

Justification technique

Projet 2020-02 – Modifications à la norme PRC-024 (Maintenance en service des groupes de production)

PRC-029-1 – Exigences de maintien en service en fréquence et en tension des ressources raccordées par onduleur

Justification et description générale du projet

L'équipe de rédaction a élaboré la *norme de fiabilité* PRC-029-1 dans le but de définir les critères de *maintien en service* des *sources d'énergie raccordées au moyen d'un onduleur (SERMO)* lors de perturbations. Cette initiative est motivée par les différences fondamentales qui existent entre les ressources synchrones et les *SERMO* ainsi que par des lacunes importantes observées dans le *maintien en service* des *SERMO* lors de plusieurs événements récents¹. La norme PRC-029-1 proposée s'aligne avec certaines exigences de *maintien en service* définies dans la norme IEEE 2800, *IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Inverter-Based Resources (IBRs) Interconnecting with Associated Transmission Electric Power Systems*, notamment en ce qui concerne le *maintien en service* en fréquence. Elle est également structurée de manière à refléter le texte de l'ordonnance 901 de la FERC, qui précise que « la NERC dispose de la latitude nécessaire pour évaluer, dans le cadre de son processus d'élaboration des normes, la pertinence et la façon de faire référence aux normes IEEE dans les *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées². »

L'absence de normalisation dans le comportement des *SERMO*, combinée au recours de celles-ci à des technologies pilotées par logiciel, a engendré des défis de fiabilité liés à leur raccordement au réseau électrique. En raison de la rapidité de manœuvre inhérente aux dispositifs électroniques de puissance utilisés dans les *SERMO*, de la composante logicielle de celles-ci ainsi que de leur interface électronique avec le réseau de transport, leur comportement de *maintien en service* lors de perturbations est principalement déterminé par la conception des équipements et des systèmes de conduite spécifiques à chaque fabricant. Ces systèmes, bien que programmables, imposent également des limites plus restrictives sur le courant, tant en amplitude qu'en durée. Ainsi, la réponse des *SERMO* aux perturbations du réseau est surveillée étroitement et commandée par la manœuvre rapide de dispositifs électroniques de puissance à commutation rapide pilotés par des logiciels de réglage de la conduite, chacun étant spécifique aux systèmes des différents fabricants. De plus, il est possible d'établir des programmes complexes pour ces logiciels afin qu'ils répondent simultanément à divers objectifs quant au comportement de *maintien en service*. Toutefois, plutôt que de tenter de restreindre la diversité des

1. Rapports d'événement ([nerc.com](https://www.nerc.com)).

2. Paragraphe 195 de l'ordonnance 901 de la FERC, 17 octobre 2023 (https://elibrary.ferc.gov/eLibrary/filelist?accession_number=20231019-3157&optimized=false).

approches possibles de commande, de conduite, de protection et de réglage, il est plus simple et efficace d'imposer des exigences de *maintien en service* à des excursions de fréquence et de tension clairement définies.

La nécessité d'établir des exigences en matière de *maintien en service* aux perturbations pour les *SERMO*, contrairement aux groupes synchrones, s'est accentuée à la suite d'événements récents où certaines *SERMO* n'ont pas respecté les exigences de la norme PRC-024-3 concernant le *maintien en service* lors d'excursions de fréquence et de tension. Ces manquements étaient souvent attribuables à des dispositifs de contrôle et de protection ne répondant qu'indirectement aux excursions de tension et de fréquence du réseau. Au-delà de la simple capacité de *maintien en service*, se pose également la question du comportement des *SERMO* pendant la période de *maintien en service*. La réponse des *SERMO* aux perturbations du réseau peut avoir des effets bénéfiques ou nuisibles, non seulement sur leur propre capacité de *maintien en service*, mais aussi sur la fiabilité globale du réseau. Ces effets dépendent souvent de réglages de conduite ajustables. Il est donc essentiel de définir des attentes claires concernant à la fois le comportement et la capacité de *maintien en service* des *SERMO*.

Une autre raison justifiant la proposition d'une norme distincte pour les *SERMO* tient à leurs contributions à l'inertie et au courant de court-circuit, qui diffèrent notablement de celles des machines synchrones. L'équipe de rédaction estime que les *SERMO* devraient pouvoir rester en mode de *maintien en service* lors d'excursions de tension et de fréquence jusqu'à leur capacité maximale, tout en s'appuyant sur des critères élargis de *maintien en service* aux excursions de tension et de fréquence pour orienter les améliorations à apporter. Ces différences entre machines synchrones et *SERMO* expliquent les écarts observés dans les tableaux et graphiques des fréquences et des tensions figurant dans les normes PRC-024-4 et PRC-029-1.

La norme PRC-029-1 proposée doit être généralement considérée comme une norme encadrant le comportement des *SERMO* lors d'événements, bien qu'elle exige également de démontrer leur capacité de *maintien en service* lors de perturbations à l'aide de modèles dynamiques et de résultats de simulation. La conformité des *SERMO* avec la norme PRC-029-1 est évaluée principalement – mais non exclusivement – en fonction de leur comportement de *maintien en service* observé lors d'événements réels survenant dans le réseau de transport. Une *SERMO* est jugée non conforme à cette norme si une ou plusieurs exigences n'ont pas été respectées lors d'un événement réel. Cette intention est reflétée par la désignation « évaluation des activités d'exploitation » pour caractériser l'horizon dans les exigences E1 à E3.

Prescriptions de l'ordonnance 901 de la FERC

La norme PRC-029-1 est proposée en réponse aux prescriptions de l'ordonnance 901 de la FERC qui ont été adressées à l'équipe de rédaction du projet 2020-02. Ainsi, l'équipe a été chargée d'intégrer les paragraphes de prescriptions suivants dans ce projet de normes :

- Paragraphe 190 : « Conformément à l'article 215(d)(5) de la *Federal Power Act*, nous adoptons la proposition réglementaire (NOPR) et demandons à la NERC de rédiger de nouvelles *normes de*

fiabilité, ou de modifier des *normes de fiabilité* existantes, de manière à exiger des propriétaires et des exploitants d'installations de production détenant des *SERMO* inscrites qu'ils utilisent des réglages appropriés (dans les onduleurs, les systèmes de conduite et les mécanismes de protection) qui assurent un *maintien en service* aux perturbations en fréquence et en tension du réseau et qui ne permettent le déclenchement des *SERMO* que pour protéger l'équipement de celles-ci dans des situations analogues à celles où les ressources de production synchrones utilisent le déclenchement comme protection contre les défauts internes. »

- Paragraphe 190 : « Les *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées doivent exiger que les *SERMO* inscrites continuent d'injecter un courant et de maintenir la fréquence pendant toute perturbation du *système électrique interconnecté (BPS)*. »
- Paragraphe 190 : « Les *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées doivent également obliger les propriétaires et exploitants d'installations de production détenant des *SERMO* inscrites à interdire tout arrêt momentané de la production dans la zone de *maintien en service* obligatoire lors de perturbations. »
- Paragraphe 190 : « La NERC doit soumettre des *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées qui définissent les critères de comportement des *SERMO*, notamment en ce qui concerne le *maintien en service* en fréquence et en tension, les taux de rampe après une perturbation, la synchronisation de la boucle de verrouillage de phase ainsi que d'autres causes connues de déclenchement des *SERMO* ou d'arrêt momentané de leur production. »
- Paragraphe 193 : « Nous demandons, par conséquent, à la NERC d'évaluer, dans le cadre de son processus d'élaboration de normes, si les *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées devraient inclure une exemption limitée et documentée pour certaines *SERMO* inscrites à l'égard des critères de comportement de *maintien en service* en tension. »
- Paragraphe 193 : « Nous demandons également à la NERC de s'assurer qu'une telle exemption n'est applicable qu'à l'équipement existant ne pouvant satisfaire aux critères de comportement de *maintien en service* en tension. Lorsque cet équipement est remplacé, l'exemption devrait être levée, et le nouvel équipement devrait être conforme aux exigences de comportement applicables aux *SERMO* énoncées dans les *normes de fiabilité*, notamment en ce qui concerne le maintien en service aux excursions de fréquence et de tension, la synchronisation de la boucle de verrouillage de phase et les taux de rampe. »
- Paragraphe 193 : « Enfin, nous demandons à la NERC, dans le cadre de son processus d'élaboration de normes, d'exiger que la liste limitée et documentée des exemptions (c'est-à-dire les exemptions applicables aux propriétaires et exploitants d'installations de production détenant des *SERMO*) soit communiquée aux planificateurs et exploitants concernés du *BPS* (p. ex., le coordonnateur de la planification, le planificateur de réseau de transport, le coordonnateur de la fiabilité, l'exploitant de réseau de transport et le responsable de

l'équilibrage du propriétaire ou de l'exploitant d'installation de production détenant des *SERMO*). »

- Paragraphe 199 : « Conformément à l'article 215(d)(5) de la *Federal Power Act*, nous apportons des modifications à la proposition réglementaire (NOPR). Dans la mesure où la NERC juge appropriée une exemption limitée et documentée pour les *SERMO* inscrites actuellement en service et ne pouvant satisfaire aux exigences de *maintien en service* en tension – en raison de leur incapacité à modifier les réglages coordonnés des dispositifs de protection et de contrôle –, nous lui demandons de rédiger de nouvelles *normes de fiabilité* ou de modifier des *normes de fiabilité* existantes pour atténuer les impacts de cette exemption sur la fiabilité du *BPS*. »
- Paragraphe 208 : « Conformément à l'article 215(d)(5) de la *Federal Power Act*, nous adoptons la proposition réglementaire (NOPR) et demandons à la NERC d'élaborer et de soumettre à la FERC, pour approbation, des *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées qui exigent que les taux de rampe après perturbation des *SERMO* inscrites ne soient ni restreints ni programmés de manière à compromettre artificiellement le rétablissement rapide et stable de leur niveau de production antérieur à la perturbation survenue dans le *BPS*. »
- Paragraphe 209 : « Les *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées qui sont proposées doivent exiger que les *SERMO* inscrites demeurent en mode de maintien en service en cas de perte momentanée de synchronisme pendant une perturbation du *BPS* et qu'elles continuent d'injecter un courant dans celui-ci aux niveaux d'avant la perturbation, conformément aux recommandations formulées dans les publications intitulées *IBR Interconnection Requirements Guideline* et *Canyon 2 Fire Event Report*. »
- Paragraphe 209 : « En lien avec les commentaires formulés par l'American Clean Power Association et la Solar Energy Industries Association qui recommandent de revoir la prescription selon laquelle les groupes de production doivent assurer le synchronisme dans la mesure du possible et continuer d'injecter un courant pour maintenir la stabilité du réseau, nous demandons à la NERC d'évaluer, dans le cadre de son processus d'élaboration de normes, si certaines conditions pourraient limiter la capacité des groupes à maintenir le synchronisme. »
- Paragraphe 209 : « Nous demandons à la NERC de soumettre à la FERC, pour approbation, des *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées qui exigeraient que les *SERMO* inscrites restent en mode de maintien en service dans toutes les situations non prises en compte par les *normes de fiabilité* nouvelles ou modifiées proposées qui traitent du maintien en service en fréquence ou en tension, y compris la perte de synchronisme de la boucle de verrouillage de phase. »
- Paragraphe 226 : « Nous estimons également nécessaire que l'ensemble des *normes de fiabilité* demandées entrent en vigueur et deviennent applicables bien avant 2030, et nous demandons à la NERC de veiller à ce que les plans de mise en œuvre associés prévoient des dates d'entrée en vigueur et d'applicabilité échelonnées de manière à permettre à l'industrie de procéder à une

transition ordonnée afin de se conformer, avant cette échéance, aux prescriptions relatives aux *SERMO* énoncées dans la présente décision finale. » (S'applique à différents projets.)

Justification de la section Applicabilité (section 4.0)

Entités fonctionnelles (section 4.1)

L'entité fonctionnelle responsable d'assurer un comportement de *maintien en service* acceptable des *SERMO* est le *propriétaire d'installation de production*.

Installations (section 4.2)

Les *installations* visées correspondent uniquement aux *SERMO* qui remplissent également les critères d'inscription de la NERC. Le texte de la norme PRC-029-1 ne s'applique qu'aux *SERMO* considérées comme une centrale ou une installation complète. Conformément à l'ordonnance 901 de la FERC, le comportement des *SERMO* est évalué à l'échelle de la centrale *SERMO*, en fonction des exigences relatives à l'équipement de surveillance des perturbations définies dans la norme PRC-028-1 proposée. Les exigences de la norme PRC-029-1 ne s'appliquent pas aux onduleurs pris individuellement ni aux mesures prises aux bornes de ceux-ci.

Justification de l'exigence E1

L'objectif de l'exigence E1 est de s'assurer que toutes les *SERMO* visées restent en mode de *maintien en service* lors de perturbations de la tension du réseau, conformément à la zone de *maintien en service* obligatoire et aux plages de fonctionnement définies à l'annexe 1. Les *SERMO* doivent respecter les exigences de *maintien en service*, demeurer électriquement connectées au réseau (ne pas se déclencher) et continuer à échanger un courant (ne pas cesser momentanément de fonctionner).

L'équipe de rédaction a déterminé que les définitions de « zone de *maintien en service* obligatoire » et de « plage de fonctionnement » doivent être cohérentes avec celles de la norme IEEE 2800-2022. Elle a également conclu que les seuils de tension de chaque plage de fonctionnement indiqués dans la norme PRC-029-1 doivent être établis à partir de mesures prises du côté haute tension du transformateur de puissance principal (MPT), conformément à la norme IEEE 2800-2022.

Les systèmes de stockage d'énergie par batterie (SSEB) doivent également se conformer à l'exigence E1 dans tous leurs modes de fonctionnement, qu'ils soient en mode de charge, de décharge ou de veille (c'est-à-dire sous tension, sans être en mode de charge ou de décharge). Un SSEB en mode de veille doit être capable de réagir aux excursions de tension et de fréquence du réseau, tout comme il le ferait en mode de charge ou de décharge.

Des exceptions aux critères de *maintien en service* de l'annexe 1 sont permises dans les cas suivants : 1) la *SERMO* doit se déclencher pour qu'un défaut soit éliminé ; 2) la tension du côté haute tension du MPT a dépassé les limitations de matériel acceptées et documentées, définies à l'exigence E4 ; 3) le changement instantané de l'angle de phase de la tension de composante directe dépasse 25 degrés du côté haute tension du MPT et est provoqué par une manœuvre non causée par un défaut sur le réseau

de transport ; ou 4) la valeur volts/hertz (V/Hz) du côté haute tension du MPT dépasse 1,1 par unité (p.u.) pendant plus de 45 secondes ou 1,18 p.u. pendant plus de 2 secondes.

Lorsqu'une perturbation comme un défaut rapproché ou une manœuvre d'ampleur relativement importante survient, la tension du réseau peut subir un déphasage ($\Delta\theta$) rapide. Dans de tels cas, celui-ci peut être suffisamment élevé pour nuire à la capacité de la boucle de verrouillage à suivre la tension aux bornes, pour provoquer une instabilité de la régulation dans l'onduleur – par exemple dans la boucle de régulation du courant interne ou celle de la liaison CC –, et même pour entraîner le déclenchement de l'onduleur en raison d'un défaut de fonctionnement du système de régulation.

Comme les sauts d'angle de phase sont des phénomènes courants sur le *BPS*, la présente norme exige que les *SERMO* soient conçues et exploitées de manière à rester en mode de *maintien en service* lors d'un saut d'angle de phase minimal de 25 degrés. Cette valeur, considérée comme typique, est conforme à la norme IEEE 2800-2022.

Certains équipements de *SERMO* sont dotés d'une protection contre la perte de synchronisme de la boucle de verrouillage de phase ; cette fonction de protection s'active lorsque le déphasage $\Delta\theta$ dépasse un seuil donné pendant une durée prédéterminée (de l'ordre de quelques millisecondes). À noter que cette fonction est déjà utilisée par certains fabricants d'onduleurs, en particulier pour les onduleurs raccordés à des réseaux de distribution. Dans le cas des *SERMO* raccordées au *BPS*, cette fonction devrait être désactivée. Autrement, les réglages de protection contre les sauts d'angle de phase doivent être configurés de manière à ce que la *SERMO* ne se déconnecte qu'en cas de risque de dommage à l'équipement.

Justification de l'exigence E2

En plus de présenter la capacité minimale de *maintien en service* en tension prescrite à l'exigence E1, toutes les *SERMO* visées doivent respecter certains critères de comportement de *maintien en service* en tension lors de perturbations du réseau. Ces critères varient selon la plage de fonctionnement dans laquelle se situe la *SERMO* ou lors du passage de celle-ci d'une plage à l'autre. L'exigence E2 précise ces critères afin d'assurer un comportement cohérent des *SERMO* dans chacune des plages de fonctionnement définies à l'annexe 1 ainsi que lors des transitions entre celles-ci.

Justification de l'alinéa 2.1 de l'exigence E2

L'alinéa 2.1 de l'exigence E2 vise à assurer que, lorsque la tension du côté haute tension du MPT se rétablit dans la plage de fonctionnement continu depuis la plage de fonctionnement obligatoire ou permissif, la *SERMO* fournit la *puissance active* au niveau d'avant la perturbation ou de sa *puissance active* disponible, la plus faible des deux valeurs étant retenue. La « *puissance active* disponible » désigne la *puissance active* produite par une installation et qui tient compte de facteurs tels que les variations dans les conditions météorologiques, les fluctuations du vent ou les variations de l'insolation. Elle n'inclut toutefois pas les variations résultant d'un déclenchement, total ou partiel, de la *SERMO*. À cette fin, la *SERMO* doit sortir du « mode de *maintien en service* en surtension » ou du « mode de *maintien en*

service en sous-tension », de manière à éviter toute réduction de la *puissance active* lorsque la tension du côté haute tension du MPT se rétablit dans la plage de fonctionnement continu.

Plus précisément, lorsque la tension du côté haute tension du MPT se situe entre 0,90 et 0,95 p.u., la *SERMO* est censée quitter le mode de *maintien en service* en sous-tension pour revenir au « mode de fonctionnement normal ». Si une *SERMO* a une limite de courant total par défaut de 1,0 p.u., sa production de puissance apparente sera limitée à une valeur inférieure à 1,0 p.u. (p. ex., la tension aux bornes de la *SERMO* exprimée en p.u.). Dans un tel cas, un réglage par défaut doit être défini pour la *SERMO*, soit pour maintenir la *puissance active* d'avant la perturbation, soit pour maximiser la *puissance réactive* afin de favoriser le rétablissement de la tension, ou conformément aux exigences du *planificateur de réseau de transport*, du *coordonnateur de la planification*, du *coordonnateur de la fiabilité* ou de l'*exploitant de réseau de transport*.

Justification de l'alinéa 2.2 de l'exigence E2

L'alinéa 2.2 de l'exigence E2 vise à assurer que, tant que la tension du côté haute tension du MPT se maintient dans la plage de fonctionnement obligatoire, la *SERMO* injecte ou absorbe un courant réactif proportionnel à l'ampleur des écarts de tension mesurés à ses bornes. La *SERMO* doit respecter l'ampleur de la réponse en *puissance réactive* aux variations de tension indiquée par le *planificateur de réseau de transport*, le *coordonnateur de la planification*, le *coordonnateur de la fiabilité* ou l'*exploitant de réseau de transport*, s'il y a lieu.

La priorité doit être donnée, par défaut, au courant réactif, sauf si l'une ou l'autre de ces entités exige qu'elle soit donnée à la *puissance active*.

Justification de l'alinéa 2.3 de l'exigence E2

L'alinéa 2.3 de l'exigence E2 vise à assurer que, tant que la tension du côté haute tension du MPT se maintient dans la plage de fonctionnement permissif, la *SERMO* doit continuer de fonctionner en mode de *maintien en service*, bien qu'elle soit momentanément autorisée à passer en mode de blocage de courant si cela est nécessaire pour empêcher un déclenchement. L'équipe de rédaction a tenu compte des capacités de fonctionnement physiques des dispositifs électroniques de puissance dans de telles conditions de basse tension. Toutefois, la *SERMO* doit reprendre l'échange de courant dans un délai inférieur ou égal à cinq cycles après le retour de la tension de composante directe dans la plage de fonctionnement continu ou la plage de fonctionnement obligatoire. Si l'entité raccordée impose des critères de comportement plus stricts que la norme, le *propriétaire d'installation de production* doit s'y conformer.

Justification de l'alinéa 2.4 de l'exigence E2

L'alinéa 2.4 de l'exigence E2 vise à assurer qu'après l'élimination d'un défaut sur le réseau de transport, les régulateurs de tension des *SERMO* raccordées ajustent l'injection de courant réactif de manière à rétablir la tension du réseau de transport à sa valeur d'avant la perturbation, définie par le point de consigne du régulateur automatique de tension. L'équipe de rédaction reconnaît que le réglage de celui-ci doit correspondre à un juste équilibre entre plusieurs facteurs physiques concurrents, comme le temps

de montée, le dépassement du point de consigne et la stabilité transitoire. Il est toutefois prévu que la conduite des *SERMO* soit configurée de façon à permettre un rétablissement stable de la tension après une perturbation, sans provoquer de dépassement excessif vers le haut ou vers le bas du point de consigne. Le cas échéant, ce dépassement ne doit pas excéder les valeurs de tension et les durées indiquées dans le tableau pertinent de l'annexe 1. De plus, la norme prévoit que le réglage de conduite visant à prévenir ces surtensions ou sous-tensions privilégiera la rapidité de réponse du régulateur aux changements du point de consigne, plutôt que l'ampleur de la réponse en courant réactif. Par exemple, une réduction du facteur K pour prévenir les surtensions ou les sous-tensions ne devrait être envisagée qu'en dernier recours.

Justification de l'alinéa 2.5 de l'exigence E2

L'alinéa 2.5 de l'exigence E2 vise à assurer que la *SERMO* rétablit sa production au niveau d'avant la perturbation, sauf indication particulière du *planificateur de réseau de transport*, du *coordonnateur de la planification*, du *coordonnateur de la fiabilité* ou de l'*exploitant de réseau de transport*.

Justification de l'exigence E3

L'exigence E3 vise à assurer que, lors d'excursions de fréquence, les *SERMO* respectent les exigences de *maintien en service* (fréquences et durées) énoncées à l'annexe 2.

La fréquence du réseau reflète l'équilibre entre la production et la charge du réseau. Tout événement perturbant cet équilibre entraîne un écart de la fréquence du réseau par rapport à sa valeur nominale. Le réseau peut ainsi connaître un événement de surfréquence (lorsque la production dépasse la charge) ou de sous-fréquence (lorsque la charge dépasse la production). L'inertie du réseau s'oppose à ces écarts par rapport à la fréquence nominale, donnant aux exploitants un délai supplémentaire pour rétablir l'équilibre entre la production et la charge. Étant donné la composition actuelle du bouquet énergétique, l'inertie dépend principalement de la masse des composants tournants des équipements raccordés au réseau (c'est-à-dire les groupes de production synchrones et les moteurs synchrones). Plus l'inertie du réseau est élevée, plus la fréquence s'écartera lentement de sa valeur nominale et plus le taux de variation de la fréquence (RoCoF) est faible, ce qui prolonge le temps disponible pour corriger le déséquilibre.

Une réduction de l'inertie du réseau est une conséquence inévitable de la transition vers un réseau où la proportion des *SERMO* augmente par rapport aux groupes synchrones. Toutefois, l'utilisation de fonctions de commande propres aux *SERMO* – comme les modes de commande avancés et les technologies de fonctionnement autonome (en anglais, *grid forming*) – peut offrir des gains supplémentaires en matière de stabilité, contribuant ainsi à compenser cette perte d'inertie. Comme mentionné dans le paragraphe précédent, plus l'inertie du réseau est faible, plus la fréquence s'écartera rapidement de sa valeur nominale en cas de déséquilibre entre la production et la charge, exposant ainsi le réseau à un RoCoF plus élevé. Il peut donc être nécessaire d'exiger que les *SERMO* présentent une capacité de *maintien en service* à des excursions de fréquence plus importantes afin d'éviter les risques de déclenchements généralisés.

Lorsqu'on envisage d'accroître la capacité de *maintien en service*, il est important de concilier cet objectif avec la faisabilité de construire et d'installer des équipements capables de satisfaire aux nouveaux critères proposés. Si cet aspect n'est pas pris en compte de manière adéquate, des problèmes d'adéquation des ressources pourraient surgir si l'élargissement des critères de *maintien en service* mène à une non-conformité généralisée des *SERMO* existantes en raison de leurs limitations matérielles. Par ailleurs, dans le cas des *SERMO* nouvellement raccordées, l'élargissement de ces critères entraînera souvent d'importantes modifications à la conception qui ont des répercussions sur les délais de construction et les coûts. Si les critères de *maintien en service* proposés sont trop contraignants et nécessitent des modifications de conception coûteuses, les coûts qui en découlent pourraient freiner la pénétration des *SERMO* dans le *BPS*.

Pour les raisons exposées ci-dessus, il est impératif que les nouveaux critères de *maintien en service* soient raisonnables, tant du point de vue de la fiabilité du *BPS* que de l'équipement des *SERMO*. Après avoir analysé de nombreux événements majeurs, notamment les tempêtes hivernales Uri et Elliot, la NERC a constaté qu'aucune *SERMO* ne s'était mise hors réseau à la suite d'un déclenchement en réponse aux seuils de fréquence atteints (autrement dit, la fréquence du réseau n'a jamais dépassé les limites de fréquence des équipements au point de provoquer un déclenchement). De plus, tous les déclenchements liés à la fréquence qui ont été observés étaient attribuables à une mauvaise configuration des paramètres ou à l'utilisation de mesures instantanées dans les automatismes de protection. En outre, les excursions de fréquence survenues lors des événements mentionnés ci-dessus n'ont pas dépassé les seuils indiqués dans la norme PRC-024. Il convient toutefois de souligner que la tempête Uri a provoqué une excursion de fréquence ayant frôlé, voire atteint, ces seuils.

En l'absence d'« événements de référence » permettant d'orienter l'élargissement des critères, il est recommandé que des études soient menées pour évaluer les besoins futurs du *BPS*. Ces études devront s'appuyer sur une liste détaillée de scénarios comprenant différents niveaux de pénétration des *SERMO* et différentes charges, et dépendront de la capacité à modéliser avec précision les technologies *SERMO* actuelles et futures, y compris pour le fonctionnement en mode autonome. La NERC a émis deux alertes de niveau 2 en lien avec les *SERMO*, l'une concernant leur comportement et l'autre, leur modélisation. Ces alertes visent à recueillir des données relatives aux *SERMO* ainsi qu'à fournir des recommandations pour atténuer les lacunes systémiques constatées dans leur modélisation et leur comportement. Compte tenu de ces lacunes et de l'absence d'études détaillées récentes à l'échelle du réseau, les données probantes issues d'études actuellement disponibles ne sont pas suffisantes pour justifier un élargissement généralisé des critères de *maintien en service*.

Il est néanmoins évident que le comportement du *BPS* lors de perturbations évoluera à mesure que s'accroîtra la pénétration des *IBR* dans le réseau. Cette évolution peut être anticipée grâce à des études détaillées. Toutefois, une approche progressive à l'élargissement des critères de *maintien en service* permettra d'ajouter une marge de stabilité supplémentaire, le temps de corriger les lacunes dans la modélisation et de réaliser des études détaillées.

Les durées et les seuils de *maintien en service* aux excursions de fréquence définis dans la norme IEEE 2800-2022 sont plus exigeants (plus étendus) que ceux actuellement définis dans la norme PRC-024-3 et présentent des plages de fonctionnement continu qui dépassent les excursions de fréquence observées lors de perturbations majeures du *BPS*. Les commentaires détaillés reçus des fabricants d'équipement d'origine indiquent qu'ils conçoivent déjà des équipements de *SERMO* conformes aux critères de la norme IEEE 2800-2022. C'est pourquoi les critères de *maintien en service* aux excursions de fréquence énoncés dans la norme PRC-029 ont été harmonisés avec ceux de la norme IEEE 2800-2022, ce qui représente un élargissement par rapport aux critères de la norme PRC-024, tout en limitant les répercussions sur les coûts et les délais, puisque les fabricants conçoivent déjà des équipements conformes.

L'exigence E3 ne prévoit pas de réglages spécifiques pour la protection de l'équipement de *SERMO* contre les excursions de fréquence. De tels réglages devraient uniquement viser à protéger les *SERMO* contre les dommages résultant d'un fonctionnement à une fréquence hors de sa plage nominale. Il incombe au propriétaire de *SERMO* de s'assurer que cette protection n'empêche pas celle-ci de satisfaire aux critères de *maintien en service* de l'exigence E3.

La présente norme exige que les *SERMO* demeurent électriquement raccordées et continuent d'échanger un courant pendant un événement d'excursion de fréquence, tant que la fréquence demeure dans la zone de *maintien en service* obligatoire définie à l'annexe 2 et que la valeur absolue du RoCoF est inférieure ou égale à 5 Hz/s. Certains régulateurs de *SERMO* – en particulier l'équipement auxiliaire essentiel au fonctionnement des *SERMO* – ainsi que leur capacité à rester raccordés au réseau et à échanger un courant sont sensibles au RoCoF durant une excursion de fréquence. Ainsi, l'exigence E3 autorise la *SERMO* à se déclencher si le RoCoF absolu dépasse 5 Hz/s dans la zone de *maintien en service* obligatoire définie à l'annexe 2 et que ce déclenchement est nécessaire pour éviter une instabilité de la *SERMO* ou des dommages à l'équipement. Une incapacité à demeurer en mode de *maintien en service* en raison d'un RoCoF dépassant 5 Hz/s n'est acceptable que dans le cas d'un événement de déséquilibre entre la production et la charge qui provoque un écart de la fréquence par rapport à sa valeur nominale.

Afin de réduire les risques de déclenchements erronés de la *SERMO* liés au RoCoF défini, on doit calculer celui-ci comme un taux moyen de variation basé sur plusieurs fréquences du réseau calculées pendant une période d'au moins 0,1 seconde. Le calcul du RoCoF ne s'applique pas durant la période comprise entre la survenue et l'élimination d'un défaut – c'est-à-dire que la protection ne doit pas entraîner de déclenchement en réponse à un RoCoF perçu pendant la perturbation elle-même et la phase de rétablissement – et doit être désactivé pendant le défaut, y compris à sa survenue, pendant qu'il est présent et à son élimination. La *SERMO* doit se maintenir en mode de *maintien en service* lors de toute perturbation de réseau pendant laquelle la tension du côté haute tension du MPT reste dans la zone de *maintien en service* obligatoire définie à la figure 1 de l'annexe 2. La mesure du RoCoF doit commencer après l'élimination du défaut et ne s'appliquer qu'aux perturbations causées par un déséquilibre entre la production et la charge, telles qu'une séparation du réseau, une condition d'îlotage, ou la perte d'une charge ou d'un groupe de production important.

Justification de l'exigence E4

L'objectif de l'exigence E4 est de faire en sorte qu'il soit possible, pour les *SERMO* existantes (c'est-à-dire les *SERMO* en place à la date d'entrée en vigueur de la norme PRC-029-1), d'obtenir une exemption aux exigences de *maintien en service* aux excursions de tension et de fréquence si leur conformité avec les exigences E1 à E3 nécessiterait des remplacements de matériel ou d'autres mises à niveau coûteuses. Cette disposition autorise de telles exemptions, à condition que ces limitations soient documentées et communiquées au *coordonnateur de la planification*, au *planificateur de réseau de transport*, au *coordonnateur de la fiabilité* et à l'*exploitant de réseau de transport* des zones géographiques où se situe le projet de *SERMO*. Ces entités doivent ensuite prendre en compte les limitations de *maintien en service* en tension dans leurs activités de planification et d'exploitation.

Ces limitations ne doivent pas être interprétées comme des exemptions complètes aux tableaux applicables. Elles doivent spécifiquement indiquer la ou les plages de tension ou de fréquence concernées ainsi que les durées associées qui ne peuvent pas être respectées ou encore le nombre cumulatif d'excursions de tension sur une période de 10 secondes que l'équipement peut tolérer, si ce nombre est inférieur à quatre. La description des limitations doit clairement indiquer l'équipement concerné ainsi que la ou les caractéristiques de cet équipement qui empêchent le *maintien en service*. En cas de suppression ou de correction d'une limitation d'équipement, il est impératif d'en informer le *coordonnateur de la planification*, le *planificateur de réseau de transport*, le *coordonnateur de la fiabilité* et l'*exploitant de réseau de transport*.