension présente un enroulement en étoile avec neutre mis à la terre et dont la tension aux bornes est supérieure à 200 kV. Ce modèle sert à calculer les flux de CGI dans le *réseau*.



## Exigence E4

---

La publication *Geomagnetic Disturbance Planning Guide* (décembre 2013) [7] présente une information technique sur les considérations propres aux PGM pour les études de planification.

L'*évaluation de vulnérabilité aux PGM* comprend l'analyse des transits de puissance en régime permanent ainsi que la ou les études à l'appui qui utilisent les modèles prescrits à l'exigence E2 pour rendre compte des effets des CGI. Les critères de comportement sont prescrits au tableau 1, PGM à des fins de planification pour les analyses en régime permanent, de la norme TPL-007-4. L'analyse doit considérer au moins une *charge en pointe* et au moins une *charge hors pointe* du réseau (voir l'exigence E4).

## Exigence E5

---

L'étude d'impact thermique de référence sur les transformateurs, prescrite à l'exigence E6, est réalisée à partir de l'information sur les CGI pour la PGM de référence. Cette information sur les CGI est déterminée par l'entité responsable par simulation au moyen du modèle CGI de *réseau*, et doit être transmise à l'entité responsable de la réalisation de l'étude d'impact thermique (voir l'exigence E5). L'information sur les CGI pour l'étude d'impact thermique de référence doit être fournie conformément à l'exigence E5 chaque fois que l'*évaluation de vulnérabilité à la PGM* de référence est effectuée puisque, par définition, l'*évaluation de vulnérabilité aux PGM* comprend une évaluation documentée de la susceptibilité à des dommages localisés à des équipements en cas de PGM.

Des modélisations thermiques ont permis d'établir que la valeur de CGI maximale de 75 A par phase, dans l'*évaluation de vulnérabilité à la PGM* de référence, représente un seuil prudent au-dessous duquel le risque de dépasser les températures limites établies par les organismes techniques est faible.

Cette information sur les CGI est nécessaire pour déterminer l'impact thermique de référence des CGI sur les transformateurs dans la zone de planification et doit être transmise aux entités chargées de réaliser l'étude d'impact thermique afin que celles-ci puissent effectuer l'évaluation avec exactitude (voir l'exigence E5). L'information sur les CGI doit être transmise conformément à l'exigence E5 dans le cadre du processus d'*évaluation de vulnérabilité à la PGM* de référence puisque, par définition, l'*évaluation de vulnérabilité aux PGM* comprend une évaluation documentée de la susceptibilité à des dommages localisés à des équipements en cas de PGM.

La série CGI(t) fournie conformément à l'alinéa 5.2 peut servir à convertir les flux de CGI en régime permanent afin de produire une série temporelle de CGI pour l'étude d'impact thermique de référence sur les transformateurs. Cette information peut être nécessaire pour une ou plusieurs des méthodes d'étude d'impact thermique. On trouvera de plus amples indications dans la publication *Transformer Thermal Impact Assessment White Paper* (octobre 2017) [8].

## Exigence E6

---

L'évaluation thermique des transformateurs sera répétée ou réexaminée d'après les résultats de l'évaluation précédente chaque fois que l'entité responsable effectuera une *évaluation de vulnérabilité aux PGM* et fournira l'information sur les CGI conformément à l'exigence E5.

Des études d'impact thermique pour les transformateurs de puissance dont le côté haute tension présente un enroulement en étoile avec neutre mis à la terre et dont la tension aux bornes est supérieure à 200 kV sont nécessaires parce que l'endommagement de ces types de transformateur peut avoir de l'influence dans une zone étendue sur la fiabilité du *réseau de transport* interconnecté.

## Exigence E7

---

Cette exigence répond à la prescription de l'ordonnance 851 de la FERC en remplaçant la disposition sur la prolongation du calendrier, à l'alinéa 7.4 de l'exigence E7 des normes TPL-007-2 et TPL-007-3, par un processus dans lequel toute prolongation est évaluée au cas par cas.

Les considérations techniques concernant la planification des mesures d'atténuation des effets des PGM, y compris les stratégies d'exploitation et d'équipements, sont exposées au chapitre 5 de la publication *Geomagnetic Disturbance Planning Guide* (décembre 2013) [7]. On trouvera d'autres renseignements dans la publication *2012 Special Reliability Assessment Interim Report: Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk-Power System* (février 2012) [9].

## ***Évaluation de vulnérabilité à la PGM supplémentaire***

---

Les exigences E8 à E11 mettent en œuvre les prescriptions de l'ordonnance 830 de la FERC qui demandent de réviser la définition de la PGM de référence utilisée dans les *évaluations de vulnérabilité aux PGM* (paragraphe 44 et paragraphes 47 à 49). Ces exigences ajoutent une *évaluation de vulnérabilité à la PGM* supplémentaire qui tient compte de champs géoélectriques maximaux localisés.

## Exigence E8

---

La publication *Geomagnetic Disturbance Planning Guide* (décembre 2013) [7] présente une information technique sur les considérations propres aux PGM pour les études de planification.

L'*évaluation de vulnérabilité aux PGM* comprend l'analyse des transits de puissance en régime permanent ainsi que la ou les études à l'appui qui utilisent les modèles prescrits à l'exigence E2 pour rendre compte des effets des CGI. Les critères de comportement sont prescrits au tableau 1, PGM à des fins de planification pour les analyses en régime permanent, de la norme TPL-007-4. L'analyse doit considérer au moins une *charge en pointe* et au moins une *charge hors pointe* du réseau (voir l'exigence E8).

## Exigence E9

---

L'étude d'impact thermique supplémentaire sur les transformateurs, prescrite à l'exigence E6, est réalisée à partir de l'information sur les CGI pour la PGM supplémentaire. Cette information sur les CGI est déterminée par l'entité responsable par simulation au moyen du modèle CGI de *réseau*, et doit être transmise à l'entité responsable de la réalisation de l'étude d'impact thermique (voir l'exigence E9). L'information sur les CGI pour l'étude d'impact thermique supplémentaire doit être fournie conformément à l'exigence E9 chaque fois que l'*évaluation de vulnérabilité à la PGM* supplémentaire est effectuée puisque, par définition, l'*évaluation de vulnérabilité aux PGM* comprend une évaluation documentée de la susceptibilité à des dommages localisés à des équipements en cas de PGM.

Des modélisations thermiques ont permis d'établir que la valeur de CGI maximale de 85 A par phase, dans l'*évaluation de vulnérabilité à la PGM* supplémentaire, représente un seuil prudent au-dessous duquel le risque de dépasser les températures limites établies par les organismes techniques est faible.

Cette information sur les CGI est nécessaire pour déterminer l'impact thermique supplémentaire des CGI sur les transformateurs dans la zone de planification et doit être transmise aux entités chargées de réaliser l'étude d'impact thermique afin que celles-ci puissent effectuer l'évaluation avec exactitude (voir l'exigence E9). L'information sur les CGI doit être transmise conformément à l'exigence E9 dans le cadre du processus d'*évaluation de vulnérabilité à la PGM* supplémentaire puisque, par définition, l'*évaluation de vulnérabilité aux PGM* comprend une évaluation documentée de la susceptibilité à des dommages localisés à des équipements en cas de PGM.

La série CGI(t) fournie conformément à l'alinéa 9.2 peut servir à convertir les flux de CGI en régime permanent afin de produire une série temporelle de CGI pour l'étude d'impact thermique supplémentaire sur les transformateurs. Cette information peut être nécessaire pour une ou plusieurs des méthodes d'étude d'impact thermique. On trouvera de plus amples indications dans la publication *Transformer Thermal Impact Assessment White Paper* (octobre 2017) [8].

## Exigence E10

---

L'étude d'impact thermique supplémentaire d'un transformateur de puissance peut être basée sur les courbes de comportement sous CGI fournies par le fabricant, sur une simulation de réponse thermique, sur une sélection selon l'impact thermique ou sur d'autres moyens justifiés techniquement. La justification de ce critère est présentée dans la publication *Screening Criterion for Transformer Thermal Impact Assessment White Paper* (octobre 2017) [10].

L'évaluation thermique des transformateurs sera répétée ou réexaminée d'après les résultats de l'évaluation précédente chaque fois que l'entité responsable effectuera une *évaluation de vulnérabilité aux PGM* et fournira l'information sur les CGI conformément à l'exigence E9.

Des études d'impact thermique pour les transformateurs de puissance dont le côté haute tension présente un enroulement en étoile avec neutre mis à la terre et dont la tension aux bornes est supérieure à 200 kV sont nécessaires parce que l'endommagement de ces types de transformateur peut avoir de l'influence dans une zone étendue sur la fiabilité du *réseau de transport* interconnecté.



## Exigence E11

---

Cette exigence met en œuvre la prescription de l'ordonnance 851 de la FERC qui demande d'élaborer et de soumettre des modifications aux normes de fiabilité TPL-007-2 et TPL-007-3 consistant à exiger des *plans d'actions correctives* pour les vulnérabilités liées à la PGM supplémentaire.

Les considérations techniques concernant la planification des mesures d'atténuation des effets des PGM, y compris les stratégies d'exploitation et d'équipements, sont exposées au chapitre 5 de la publication *Geomagnetic Disturbance Planning Guide* (décembre 2013) [7]. On trouvera d'autres renseignements dans la publication *2012 Special Reliability Assessment Interim Report: Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk-Power System* (février 2012) [9].

## Exigence E12

---

Les données de mesure de PGM comprennent les données de surveillance des CGI et les données de champ géomagnétique des exigences E12 et E13, respectivement. La présente exigence met en œuvre la prescription de l'ordonnance 830 de la FERC en obligeant les entités responsables à obtenir des données de surveillance des CGI permettant de valider les modèles et d'assurer une visibilité situationnelle adéquate (paragraphe 88 et paragraphes 90 à 92).

Des considérations techniques relatives à la surveillance des CGI sont présentées au chapitre 9 de la publication *2012 Special Reliability Assessment Interim Report: Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk-Power System* (février 2012) [9]. La surveillance des CGI se fait généralement au moyen de transducteurs à effet Hall fixés au neutre du transformateur à enroulement en étoile avec neutre mis à la terre et mesurant le courant continu qui circule dans le neutre. Les données des appareils de surveillance des CGI sont utiles pour la validation des modèles et améliorent la visibilité situationnelle.

L'objectif de l'exigence E12 est que les entités obtiennent des données sur les CGI pour la zone du *coordonnateur de la planification* ou une autre partie du *réseau* incluse dans le modèle CGI de *réseau* du *coordonnateur de la planification* afin d'alimenter les *évaluations de vulnérabilité aux PGM*. Des considérations techniques relatives à la surveillance des CGI sont présentées au chapitre 9 de la publication *2012 Special Reliability Assessment Interim Report: Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk-Power System* (février 2012) [9].

## Exigence E13

---

Les données de mesure de PGM comprennent les données de surveillance des CGI et les données de champ géomagnétique des exigences E12 et E13, respectivement. La présente exigence met en œuvre la prescription de l'ordonnance 830 de la FERC en obligeant les entités responsables à obtenir des données de surveillance des CGI suffisantes pour valider les modèles et d'assurer une visibilité situationnelle adéquate (paragraphe 88 et paragraphes 90 à 92).

L'objectif de l'exigence E13 est que les entités obtiennent des données du champ géomagnétique pour la zone du *coordonnateur de la planification* afin d'alimenter les *évaluations de vulnérabilité aux PGM*.

Les magnétomètres produisent des données de champ géomagnétique en mesurant les variations du champ magnétique terrestre. Les sources de données du champ géomagnétique sont notamment :

- les observatoires comme ceux de l'U.S. Geological Survey, de Ressources naturelles Canada, des organismes de recherche ou des centres de recherche universitaires ;
- les magnétomètres déjà installés ; et
- les sources commerciales ou tierces de données du champ géomagnétique.

Les données du champ géomagnétique pour la zone d'un *coordonnateur de la planification* sont obtenues à partir d'une ou de plusieurs des sources de données susmentionnées situées à l'intérieur de la zone du *coordonnateur de la planification*. On peut aussi obtenir des données du champ géomagnétique produites pour la zone du *coordonnateur de la planification* par un organisme gouvernemental ou de recherche, auquel cas il n'est pas exigé que ces données proviennent d'un magnétomètre ou d'un observatoire situé à l'intérieur de la zone du *coordonnateur de la planification*.

## Références

---

1. Ordonnance 779 de la FERC,  
[https://www.nerc.com/FilingsOrders/us/FERCOrdersRules/Order779\\_GMD\\_RM12-22\\_20130516.pdf](https://www.nerc.com/FilingsOrders/us/FERCOrdersRules/Order779_GMD_RM12-22_20130516.pdf)
2. Ordonnance 830 de la FERC,  
<https://www.nerc.com/filingsorders/us/FERCOrdersRules/E-4.pdf>
3. Ordonnance 851 de la FERC,  
[https://www.nerc.com/FilingsOrders/us/FERCOrdersRules/E-3\\_Order%20No%20851.pdf](https://www.nerc.com/FilingsOrders/us/FERCOrdersRules/E-3_Order%20No%20851.pdf)
4. *Benchmark Geomagnetic Disturbance Event Description*, NERC, Atlanta (GA), 12 mai 2016,  
[https://www.nerc.com/pa/Stand/TPL0071RD/Benchmark\\_clean\\_May12\\_complete.pdf](https://www.nerc.com/pa/Stand/TPL0071RD/Benchmark_clean_May12_complete.pdf)
5. *Supplemental Geomagnetic Disturbance Event Description*, NERC, Atlanta (GA), octobre 2017,  
[https://www.nerc.com/pa/Stand/Project201303GeomagneticDisturbanceMitigation/Supplemental\\_GMD\\_Event\\_Description\\_2017\\_October\\_Clean.pdf](https://www.nerc.com/pa/Stand/Project201303GeomagneticDisturbanceMitigation/Supplemental_GMD_Event_Description_2017_October_Clean.pdf)
6. *Application Guide – Computing Geomagnetically-Induced Current in the Bulk-Power System*, NERC, Atlanta (GA), décembre 2013,  
[https://www.nerc.com/comm/PC/Geomagnetic%20Disturbance%20Task%20Force%20GMDTF%202013/GIC%20Application%20Guide%202013\\_approved.pdf](https://www.nerc.com/comm/PC/Geomagnetic%20Disturbance%20Task%20Force%20GMDTF%202013/GIC%20Application%20Guide%202013_approved.pdf)
7. *Geomagnetic Disturbance Planning Guide*, NERC, Atlanta (GA), décembre 2013,  
[https://www.nerc.com/comm/PC/Geomagnetic%20Disturbance%20Task%20Force%20GMDTF%202013/GMD%20Planning%20Guide\\_approved.pdf](https://www.nerc.com/comm/PC/Geomagnetic%20Disturbance%20Task%20Force%20GMDTF%202013/GMD%20Planning%20Guide_approved.pdf)
8. *Transformer Thermal Impact Assessment White Paper*, NERC, Atlanta (GA), octobre 2017,  
[https://www.nerc.com/pa/Stand/Project201303GeomagneticDisturbanceMitigation/Thermal\\_Impact\\_Assessment\\_2017\\_October\\_Clean.pdf](https://www.nerc.com/pa/Stand/Project201303GeomagneticDisturbanceMitigation/Thermal_Impact_Assessment_2017_October_Clean.pdf)
9. *2012 Special Reliability Assessment Interim Report: Effects of Geomagnetic Disturbances on the Bulk Power System*, NERC, Atlanta (GA), février 2012,  
<https://www.nerc.com/pa/RAPA/ra/Reliability%20Assessments%20DL/2012GMD.pdf>
10. *Screening Criterion for Transformer Thermal Impact Assessment White Paper*, NERC, Atlanta (GA), octobre 2017,  
[https://www.nerc.com/pa/Stand/Project201303GeomagneticDisturbanceMitigation/Screening\\_Criterion\\_Clean\\_2017\\_October\\_Clean.pdf](https://www.nerc.com/pa/Stand/Project201303GeomagneticDisturbanceMitigation/Screening_Criterion_Clean_2017_October_Clean.pdf)