



DIRECTIVES POUR L'INTÉGRATION DE LA PRODUCTION OU LA RÉGÉNÉRATION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE AUX RÉSEAUX ÉLECTRIQUES EN AFRIQUE



GUIDE D'AFSEC 13: 2026
Première Edition

AFSEC – 50013-04-01

Remerciements

L'élaboration du présent guide a été soutenue par l'Institut National de Métrologie d'Allemagne « Physikalisch-Technische Bundesanstalt » (PTB).

L'AFSEC tient également à souligner l'appui de la Commission Électrotechnique Internationale (IEC) en mettant à disposition les normes de référence, ainsi que la participation de Leon Drotsche (Expert de PTB) et des membres des groupes de travail conjoints de l'AFSECTC08, l'AFSECTC64 et l'AFSECTC82.

Le chef de projet, Alphonse Voegborlo, avec le soutien d'Eldad Appiah.

Équipe de rédaction finale :

- Alphonse Voegborlo
- Comfort Masike
- Tom Simiyu
- Olivier Mukeshimana
- Cyrus Khwa Khalusi
- Pitso Sekhoto
- Patrick Nzabamwita
- Eldad Appiah
- Kareman Fathy



DIRECTIVES POUR
**L'INTÉGRATION DE LA PRODUCTION OU LA
RÉGÉNÉRATION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE
AUX RÉSEAUX ÉLECTRIQUES EN AFRIQUE**

Table des matières

Remerciements	2
Table des matières	4
Avant-Propos de l'AFSEC	6
Introduction	7
1 Champ d'application	8
2 Normes de référence	9
3 Termes et définitions	12
4 Exigences de raccordement au réseau	14
4.1 Propriété des installations d'énergie renouvelable	14
4.2 Tolérance de tension et de fréquence	14
4.3 Exigences en matière de qualité d'alimentation	16
4.4 Compatibilité CEM	19
4.5 Études requises pour l'intégration de l'énergie renouvelable	20
4.6 Exigences techniques générales pour les composants	22
5 Planification des systèmes pour l'intégration des énergies renouvelables	24
5.1 Évaluation de l'impact d'une forte pénétration des énergies renouvelables - Évaluation de la capacité du réseau	24
5.2 Exigences relatives à la planification du réseau	24
5.3 Coordination avec les opérateurs de transport et de distribution	24
5.4 Planification et prévision à long terme	24
6 Transfert d'énergie renouvelable	26
6.1 Directives pour la participation aux accords de transfert.....	26
7 Suivi des performances et conformité	27
7.1 Normes de collecte et de communication de données	27
7.2 Métriques d'évaluation de la performance et de la stabilité du système y	28
8 Protection, automatisation et contrôle	30
8.1 Contrôle et communication	30
8.2 Philosophie de protectionProtection	31

8.3	Code du réseau et conformité aux normes	31
8.4	Vérification de la conformité	31
9	Exigences pour la sécurité d’exploitation des installations	34
9.1	Systèmes de sécurité pour les centrales d’énergie renouvelable	34
9.2	Normes de sécurité pour les opérateurs et l’équipement	35
10	Essais et mise en service	36
10.1	Centrale PV	36
10.2	Centrale éolienne	37
10.3	Centrale hydroélectrique	38
10.4	Installation de BESS	39
11	Exigences d’exploitation et de maintenance	42
11.1	Services auxiliaires	42
11.2	Contrôle de la puissance active	42
11.3	Contrôle de la puissance réactive et de la tension	42
11.4	Mécanismes de réglage et de réponse en fréquence	43
11.5	Capacités de tenue en cas de défaut.....	44
11.6	Mise à la terre du neutre	44
11.7	Maintenance de réseaux d’énergie renouvelable	45
11.8	Coordination entre les opérateurs de réseau et les fournisseurs des centrales d’énergie renouvelable	45
12	Micro-réseaux	46
13	Annexes.....	48
13.1	Annexe A - Liste des autres normes utiles	48
13.2	Annexe B - Bibliographie	49
13.3	Annexe C – Objectifs stratégiques de l’AFSEC	49
13.4	Annexe D – Guides techniques publiés par l’AFSEC	50

Avant-Propos de l'AFSEC



La Commission Électrotechnique Africaine de Normalisation (AFSEC) a été créée par l'Association des Sociétés d'Électricité d'Afrique (ASEA) en tant qu'organe subsidiaire de la Commission Africaine de l'Énergie (AFREC), sous les auspices de l'Union Africaine, afin de fournir un cadre de collaboration aux parties prenantes des États membres africains par l'intermédiaire de leurs comités électrotechniques nationaux. Le principal mandat de l'AFSEC est d'harmoniser/élaborer des normes électrotechniques et des exigences associées en matière d'évaluation de la conformité, notamment l'évaluation de la conformité aux normes, dans le but d'améliorer l'accès à l'électricité et, par conséquent, le bien-être des populations africaines.

La Commission électrotechnique africaine de normalisation (AFSEC) est organisée autour d'un Conseil composé de membres statutaires représentant les comités électrotechniques nationaux des pays africains, d'un Comité de gestion, d'un Secrétariat exécutif, d'un Comité de gestion des normes, d'un Comité d'évaluation de la conformité et des comités techniques.

Les objectifs stratégiques de l'AFSEC (2025-2029) ont été approuvés lors de la 9^{ème} Assemblée générale tenue à Kigali, Rwanda, en septembre 2024, voir l'annexe C pour plus de détails.

L'AFSEC coopère avec différentes institutions internationales/régionales, à savoir ASEA, ARSO, IEC, IEEE, CENELEC, SAC, via des mémorandums d'accord/accords signés ou des comités techniques conjoints, afin d'harmoniser les normes régionales pour le continent africain.

Les accords avec les organismes de normalisation (IEC ou IEEE) permettent à l'AFSEC d'adopter les normes examinées en tant que normes régionales africaines. L'AFSEC, en tant qu'institution membre de l'Infrastructure Panafricaine de Qualité (PAQI), a participé à l'élaboration de la Politique qualité africaine approuvée par la Commission de l'Union Africaine (CUA) en 2023, ainsi qu'à la mise en œuvre des normes relatives aux machines de transformation du manioc en Afrique.

L'AFSEC est mentionnée à l'annexe 6 du Protocole relatif au commerce des marchandises de l'Accord portant création de la zone de libre-échange continentale africaine (ZLECAf), pour ses normes destinées à être adoptées par les pays africains.

Introduction

L'intégration des énergies renouvelables aux réseaux électriques d'Afrique présente à la fois des opportunités et des défis, notamment en ce qui concerne la gestion de la variabilité et de l'incertitude inhérentes à des sources d'énergie comme l'éolien et le solaire. Pour relever ces défis, la Commission Électrotechnique Africaine de Normalisation (AFSEC) a initié l'élaboration des directives harmonisées sur l'interconnexion. Les présentes directives, dirigées par un Groupe de Travail Conjoint (GTC) composé de membres des comités techniques TC 8, TC 82 et TC 64 de l'AFSEC, visent à soutenir l'intégration fiable des systèmes d'énergies renouvelables à travers le continent en s'alignant sur les codes de réseaux nationaux et les normes internationales.

Avec le développement des énergies renouvelables, le réseau électrique est en pleine transformation. Pour s'assurer que le réseau électrique est prêt à répondre au développement rapide des technologies d'énergie propre, une intégration avancée est nécessaire incluant la modernisation du réseau et des visions pour les conceptions futures.

L'intégration des énergies renouvelables au réseau électrique s'agit de réimaginer l'exploitation et la planification d'un système électrique fiable, rentable et efficace grâce à des générateurs de nouvelles énergies plus propres. Cela inclut le lieu d'emplacement du réseau, l'optimisation de ses performances et son utilisation pour fournir l'énergie nécessaire à un avenir sans carbone. Cela signifie fournir aux opérateurs de réseau la conscience situationnelle et les capacités de contrôle dont ils ont besoin pour planifier et gérer un mix de ressources énergétiques en évolution rapide. La voie à suivre consiste à évaluer les demandes à long terme et à évaluer les voies pour une performance efficace. Par exemple, la projection des tendances atmosphériques peut aider à orienter et à maximiser l'emplacement des centrales solaires ou éoliennes. Cela inclut également l'évaluation, la planification et l'optimisation de la conception future du marché de l'énergie à l'aide de modélisations et de simulations avancées afin de comprendre les liens opérationnels avec la disponibilité des énergies renouvelables, la performance des générateurs, la fiabilité du réseau et la distribution d'électricité aux consommateurs.

L'intégration des énergies renouvelables au réseau inclut le renforcement de la résilience face aux menaces telles que les catastrophes naturelles et les cybermenaces. Cela implique également de surmonter des défis, tels que l'indisponibilité instantanée ou saisonnière des ressources renouvelables. En développant des solutions et des mesures d'atténuation pour les systèmes de technologies informatiques et opérationnels, nous pouvons nous préparer à un avenir énergétique plus propre, plus vert et plus résilient. Le présent guide décrit les critères qu'une installation d'énergie renouvelable doit respecter pour que l'opérateur du réseau électrique approuve un raccordement sûr au réseau électrique, garantissant ainsi le respect de toutes les exigences de qualité d'approvisionnement et l'intégrité du réseau.

Comme l'accès à l'électricité en Afrique est très difficile, les entreprises de services publics privilégient les solutions de mini/micro-réseaux. Le présent guide aborde également cette solution en tant que source indépendante fournissant l'électricité aux clients et cette source doit respecter les normes associées du réseau électrique, afin d'assurer un système électrique sûr, sécurisé, durable et de qualité.

La structure du guide est basée sur les points communs identifiés dans les codes de réseau des pays membres de l'AFSEC – voir l'Annexe B.

Le présent guide ne remplace pas les codes de réseau locaux et/ou régionaux applicables, lorsqu'ils sont en vigueur. Il est conseillé aux développeurs de codes de réseau et aux opérateurs du système de prendre en compte les dispositions du présent guide lors de l'examen des codes de réseau afin de promouvoir l'harmonisation à l'échelle du continent.

1 CHAMP D'APPLICATION

L'intégration des sources d'énergie renouvelable au réseau électrique est une avancée relativement récente pour l'alimentation en électricité des réseaux de distribution. Étant donné que les ressources en énergies renouvelables, telles que l'énergie éolienne et solaire, augmentent généralement la variabilité et l'incertitude liées au fonctionnement des systèmes électriques, l'atteinte d'un taux de pénétration élevé de ces ressources sur le réseau nécessite une évolution en matière de planification, d'installation, d'exploitation et de sécurité des convertisseurs de puissance pour les systèmes photovoltaïques – Partie 1: Exigences générales de la maintenance des systèmes électriques.

Le présent document fournit des directives sur les exigences techniques relatives à l'intégration des installations d'énergie renouvelable aux réseaux électriques publics en Afrique. Il fournit des cri-

tères relatifs à la performance, à l'exploitation, aux essais, aux considérations de sécurité et à la maintenance d'interconnexions d'énergie renouvelable. Les directives ouvrent les exigences générales, la qualité de l'énergie, la réponse aux conditions anormales du système, le contrôle de la puissance active et réactive, le soutien de la fréquence, l'îlotage, etc. Il comprend également des dispositions pour la conception, les essais, l'installation et la mise en service des installations d'énergie renouvelable et d'équipements associés, y compris les systèmes de stockage d'énergie par batterie (BESS).

Les exigences s'appliquent aux technologies d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire photovoltaïque (PV), l'énergie éolienne et les systèmes hybrides interconnectés aux réseaux de transmission et de distribution, y compris les micro-réseaux.



2 NORMES DE RÉFÉRENCE

Les normes suivantes contiennent des dispositions qui, par référence dans le présent texte, font partie intégrante du présent guide. Tous les documents normatifs sont susceptibles de révision et, puisque toute référence à un document normatif est considérée comme une référence à la dernière édition de ce document, les parties aux accords fondés sur le présent guide sont encouragées à prendre des mesures pour garantir l'utilisation des éditions les plus récentes des documents normatifs indiquées ci-dessous. Les informations relatives aux normes et aux spécifications nationales et internationales actuellement en vigueur peuvent être obtenues auprès de l'organisme national de normalisation compétent.

Les documents de référence suivants sont requis pour l'application de la présente norme. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence (y compris toute modification) s'applique :

IECTS 62786-1

Raccordement des ressources énergétiques décentralisées au réseau – Partie 1 : Exigences générales

IEC 61000-3-6

CEM – Partie 3-6 : Limites – Évaluation des limites d'émission pour le raccordement des installations de distorsion aux réseaux électriques MT, HT et THT

IEC 61000-3-7

CEM – Partie 3-7 : Limites – Évaluation des limites d'émission pour le raccordement des installations fluctuantes aux réseaux électriques MT, HT et THT

IEC 61400-21-1

Systèmes de génération d'énergie éolienne – Partie 21-1 : Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Éoliennes

IEC 62109-1

Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 1 : Exigences générales

IEC 62109-2

Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 2 : Exigences particulières pour les onduleurs

IEC 61000 (série)

Compatibilité électromagnétique (CEM) – Toutes les parties

IEC 62271 (série)

Appareillage à haute tension – Toutes les parties

IEC 61850 (série)

Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques – Toutes les parties

IEC 60076 (série)

Transformateurs de puissance – Toutes les parties

IEC 60255-1

Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 1 : Exigences communes

IEC 60909

Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Calcul des courants

IEC 60364-7-712

Installations électriques à basse tension –
Partie 7-712 : Installations d'énergie solaire photovoltaïque (PV)

IEC TR 63401-3

Caractéristiques dynamiques des ressources à base d'onduleurs dans les réseaux de production-transport – Partie 3 : Réponse en fréquence rapide et tenue aux variations de fréquence

IEC 61936-1

Installations électriques de puissance de tension supérieure à 1 kV en courant alternatif et 1,5 kV en courant continu – Partie 1 : Courant alternatif

IEC 60364-5-54

Installations électriques basse tension – Installations de mise à la terre et conducteurs de protection

IEC 62446-2

Exigences pour les essais, la documentation et la maintenance – Partie 2 : Systèmes photovoltaïques connectés au réseau électrique

IECTS 63060

Réseaux de distribution d'énergie électrique – Aspects généraux et méthodes de maintenance des installations et d'équipements

IEC 60364-6

Installations électriques à basse tension – Partie 6 : Vérification

IEC 62548

Groupes photovoltaïques – Exigences de conception

IEC 61557

Sécurité électrique dans les réseaux de distribution basse tension au plus égale à 1 000 V en courant alternatif et 1 500 V en courant continu – Dispositifs de contrôle, de mesure ou de surveillance de mesures de protection

IEC 61010

Exigences de sécurité pour les appareils électriques de mesurage, de régulation et de laboratoire

IEC 60255-121

Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 121 : Exigences fonctionnelles pour protection de distance

IEC 60255-127

Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 127 : Exigences fonctionnelles pour les protections à minimum et à maximum de tension

IEC 60255-181

Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 181 : Exigences fonctionnelles relatives aux protections de fréquence

IEC 60255-187

Relais de mesure et dispositifs de protection – Partie 187 : Exigences fonctionnelles pour la protection différentielle

IEC 62934

Intégration de la production d'énergie renouvelable aux réseaux électriques

IEC 62898 (série)

Micro-réseaux – Toutes les parties

IECTS 62898-1:2023

Micro-réseaux – Partie 1 : Directives pour la planification et les spécifications des projets de micro-réseaux

IECTS 62898-2

Micro-réseaux – Partie 2 : Directives opérationnelles

IECTS 62898-3-1

Micro-réseaux – Partie 3-1 : Protection et contrôle dynamique

IEC 60364 (série)

Installations électriques à basse tension – Toutes les parties

IEC 61427 (série)

Accumulateurs pour le stockage d'énergie renouvelable – Exigences générales et méthodes d'essai

IEC 61400 (série)

Aérogénérateurs – Toutes les parties

IEC 61730 (série)

Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV)

IECTS 62898-1

Micro-réseaux – Partie 1 : Directives pour la planification et les spécifications des projets de micro-réseaux

IECTS 62898-2

Micro-réseaux – Partie 2 : Directives pour l'exploitation

IECTS 62898-3-1

Micro-réseaux – Partie 3-1 : Exigences techniques – Protection et contrôle dynamique

IEC 60050

Vocabulaire électrotechnique international

IEEE Std 1815

Norme IEEE relative à la communication dans les systèmes d'alimentation électrique – Protocole de réseau distribué (DNP3)

IEEE C37.94

Norme IEEE relative aux interfaces à fibre optique N fois 64 kbit/s entre les équipements de téléprotection et de multiplexage

IEC 62116

Onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau public – Procédure d'essai des mesures de prévention contre l'îlotage

IEC 60870-5-101

Matériels et systèmes de télé-conduite – Partie 5-101 : Protocoles de transmission – Norme d'accompagnement pour les tâches élémentaires de télé-conduite

IEC 60870-5-104

Matériels et systèmes de télé-conduite – Partie 5-104 : Protocoles de transmission – Accès aux réseaux utilisant des profils de transport normalisés pour l'IEC 60870-5-101

IECTS 62933-3-1

Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) – Partie 3-1 : Planification et évaluation des performances des systèmes de stockage de l'énergie électrique – Spécifications générales

IEC 62446-1

Systèmes photovoltaïques (PV) – Exigences pour les essais, la documentation et la maintenance – Partie 1 : Systèmes connectés au réseau électrique – Documentation, essais de mise en service et examen

IECTR 63401-3

Caractéristiques dynamiques des ressources à base d'onduleurs dans les réseaux de production-transport – Partie 3 : Réponse en fréquence rapide et tenue aux variations de fréquence des ressources à onduleur lors de fortes perturbations de fréquence

3 TERMES ET DÉFINITIONS

Aux fins du présent guide, les termes et les définitions suivants s'appliquent.

Événement imprévu

Un événement, impliquant généralement la perte d'un ou plusieurs éléments, qui affecte le réseau électrique au moins momentanément.

Demande

L'intensité de l'approvisionnement en électricité, exprimée en kilowatts ou en kilovoltampères. Ressources énergétiques décentralisées (RED) Des générateurs (avec leurs auxiliaires, équipements de protection et de raccordement, y compris les charges ayant un mode de production (comme les systèmes de stockage d'énergie électrique), connectées à un réseau de basse ou de moyenne tension.

Statisme

La caractéristique MW/Hz selon laquelle la régulation s'effectuera. Cela s'exprime comme le pourcentage d'augmentation de la fréquence qui, en théorie, fera passer une unité d'une puissance maximale continue (MCR) à zéro.

Élément du système électrique

Tout dispositif électrique avec bornes pouvant être connectées à d'autres dispositifs électriques. Par exemple, un générateur, un transformateur, un disjoncteur ou une section de bus.

Situation d'urgence

Une situation dans laquelle les générateurs ou les fournisseurs de services de transport ou de distribution subissent une perte imprévue d'installations, ou toute autre situation hors de leur contrôle, qui compromet ou met en péril leur capacité à répondre à la demande du réseau.

Défaut

Un événement imprévu ou un défaut affectant un élément, qui peut entraîner une ou plusieurs défaillances du réseau.

Courant de défaut

Le courant circulant à un point donné d'un réseau résultant d'un défaut en un autre point du réseau.

Production (d'électricité)

Un processus de production d'énergie électrique à partir d'autres formes d'énergie.

Note 1 à l'article: la quantité d'énergie électrique produite est généralement exprimée en kilowattheures (kWh) ou en mégawattheures (MWh).

Système électrique interconnecté (IPS)

Un système électrique interconnecté dans une vaste zone, composé d'éléments du système attribués à différentes zones locales au sein d'une même autorité d'exploitation ou d'une autre autorité d'exploitation (par exemple, exploitant de réseau indépendant «ISO»), où des défauts ou des perturbations peuvent avoir un impact négatif important en dehors de la zone locale.

Charge

Un dispositif destiné à absorber l'énergie fournie par un autre dispositif ou par un réseau électrique.

Limite de fonctionnement

La valeur maximale des paramètres les plus critiques de fonctionnement du système, qui répondent aux: (a) critères de pré-urgence déterminés par la capacité de charge de l'équipement et les conditions acceptables de tension; (b) critères de stabilité; et, (c) critères de charge et de tension post-urgence.

Fiabilité

La capacité d'un élément à effectuer une fonction requise dans des conditions données et pendant un intervalle de temps donné.

Panne

L'état d'un élément incapable d'accomplir sa fonction requise.

Capacité réservée

La capacité prévue dans un contrat conclu, exprimée en mégavolt-ampères (MVA) ou en mégawatts (MW), qu'un opérateur de réseau ou un fournisseur de services attribue à un client ou à une installation de production à un point particulier d'approvisionnement.

Court-circuit.

Un chemin conducteur accidentel ou intentionnel entre deux ou plusieurs parties conductrices, forçant la différence de potentiel électrique entre ces parties conductrices à être nulles ou proches de zéro (impédance relativement faible). Le courant de court-circuit est le courant électrique dans un court-circuit donné.

Stabilité

L'aptitude d'un réseau électrique à maintenir un état d'équilibre lors de conditions normales et anormales, ou en cas de perturbations.

Note 1 à l'article: la stabilité d'un réseau électrique peut être classée comme la stabilité de tension, de l'angle du rotor et de la fréquence.

Sécurité du réseau

La probabilité de ne pas avoir d'opération indésirable ou la capacité du réseau électrique à continuer de fonctionner de manière satisfaisante après tout cas d'urgence.

Système de transmission

L'ensemble des moyens de transmission entre deux points, comprenant un milieu de transmission, l'équipement terminal, tout équipement intermédiaire nécessaire et tout équipement auxiliaire destiné à l'alimentation en énergie, la supervision et les essais.

Point de couplage commun (PCC)

Point d'un réseau d'alimentation électrique, le plus proche électriquement d'une charge particulière, auquel d'autres charges sont ou peuvent être connectées.

Note 1 à l'article: ces charges peuvent être soit des dispositifs, d'équipements ou de systèmes, soit des installations distinctes de clients.

Réglage de tension par puissance réactive

Le réglage de tension par l'ajustement de production en puissance réactive dans un réseau électrique.

Flicker

Impression d'instabilité de la sensation visuelle induite due à un stimulus lumineux dont la luminance ou la répartition spectrale fluctue au fil du temps.

Déséquilibre de tension

Dans un réseau d'énergie électrique polyphasé, état dans lequel les valeurs efficaces des tensions entre conducteurs ou les différences de phase entre conducteurs ne sont pas toutes égales.

Services auxiliaires

Services nécessaires pour l'exploitation d'un réseau d'énergie électrique fournis par l'opérateur et/ou par les utilisateurs du réseau d'énergie électrique.

Démarrage autonome

Démarrage d'un réseau d'énergie électrique suite à une panne électrique générale grâce aux ressources énergétiques internes.

Micro-réseaux

Groupe de charges interconnectées et de ressources énergétiques décentralisées avec des limites électriques définies, formant un réseau d'énergie électrique local à des niveaux de tension de distribution d'électricité, qui agit comme une seule entité contrôlable et est capable de fonctionner en mode îlot.

Note 1 à l'article: cette définition couvre à la fois les micro-réseaux de distribution (publics) et les micro-réseaux privés.

Système de stockage d'énergie par batterie (BESS)

Système de stockage de l'énergie électrique avec un sous-système d'accumulation basé sur des batteries d'accumulateurs.

Note 1 à l'article: les systèmes de stockage d'énergie par batterie incluent les systèmes d'énergie utilisant des batteries à flux.

Producteur indépendant (IPP)

Producteur dont l'activité principale est de produire de l'énergie électrique dans le seul but de la vendre à des entreprises de distribution ou, via un réseau électrique tiers, à des clients.

Énergie renouvelable

Énergie primaire dont la source est constamment renouvelée et ne s'épuisera pas.

Note 1 à l'article: exemples d'énergies renouvelables: éolienne, solaire, géothermique, hydraulique.

Note 2 à l'article: les combustibles fossiles ne sont pas renouvelables.

4 EXIGENCES DE RACCORDEMENT AU RÉSEAU

4.1 Propriété des installations d'énergie renouvelable

La propriété des installations d'énergie renouvelable peut appartenir à diverses entités, notamment les producteurs indépendants, les services publics, les agences gouvernementales, les organisations communautaires ou les partenariats public-privé (PPP). La structure de propriété doit être clairement définie et documentée lors des phases de développement du projet et d'application de raccordement au réseau.

Tous les propriétaires des installations d'énergie renouvelable connectées au réseau doivent :

- Être responsable de la conformité aux codes du réseau, aux normes techniques et aux exigences d'interconnexion applicables.
- Maintenir toutes les licences, les permis et les autorisations nécessaires, selon les exigences des autorités nationales de réglementation.
- Être responsable de la performance opérationnelle, de la maintenance et de la fiabilité de l'installation.
- Faciliter la coordination avec l'opérateur du réseau ou l'opérateur concerné du système de transmission/distribution (TSO/DSO), notamment en ce qui concerne l'échange de données opérationnelles, les instructions de répartition et les services de soutien au réseau (par exemple, le contrôle de tension et de fréquence).
- S'assurer que l'installation d'énergie renouvelable est correctement assurée contre les risques opérationnels, environnementaux et de force majeure.
- Disposer d'un contrat d'achat d'électricité (PPA) en bonne et due forme ou d'un accord contractuel équivalent avec le contracteur désigné, définissant les obligations commerciales et opérationnelles des deux parties.

Pour la conformité technique, le point de raccordement (POC) et le point de couplage commun (PCC), tels que convenus avec l'opérateur concerné du réseau de transmission ou de distribution, servent de point de référence pour la mesure et l'application de toutes les exigences spécifiées dans les présentes directives.

Lorsque l'installation d'énergie renouvelable est détenue par un tiers mais exploitée par une entité différente, par exemple via un contrat de Construction-Opération-Transfert (BOT) ou un contrat d'exploitation et de maintenance (O&M), l'entité propriétaire conserve la responsabilité finale de garantir la conformité contractuelle à toutes les obligations applicables en matière de réseau et de réglementation.

4.2 Tolérance de tension et de fréquence

4.2.1 Plages normales du fonctionnement de la tension et de la fréquence

Tolérance de tension

Les installations d'énergie renouvelable doivent être capables de supporter les variations de tension au point de raccordement (POC) dans les conditions normales et anormales du système, telles que définies dans les présentes directives. Les centrales d'énergie renouvelable doivent maintenir autant que possible la puissance active produite pendant ces variations, conformément aux exigences de stabilité de la tension. Les centrales d'énergie renouvelable doivent continuer à fournir la puissance active réelle tant que la tension au point de connexion est toujours dans les plages de fonctionnement autorisées. La déconnexion automatique du réseau ne doit se produire que lorsque les conditions de tension sont en dehors de ces plages, et seulement après des délais spécifiés, sauf si l'opérateur du réseau exige une déconnexion immédiate.

Tension au point de raccordement	Exigences relatives aux centrales d'énergie renouvelable
$U_{\min 1} \leq U \leq U_{\max 1}$	Fonctionnement continu
$U < U_{\min 2}$ $U > U_{\max 2}$	Déconnexion autorisée après le temps T_{u2}
$U_{\min 2} \leq U < U_{\min 1}$ $U_{\max 1} < U \leq U_{\max 2}$	Déconnexion autorisée après le temps T_{u1}

Tableau 1 - Exigences de tension et de raccordement des centrales

Voltage at POC	RPP requirements
$U_{\min 1}$ in par unité	0.9pu
$U_{\min 2}$ in par unité	0.85pu -0.9pu
$U_{\max 1}$ in par unité	1.1 pu
$U_{\max 2}$ in par unité	1.1pu – 1.2pu
T_{u1} en secondes	10s – 180s
T_{u2} en secondes	0 s

Tableau 2 - Valeurs de tension (p.u) et du temps pour les exigences de raccordement des centrales d'énergie renouvelable dans le tableau 1 Requirements in Table 1

Si la tension chute en dessous de $U_{\min 2}$, les limites de tenue aux creux de tension s'appliqueront, telles que spécifiées dans la présente directive. Si la tension dépasse $U_{\max 2}$, les limites de tenue aux pics de tension s'appliqueront, telles que spécifiées dans la présente directive. En cas de chute de tension en dessous de $U_{\min 2}$, les exigences de tenue aux creux de tension (UVRT) spécifiées dans la présente directive s'appliqueront. De même, si la tension dépasse $U_{\max 2}$, les dispositions relatives à la tenue aux pics de tension (OVRT) doivent être appliquées. .

Tolérance de fréquence

Les installations d'énergie renouvelable doivent être capables de supporter certaines variations de fréquence du réseau sans déconnexion inutile. Les centrales d'énergie renouvelable doivent maintenir la production d'énergie active tant que la fréquence du réseau reste dans les plages de fonctionnement autorisées. La déconnexion ne doit se produire que lorsque les variations de fréquence sont en dehors des limites spécifiées et conformément aux exigences de l'opérateur du réseau, telles que définies dans les codes du réseau.

Fréquence	Action requise des centrales d'énergie renouvelable
$f < f_{\min 2}$ $f > f_{\max 2}$	Déconnexion instantanée autorisée
$f_{\min 2} \leq f < f_{\min 1}$ $f_{\max 1} < f \leq f_{\max 2}$	Fonctionnement pendant un temps minimum T_{f1}
$f_{\min 1} \leq f \leq f_{\max 1}$	Fonctionnement continu

Tableau 3 - Exigences de tolérance de fréquence pour le raccordement au point de contact au point de contact

Fréquence du réseau électrique (Hz)	$f_{\min 1}$	$f_{\max 1}$
50	48.50 à 49.85	50.15 à 51.00
60	58.00 à 59.90	60.2 à 61.5

Tableau 4 - Valeurs $F_{\min 1}$ et $F_{\max 1}$ pour les tolérances de fréquence

Frequency of power system (Hz)	$f_{\min 2}$	$f_{\max 2}$	T_{f1}
50	47.00 à 49.80	50.20 à 52.00	2 s à 90 min
60	56.50 à 59.00	60.30 à 62.50	2 s à 90 min

Tableau 5 $F_{\min 2}$, $F_{\max 2}$ et temps de déconnexion pour les tolérances de fréquence

Norme relative

IEC TR 61000-3-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-7: Limites – Évaluation des limites d'émission pour le raccordement des installations fluctuantes aux réseaux d'alimentation MT, HT et THT

Cette partie de la norme IEC 61000 fournit des orientations sur les principes pouvant servir de base à la détermination des exigences relatives au raccordement d'installations fluctuantes aux réseaux d'alimentation MT, HT et THT (les installations à HT sont couvertes dans d'autres documents d'IEC). Pour les besoins du présent rapport, une installation fluctuante est une installation (qui peut être une charge ou un générateur) qui produit des fluctuations de tension et/ou des variations rapides de tension. L'objectif principal est de fournir des recommandations aux opérateurs ou aux propriétaires de réseaux sur les pratiques d'ingénierie permettant d'assurer une qualité de service adéquate à tous les clients raccordés. En ce qui concerne les installations, le présent document n'a pas pour objet de remplacer les normes d'équipement relatives aux limites d'émission. Le présent rapport traite de la répartition de la capacité du réseau à absorber les perturbations. Il n'explique pas comment atténuer les perturbations ni comment l'aptitude du réseau peut être augmentée. Étant donné que les directives décrites dans le présent rapport reposent nécessairement sur certaines hypothèses de simplification, il n'est pas assuré que cette approche constitue toujours la solution optimale à tous les problèmes de flicker. L'approche recommandée doit être pratiquée en faisant preuve de souplesse et de discernement en ce qui concerne l'ingénierie, lors de l'application des procédures d'évaluation données, en totalité ou en partie

4.3 Exigences en matière de qualité d'alimentation

Les exigences en matière de qualité d'alimentation spécifiées dans cette section doivent être mesurées au point de couplage commun (PCC).

4.3.1 Harmoniques

L'intégration croissante des installations d'énergie renouvelable (ENR) aux réseaux électriques a engendré de nouveaux défis pour maintenir la qualité de l'électricité. L'un de ces problèmes est la génération de distorsion harmonique. Les harmoniques sont des formes d'onde de tension ou de courant dont les fréquences sont des multiples entiers de la fréquence fondamentale (généralement 50 Hz ou 60 Hz). Celles-ci sont généralement produites par des dispositifs électroniques de puissance courants dans les systèmes d'énergie renouvelable tels que les onduleurs, les convertisseurs et autres charges non linéaires. Les harmoniques peuvent déformer la forme d'onde sinusoïdale idéale, lorsqu'elles sont injectées dans le réseau électrique, entraînant ainsi divers problèmes techniques, notamment des pertes accrues, une surchauffe d'équipements, un dysfonctionnement des dispositifs de protection et des interférences avec les systèmes de communication.

Pour le raccordement des installations d'énergie renouvelable (ENR) au réseau aux niveaux moyenne tension (MT) et haute tension (HT), les limites individuelles et totales d'émission harmonique s'appliquent afin de maintenir les niveaux de distorsion de tension dans des seuils acceptables sur l'ensemble du réseau électrique. Les limites d'émission doivent être respectées afin de garantir que l'installation d'énergie renouvelable ne dégrade pas la qualité de l'électricité ni ne perturbe la stabilité du fonctionnement du réseau.

Norme relative

IEC TR 61000-3-6: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Limites – Évaluation des limites d'émission pour le raccordement d'installations perturbatrices aux réseaux d'alimentation MT, HT et THT

Le présent rapport technique, qui est de nature informative, fournit des orientations sur les principes pouvant servir de base à la détermination des exigences à respecter lors du raccordement d'installations perturbatrices aux réseaux d'alimentation MT, HT et THT (les installations à BT sont couvertes dans d'autres documents d'IEC).

Pour les besoins du présent rapport, une installation perturbatrice est une installation (qui peut être une charge ou un générateur) qui produit des harmoniques et/ou des inter-harmoniques. L'objectif principal est de fournir des recommandations aux opérateurs ou aux propriétaires de réseaux sur les pratiques d'ingénierie permettant d'assurer une qualité de service adéquate à tous les clients raccordés. En ce qui concerne les installations, le présent document n'a pas pour objet de remplacer les normes d'équipement relatives aux limites d'émission.

Le présent rapport traite de la répartition de la capacité du réseau à absorber les perturbations. Il n'explique pas comment atténuer les perturbations ni comment l'aptitude du réseau peut être augmentée. Étant donné que les directives décrites dans le présent rapport reposent nécessairement sur certaines hypothèses de simplification, il n'est pas assuré que cette approche constitue toujours la solution optimale à tous les problèmes de flicker.

4.3.2 Fluctuations de tension et du flicker

Les centrales d'énergie renouvelable (ENR) doivent être conçues et exploitées de manière à minimiser les variations rapides de tension au point de raccordement (POC) commun susceptibles d'affecter la qualité de l'énergie. Ces fluctuations de tension, souvent causées par la production variable, les opérations de commutation ou les actions du système de contrôle, peuvent perturber



les dispositifs des utilisateurs finaux, même si un flicker perceptible n'est pas observé. L'évaluation et la limitation des fluctuations de tension doivent être réalisées conformément à la norme IEC TR 61000-3-7 qui définit les niveaux de planification et fournit des méthodes pour évaluer l'impact des fluctuations de puissance sur le réseau.

Le flicker est une conséquence visible des fluctuations de tension, généralement résultant de variations rapides et cycliques de la puissance active produite, comme celles observées dans les éoliennes en cas de rafales ou les systèmes d'énergie solaire photovoltaïque sous couverture nuageuse passante. Bien que les centrales d'énergie renouvelable soient généralement raccordées à des niveaux de moyenne ou haute tension, leurs émissions du flicker peuvent se propager à travers le réseau et affecter les utilisateurs à basse tension, en particulier l'éclairage. Les centrales d'énergie renouvelable doivent limiter les émissions du flicker afin d'éviter

les impacts négatifs sur la qualité de l'énergie et de maintenir la conformité aux seuils autorisés au PCC. La sévérité du flicker doit être évaluée à l'aide des métriques suivantes: sévérité à court terme (Pst) et sévérité à long terme (Plt). Ces valeurs doivent être mesurées conformément à la norme IEC 61000-3-7 (section 6) et conformément aux limites de planification définies dans la norme. Par exemple, IEC 61400-21-1 (section 8) décrit la mesure du flicker lors du fonctionnement normal ainsi que du flicker et des variations de tension lors des opérations de commutation pour les systèmes de production d'énergie éolienne.

Les mesures d'atténuation des fluctuations de tension et du flicker doivent être mises en œuvre, le cas échéant. Celles-ci comprennent le contrôle du taux de rampe de la puissance active produite, les algorithmes de lissage, la compensation de puissance réactive, le réglage de tension et l'intégration des systèmes de stockage d'énergie.

Normes relatives

IEC TR 61000-3-7: Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 3-7: Limites – Évaluation des limites d'émission pour le raccordement des installations fluctuantes aux réseaux d'alimentation MT, HT et THT

Cette partie de la norme IEC 61000 fournit des orientations sur les principes pouvant servir de base à la détermination des exigences relatives au raccordement d'installations fluctuantes aux réseaux d'alimentation MT, HT et THT (les installations à HT sont couvertes dans d'autres documents d'IEC). Pour les besoins du présent rapport, une installation fluctuante est une installation (qui peut être une charge ou un générateur) qui produit des fluctuations de tension et/ou des variations rapides de tension. L'objectif principal est de fournir des recommandations aux opérateurs ou aux propriétaires de réseaux sur les pratiques d'ingénierie permettant d'assurer une qualité de service adéquate à tous les clients raccordés. En ce qui concerne les installations, le présent document n'a pas pour objet de remplacer les normes d'équipement relatives aux limites d'émission. Le présent rapport traite de la répartition de la capacité du réseau à absorber les perturbations. Il n'explique pas comment atténuer les perturbations ni comment l'aptitude du réseau peut être augmentée. Étant donné que les directives décrites dans le présent rapport reposent nécessairement sur certaines hypothèses de simplification, il n'est pas assuré que cette approche constitue toujours la solution optimale à tous les problèmes de flicker. L'approche recommandée doit être pratiquée en faisant preuve de souplesse et de discernement en ce qui concerne l'ingénierie, lors de l'application des procédures d'évaluation données, en totalité ou en partie.

IEC 61400-21-1: Systèmes de génération d'énergie éolienne - Partie 21-1: Mesurage et évaluation des caractéristiques de qualité de puissance des éoliennes connectées au réseau

This standard includes:

- La définition et la spécification des grandeurs à déterminer pour caractériser les caractéristiques électriques d'une éolienne connectée au réseau.
- Les procédures de mesure pour quantifier les caractéristiques électriques.
- Les procédures pour évaluer la conformité aux exigences de raccordement électrique, y compris l'estimation de la qualité de puissance attendue du type d'éolienne, une fois déployée sur un site spécifique.

Les procédures de mesure sont valables pour les éoliennes individuelles avec un raccordement triphasé au réseau. Les procédures de mesure sont valables pour toute taille d'éolienne, bien que la présente partie de la norme IEC 61400 exige uniquement des types d'éoliennes prévues pour le raccordement à un réseau d'alimentation électrique, qui sont donc à soumettre aux essais et à caractériser comme spécifié dans la présente partie de l'IEC 61400.

4.3.3 Déséquilibre de tension

Les centrales d'énergie renouvelable (ENR) doivent pouvoir fonctionner dans des limites acceptables de déséquilibre de tension au point de couplage commun (PCC) et ne doivent pas introduire un déséquilibre excessif dans le réseau. Le déséquilibre de tension est généralement causé par une charge de phase inégale, des défauts asymétriques ou des configurations d'onduleur monophasé.

Un déséquilibre de tension peut avoir des effets négatifs importants sur les centrales d'énergie renouvelable (ENR). Il réduit l'efficacité des onduleurs, augmente les contraintes thermiques sur les transformateurs et les moteurs, et peut provoquer un dysfonctionnement des systèmes de protection. Un déséquilibre persistant peut également accélérer l'usure d'équipements, perturber les systèmes de contrôle et compromettre les capacités de l'installation à respecter les exigences du code réseau en matière de qualité et de stabilité de la tension.

Au niveau du système, un déséquilibre de tension augmente les pertes en ligne, provoque une surchauffe et une réduction de puissance des moteurs triphasés, et introduit des courants de séquence négative qui peuvent endommager les générateurs rotatifs. Il dégrade également la qualité et la fiabilité globales de l'énergie, en particulier dans les réseaux faibles ou ruraux, où un déséquilibre provenant d'une source peut se propager et affecter d'autres utilisateurs et équipements connectés au réseau.

La centrale d'énergie renouvelable doit rester connectée au réseau lors de conditions de déséquilibre de tension, tant que la composante à séquence de phase négative ne dépasse pas 2%, conformément à la norme IEC/TR 61000 3-13. Au-delà de ces limites, l'installation peut se déconnecter en coordination avec l'opérateur du réseau. Par exemple, le déséquilibre et les limites de tension applicable aux éoliennes sont décrits dans la norme IEC 61400-21-1.

4.4 Compatibilité CEM

Les centrales d'énergie renouvelable (ENR) doivent être conçues et exploitées de manière à garantir une compatibilité électromagnétique

(CEM) complète avec le réseau électrique et les infrastructures de communication environnantes. Bien que les harmoniques constituent une préoccupation majeure de la CEM et soient traitées séparément dans la présente directive (section 4), des exigences plus générales en matière de la CEM doivent également être respectées afin de prévenir les interférences électromagnétiques et d'assurer le bon fonctionnement des systèmes électriques et électroniques.

Tous les équipements des centrales d'énergie renouvelable, y compris les onduleurs, les contrôleurs, les transformateurs, les dispositifs de contrôle de supervision et d'acquisition de données (SCADA) et les systèmes de communication, doivent être conformes aux parties correspondantes de la série IEC 61000 qui définissent les limites d'émissions ainsi que l'immunité aux perturbations électromagnétiques externes. Des mesures d'atténuation des interférences de la CEM doivent être mises en œuvre, le cas échéant. Une attention particulière doit être portée à la prévention des interférences avec les postes, les lignes de télécommunication et les équipements électroniques sensibles. L'opérateur de la centrale d'énergie renouvelable doit s'assurer que l'impact cumulatif de la centrale sur la centrale est dans les limites acceptables de planification et n'altère pas la fiabilité du réseau ni la performance du système de communication.

Norme relative

Série de normes IEC/TR 61000 – Compatibilité électromagnétique

La série de normes IEC 61000 fournit des directives pour garantir la compatibilité électromagnétique (CEM) entre les équipements et les systèmes électriques et électroniques. Elle définit les limites, les méthodes d'essai et les critères de performance nécessaires pour contrôler les perturbations électromagnétiques et garantir que les dispositifs puissent fonctionner de manière fiable dans des environnements électriques partagés sans provoquer d'interférences. Les dispositions couvrent à la fois l'émission (c'est-à-dire la génération indésirable d'énergie électromagnétique) et l'immunité (c'est-à-dire la capacité d'équipement à fonctionner correctement en présence de telles perturbations).

4.5 Études requises pour l'intégration de l'énergie renouvelable

Les centrales d'énergie renouvelable doivent être accompagnées d'études complètes du système électrique afin d'assurer une intégration stable et fiable au réseau de transmission ou de distribution. Ces études évalueront les performances de l'installation dans des conditions normales et perturbées d'exploitation et confirmeront le respect des exigences applicables du code de réseau.

Les études suivantes doivent, au minimum, être menées: flux de puissance, stabilité de la tension, stabilité de la fréquence, stabilité transitoire, analyse des courts-circuits, coordination de la protection et évaluation de la qualité de l'énergie. Il est également recommandé de réaliser des études sur les transitoires électromagnétiques (EMT) afin de garantir l'identification et l'atténuation adéquate de la plupart des risques. Des modèles représentatifs, spécifiques ou génériques selon le cas, peuvent être utilisés à cette fin.

Normes / Codes relatifs:

- Exigences du Code de réseau national relatives à l'intégration d'énergie renouvelable.
- Normes de protection et de planification des systèmes propres aux services publics

IEC 60909-0: Courants de court-circuit dans les réseaux triphasés à courant alternatif – Partie 0: Calcul des courants

La présente norme est applicable au calcul des courants de court-circuit dans les réseaux triphasés basse tension à courant alternatif, et dans les réseaux triphasés haute tension à courant alternatif, fonctionnant à une fréquence nominale de 50 Hz ou de 60 Hz. Elle établit une procédure générale, réalisable et concise conduisant à des résultats qui sont en général d'une précision acceptable et traite du calcul des courants de court-circuit en cas de courts-circuits équilibrés ou déséquilibrés.

IEC 61850-7-420: Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques - Partie 7-420: Structure de communication de base - Ressources énergétiques décentralisées et nœuds logiques d'automatisation de la distribution

La présente définit les modèles d'information IEC 61850 à utiliser pour l'échange d'informations avec les systèmes de ressources énergétiques décentralisées (RED) et les systèmes d'automatisation de la distribution (DA). Les RED comprennent les systèmes de production raccordés à la distribution, les systèmes de stockage d'énergie et les charges modulables, ainsi que les systèmes de gestion des RED de l'installation, notamment les RED agrégées, telles que les systèmes de commande d'installation, les systèmes de gestion d'énergie (EMS) des RED de l'installation, les EMS de construction, les EMS de campus, les EMS de collectivité, les EMS de micro-réseaux, etc. Les équipements d'automatisation de la distribution (DA) incluent les équipements utilisés pour la gestion des circuits de distribution, notamment les interrupteurs automatisés, les indicateurs de défaut, les batteries de condensateurs, les régulateurs de tension, ainsi que les autres dispositifs de gestion de l'énergie. La norme du modèle d'information IEC 61850 de RED utilise les nœuds logiques de l'IEC 61850-7-4 existants lorsque cela est possible tout en définissant des nœuds logiques spécifiques de RED et de DA pour fournir les objets de données nécessaires aux fonctions de RED et de DA, notamment pour les codes de réseau d'interconnexion des RED spécifiés par les différents pays et régions. Le présent document inclut également une approche générique de la modélisation pour prendre en charge tout type de RED, y compris la production, le stockage et les charges modulables.



4.6 Exigences techniques générales pour les composants

La conception et l'intégration de différents composants du système, par exemple modules photovoltaïques, onduleurs, systèmes de protection, etc., dans une centrale renouvelable doivent garantir la fiabilité et la sécurité du fonctionnement.

Tous les composants majeurs des installations d'énergie renouvelable (ENR), tels que les onduleurs, les transformateurs, les appareillages de commutation, les dispositifs de protection et les câbles, doivent être conformes aux normes IEC applicables afin d'assurer la sécurité, l'interopérabilité et la compatibilité du réseau.

Les onduleurs doivent être conformes aux normes IEC 62109-1 et IEC 62109-2 pour des raisons de sécurité. Les transformateurs de

puissance doivent être conçus conformément à la série de normes IEC 60076, afin d'assurer leurs performances thermiques, diélectriques et en court-circuit dans des conditions de production variable d'énergie renouvelable. Les dispositifs de commutation et les disjoncteurs doivent répondre aux exigences de la série IEC 62271 pour les applications en moyenne et haute tension. Tous les relais de protection et les systèmes de commande doivent être conformes à la série IEC 60255. La norme IEC 61850 garantit des systèmes de communication efficaces et l'intégration du système SCADA. L'utilisation de composants testés et certifiés selon les présentes normes est fortement recommandée afin d'assurer la fiabilité du fonctionnement et la conformité au code du réseau.

Normes relatives

IEC TR 61000: Compatibilité électromagnétique (EMC) – toutes les parties

Voir section 4.4 du présent guide pour le résumé.

IEC TR 61850: Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques – Toutes les parties

La série de normes IEC 61850 fournit des directives pour les réseaux et les systèmes de communication dans l'automatisation des réseaux électriques. Elle établit un cadre unifié pour l'échange de données, la modélisation système et l'interopérabilité entre les dispositifs électroniques intelligents (IED) au sein des postes et à travers les domaines du système électrique. Ce rapport technique permet une communication très fiable et en temps réel pour les fonctions de protection, de contrôle, de surveillance et d'automatisation, en utilisant des technologies modernes de mise en réseau telles qu'Ethernet, TCP/IP et MMS.

Au-delà de l'automatisation conventionnelle des postes de transformation, la norme IEC TR 61850 prend en charge des architectures évolutives s'étendant aux ressources énergétiques décentralisées (RED), aux centrales éoliennes et solaires, ainsi qu'aux applications de contrôle à grande échelle. Elle définit des modèles de données communs, des services de communication

et des méthodes de configuration d'ingénierie qui garantissent l'interopérabilité indépendante des fournisseurs, réduisent la complexité d'intégration et améliorent la fiabilité du système.

IEC 62109-1: Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 1: Exigences générales

La présente norme s'applique aux équipements de conversion de puissance (PCE) utilisés dans les systèmes photovoltaïques (PV) nécessitant un niveau technique uniforme en matière de sécurité. La présente norme définit les exigences minimales relatives à la conception et à la fabrication de PCE pour la protection contre les chocs électriques, les risques liés à l'électricité, les incendies, les dangers mécaniques et autres dangers. La présente norme fournit des exigences générales applicables à tous les types d'équipement de conversion de puissance photovoltaïque (PV PCE).

IEC 62109-2: Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 2: Exigences particulières pour les onduleurs

La présente norme couvre les exigences de sécurité particulières concernant les onduleurs transformant un courant continu en courant alternatif, ainsi que les produits possédant ou exécutant des fonctions d'onduleur en plus d'autres fonctions, lorsque l'onduleur

est destiné à être utilisé dans des systèmes photovoltaïques. Les onduleurs couverts par la présente norme peuvent être des onduleurs couplés au réseau, autonomes ou multimodes, ils peuvent être alimentés par des modules photovoltaïques simples ou multiples regroupés en diverses configurations de générateurs et ils peuvent être destinés à être utilisés conjointement avec des batteries ou avec d'autres formes de stockage d'énergie. La présente norme doit être lue conjointement avec la norme IEC 62109-1.

IEC 62271: Appareillage à haute tension - Toutes les parties

La série de normes IEC 62271 spécifie la conception, les performances, les essais et le fonctionnement sûr des appareillages à haute tension pour les systèmes à courant alternatif et à courant continu au-dessus de 1 kV. Elle couvre les équipements intérieurs et extérieurs fonctionnant jusqu'à 60 Hz pour les applications à courant alternatif et jusqu'à 100 kV et plus pour les systèmes en CCHT.

La partie 62271-1 fournit les spécifications communes pour tous les appareillages de commutation à courant alternatif haute tension, tandis que la 62271-3 traite les équipements intégrés numériquement et de leur conformité aux exigences de communication IEC 61850. La partie 62271-4 définit les procédures de manipulation sûre et respectueuse de l'environnement des gaz pour l'isolation et la commutation, et la norme TS 62271-5 précise les exigences communes pour les appareillages de commutation de courant continu à haute tension. Les normes spécifiques au produit, telles que 62271-100, détaillent davantage les exigences de performance et d'essai pour les équipements tels que les disjoncteurs de haute tension.

IEC 60076 : Transformateurs de puissance – Toutes les parties

La série de normes IEC 60076 spécifie la conception, les performances, les essais et le fonctionnement sûr des transformateurs de puissance utilisés sur les réseaux de transmission et de distribution. La norme 60076-1 définit les exigences générales relatives aux caractéristiques assignées, aux niveaux d'isolation, à l'échauffement, aux performances diélectriques et la

capacité de tenue aux courts-circuits.

En complément de la norme générale, la norme 60076-2 couvre les limites d'échauffement, la norme 60076-3 définit les méthodes d'essai diélectrique et la norme 60076-4 fournit des recommandations pour les essais au choc de foudre et au choc de manœuvre. La norme 60076-5 spécifie les exigences de tenue au court-circuit, tandis que la norme 60076-7 fournit le guide de charge pour les transformateurs immergés dans l'huile et la norme 60076-10 couvre les mesures des niveaux de bruit. Les parties spécialisées répondent à des technologies et à des applications spécifiques, notamment les transformateurs de type sec (60076-11), entre autres.

IEC 60255: Relais de mesure et dispositifs de protection – Toutes les parties

La série de normes IEC 60255 spécifie les exigences communes, les critères de performance, les méthodes d'essai et les règles de sécurité applicables aux relais de mesure et aux dispositifs de protection utilisés dans la protection, le contrôle, la surveillance et l'automatisation des systèmes électriques. La norme 60255-1 établit les règles générales et les exigences uniformes d'essai applicables aux relais de protection à l'état neuf, y compris les systèmes particuliers de protection distribuée et les technologies émergentes. Les normes fonctionnelles spécifiques incluent la norme 60255-12 pour les relais directionnels et les relais de puissance et la norme 60255-13 pour les relais différentiels à polarisation, chacune définissant des exigences détaillées de performance pour leurs sous-familles respectives. La série inclut également des normes de référence telles que la norme 60255-24, qui spécifie le format COMTRADE pour l'échange de données transitoires et d'événements entre les réseaux électriques et les environnements de simulation.

La norme IEC 60255-26 définit les exigences en matière d'émission et d'immunité de la CEM, tandis que la norme 60255-27 précise des exigences essentielles de sécurité électrique pour les relais et les dispositifs auxiliaires associés jusqu'à 1000 V CA ou 1500 V CC.

5 PLANIFICATION DES SYSTÈMES POUR L'INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES

Une planification efficace des systèmes est essentielle pour intégrer les sources d'énergie renouvelable variable (VRE) telles que l'éolien et le solaire aux réseaux électriques africains. Compte tenu de la demande énergétique croissante du continent, des infrastructures vieillissantes et du fort potentiel en énergies renouvelables, la planification stratégique garantit la fiabilité, la rentabilité et la durabilité.

L'intégration des énergies renouvelables dans les réseaux électriques africains nécessite le respect des normes reconnues internationalement afin d'assurer la fiabilité, l'interopérabilité et la sécurité. Vous trouverez ci-dessous les principales lignes directrices concernant la planification des systèmes pour l'intégration des énergies renouvelables.

5.1 Évaluation de l'impact d'une forte pénétration des énergies renouvelables - Évaluation de la capacité du réseau

L'évaluation de la capacité du réseau est une étape cruciale pour garantir que le système électrique puisse intégrer de manière sûre, fiable et efficace des sources supplémentaires d'énergie renouvelable telles que l'énergie solaire photovoltaïque et l'énergie éolienne. Pour atteindre les objectifs susmentionnés, il faut réaliser des études de flux de puissance, des études de stabilité transitoire et des analyses de court-circuit afin de déterminer la capacité du réseau à gérer l'intégration des énergies renouvelables. Lors de l'évaluation de la capacité de raccordement au réseau, l'impact des systèmes photovoltaïques sur toiture raccordés au réseau doit être dûment pris en compte par les planificateurs du réseau. De plus, l'investissement dans les technologies de réseaux intelligents (par exemple, capteurs avancés, automatisation) pour la surveillance en temps réel est également recommandé.

L'analyse et les calculs des courts-circuits doivent être réalisés conformément à la norme IEC 60909, tandis que l'évaluation de la stabilité du réseau avec une forte pénétration d'énergies renouvelables doit être réalisée conformément à la norme IEC 61000 afin de garantir que les centrales d'énergies renouvelables ne provoquent pas d'harmoniques ou de fluctuations de tension nocives.

5.2 Exigences relatives à la planification du réseau

La planification du réseau pour l'intégration des centrales d'énergie renouvelable doit garantir que les systèmes de transport et de distribution puissent accueillir la nouvelle production sans compromettre la sécurité, la fiabilité, la qualité de l'énergie ou la flexibilité d'exploitation. Les planificateurs doivent évaluer l'impact à long terme des raccordements d'énergies renouvelables sur la charge du réseau, les profils de tension, les niveaux de court-circuit, les marges de stabilité, la coordination de la protection et le risque de congestion. Les études doivent prendre en compte à la fois les conditions normales et de contingence, les variations saisonnières de la demande et l'évolution des caractéristiques des ressources à base d'onduleurs.

5.3 Coordination avec les opérateurs de transport et de distribution

La coordination entre les opérateurs de réseau de transport (TSO) et les opérateurs de réseaux de distribution (DSO) est essentielle à la réussite de l'intégration des sources d'énergie renouvelable au réseau. Cette coopération permet de maximiser l'utilisation des ressources énergétiques décentralisées (RED), augmente la flexibilité du système, réduit la congestion du réseau, améliore la fiabilité et la stabilité du système et optimise les investissements dans les infrastructures.

Les principaux facteurs facilitant cette coordination sont les plateformes d'échange de données, la numérisation et les rôles clairement définis pour les TSO et les DSO.

5.4 Planification et prévision à long terme

5.4.1 Planification à long terme

La planification à long terme est essentielle à la réussite de l'intégration des énergies renouvelables et prend en compte les besoins globaux du réseau électrique, notamment les prévisions de la demande d'électricité et les infrastructures du réseau. La planification doit garantir la stabilité du réseau, tout en assurant une capacité de réserve suffisante et des services d'équilibrage capables de gérer les fluctuations des énergies renouvelables variables.

Une planification précise à long terme permettra aux planificateurs du système de déterminer si des systèmes de stockage d'énergie seront nécessaires pour minimiser les risques d'insuffisance en énergie. Ces systèmes de stockage d'énergie pourront ensuite être déployés de manière optimale à des emplacements stratégiques du réseau.

5.4.2 Prévisions

La prévision aide à gérer la variabilité des sources d'énergie renouvelable telles que l'énergie éolienne et solaire, tandis que la planification prend en compte les besoins globaux du réseau, y compris la stabilité et l'équilibrage du réseau. Une prévision précise de la production d'énergies renouvelables variables est essentiel pour gérer l'intermittence de l'énergie éolienne et solaire, qui peut fluctuer selon les conditions météorologiques.

Les techniques de prévision utilisent à la fois des modèles physiques (comme les prévisions météorologiques) et des modèles statistiques basés sur des données historiques pour prédire la production d'énergie. La prévision centralisée offre une vue d'ensemble de la production d'énergies renouvelables variables au niveau régional ou étatique, tandis que la prévision décentralisée se concentre sur les informations au niveau des centrales.

La prévision aide les producteurs d'énergie à optimiser leurs plans de production. Elle permet également aux opérateurs de réseau d'estimer les charges attendues et de garantir les ressources de production nécessaires pour répondre à la demande, tout en assurant des marges de réserve adéquates. Elle leur permet aussi de prévoir, de planifier et de gérer l'insuffisance d'énergie.

Les producteurs d'énergies renouvelables doivent fournir une prévision quotidienne de la production à l'opérateur du réseau.

Norme relative

IEC TR 63043: Technologie de prévision de la production d'énergies renouvelables

Le présent rapport technique décrit les pratiques courantes et l'état de l'art en matière de technologie de prévision d'énergies renouvelables, y compris les besoins généraux en matière de données, les méthodes de prévision de la production d'énergies renouvelables et l'évaluation des erreurs de prévision. Aux fins du présent document, l'énergie renouvelable fait référence à l'énergie renouvelable variable qui comprend principalement l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque (PV) – ce sont les sujets du document. D'autres énergies renouvelables variables, comme l'énergie solaire à concentration, l'énergie houlomotrice et l'énergie marémotrice, etc., ne sont pas présentées dans le présent document, car leur capacité est faible, tandis que la prévision de l'hydroélectricité est un domaine nettement différent et n'est donc pas abordé ici.

Les objectifs de la prévision en matière de la production d'énergies renouvelables peuvent être les éoliennes, un parc éolien, ou une région avec de nombreux parcs éoliens (respectivement des systèmes photovoltaïques, des centrales photovoltaïques et des régions à forte pénétration photovoltaïque). Le présent document vise à fournir des orientations techniques concernant les technologies de prévision à plusieurs échelles spatiales et temporelles, la prévision probabiliste et la prévision des événements de rampe pour l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque.

Le présent document présente les aspects fondamentaux de la technologie de prévision de la production d'énergie renouvelable. C'est le premier document de l'IEC lié à la prévision de la production d'énergies renouvelables.

6 TRANSFERT D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

Le transfert d'énergie est essentiel pour l'énergie renouvelable car il relie la production à la demande, améliore la viabilité commerciale de l'énergie propre et favorise la transition énergétique en permettant un accès plus large au réseau et aux marchés de l'électricité. Ceci facilite une meilleure adoption et une utilisation optimale d'énergies renouvelables.

6.1 Directives pour la participation aux accords de transfert

Le transfert d'énergie est essentiel pour les énergies renouvelables car il relie la production à la demande, améliore la viabilité commerciale de l'énergie propre et favorise la transition énergétique en permettant un accès plus large au réseau et aux marchés de l'électricité. Ceci facilite une adoption accrue et une utilisation optimale d'énergies renouvelables.

Chaque pays a généralement ses propres cadres et règles en matière de transfert d'électricité. De plus, les arrangements transfrontaliers de transfert sont régis par des cadres régionaux qui définissent les principes et les règles à respecter par les participants. En général, il est recommandé que les codes d'interconnexion et les accords de transfert standard prennent en compte les aspects suivants:

- Cadre réglementaire et politique
- Exigences techniques et opérationnelles
- Comptage, gestion de données et règlement
- Considérations économiques et financières
- Cadre contractuel et juridique
- Exploitation et coordination du système
- Intégration d'énergies renouvelables et stabilité du réseau
- Transfert régional et transfrontalier
- Numérisation et innovation

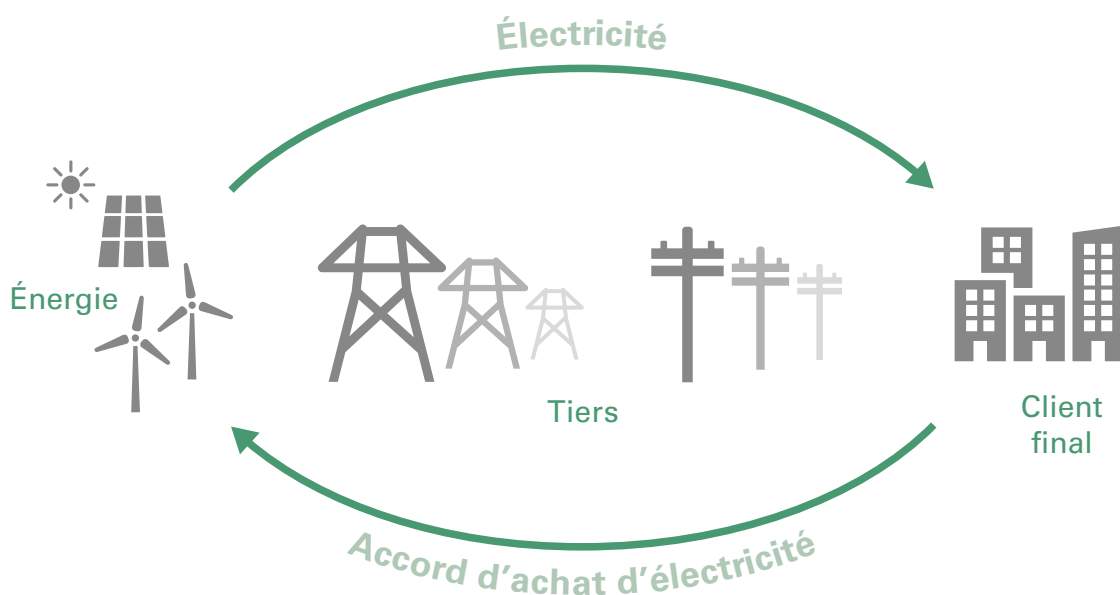


Figure 1: Vue schématique d'une transaction de transfert d'électricité

Source: rapport de transfert d'électricité d'Association des gouvernements locaux sud-africains (SALGA), 2023

7 SUIVI DES PERFORMANCES ET CONFORMITÉ

Il s'agit de la capacité du réseau électrique à collecter, à évaluer et à rendre compte de la performance et de la conformité des systèmes d'énergie renouvelable raccordés au réseau en conditions d'exploitation, en utilisant des normes de données et des métriques du système définies. Cela garantit la stabilité du réseau, facilite la planification et permet une amélioration continue en matière de la performance des technologies d'énergie renouvelable intégrées.

7.1 Normes de collecte et de communication de données

La collecte et la communication de données doivent être effectuées conformément aux normes, politiques et réglementations nationales, régionales et internationales reconnues afin d'assurer la cohérence, la comparabilité et la traçabilité des métriques de performance dans les installations d'énergies renouvelables. Les systèmes doivent être conçus pour acquérir des données à synchronisation temporelle et à haute résolution, relatives à la puissance active, à la puissance réactive, à la tension, à la fréquence et à la qualité de l'énergie. Ceci est nécessaire pour l'analyse de l'exploitation, la planification du réseau et l'évaluation de la conformité. Les enregistrements de la performance du système lors des perturbations doivent être utilisés pour vérifier l'exactitude des modèles de réseau utilisés pour les études de système.

Selon la norme IEC TS 62933-3-1:2018, les systèmes de stockage d'énergie électrique (EES) de catégorie 3 doivent être surveillés à l'aide de paramètres précis pour l'efficacité de charge/décharge, la conservation de capacité, l'état de charge (SOC), la tension, la fréquence et la disponibilité opérationnelle. Les données collectées doivent être agrégées, rapportées et archivées selon des formats de rapport standard afin de faciliter la conformité réglementaire et l'analyse comparative. Selon la norme IEC TS 62933-3-1:2018, les normes communes de communication impliquant les centres de contrôle incluent les normes IEC 60870-5-101, IEC 60870-5-104, IEC 60870-6 et IEEE Std 1815.

Dans le domaine de la production éolienne, par exemple, la norme IEC 61400-21-1 spécifie la méthodologie de mesure et d'évaluation des caractéristiques de la qualité de l'énergie des

éoliennes connectées au réseau, classée en cinq aspects: qualité de l'énergie, fonctionnement en régime permanent, performance de contrôle, performance dynamique et déconnexion du réseau. Les rapports de conformité doivent inclure à la fois des flux de données en temps réel et des rapports périodiques soumis aux organismes de réglementation et aux opérateurs du réseau, avec des alarmes automatiques en cas de non-conformité.

Norme relative

IEEE Std 1815 – Communication des systèmes d'alimentation électrique - Protocole de réseau distribué (DNP 3)

Le but de la présente norme est de documenter et de rendre disponibles les spécifications du protocole de réseau distribué (DNP 3). Bien que le présent protocole soit principalement destiné à l'industrie des services publics d'électricité, d'autres industries fournissant de l'énergie et de l'eau utilisent également le protocole DNP3. L'objectif de la présente norme DNP3 est de répondre à l'objectif défini par l'Institut national des normes et de la technologie (NIST) pour un protocole de réseau intelligent:

- Fournir un protocole standard provenant d'un organisme de normalisation reconnu.
- Assurer l'interopérabilité avec des centaines de systèmes opérationnels et des milliers d'appareils.
- Fournir la cybersécurité basée sur la norme IEC/TS 62351-5.
- Fournir des profils de données d'appareils dans un format compatible avec les modèles d'objets de la norme IEC 61850.

Les fournisseurs peuvent utiliser la présente norme pour mettre en œuvre et tester le protocole dans leurs produits et être assurés de l'interopérabilité.

7.2 Métriques d'évaluation de la performance et de la stabilité du système y

Des métriques standards doivent être définies et mises en œuvre pour évaluer la performance et la stabilité des systèmes d'énergies renouvelables au sein du réseau. Ces mesures comprennent la cohérence de la puissance produite, le rendement énergétique, la régulation de tension, la réponse en fréquence, les taux de rampe et la contribution à l'inertie du système. Pour les systèmes de stockage d'énergie, les indicateurs clés de performance incluent l'efficacité aller-retour, le temps de réponse, la disponibilité du système et le taux de dégradation, tels que définis dans la norme IEC TS 62933-3-1. Ces métriques sont essentielles pour déterminer l'état de préparation du système et sa performance tout au long de son cycle de vie.

Par exemple, les éoliennes doivent être évaluées à l'aide des métriques de la qualité d'énergie définies dans la norme IEC 61400-21-1, garantissant un impact négatif minimal sur la stabilité du réseau grâce à un contrôle approprié des harmoniques, du flicker et des écarts de tension. Toutes les métriques de performance doivent être évaluées

dans des conditions normales et dynamiques du réseau, à l'aide de modèles validés et de mesures sur le terrain.

Pour les systèmes photovoltaïques, la vérification de la performance énergétique doit être effectuée conformément à la norme IEC TS 61724-2. L'indicateur de performance énergétique (IPE), défini comme le rapport entre la puissance de sortie mesurée du système dans les conditions d'essai et sa puissance attendue dans les mêmes conditions selon la conception du système, est recommandé comme une métrique principale pour la validation de la capacité et l'acceptation contractuelle.

Les systèmes de mesure doivent garantir une précision et une résolution élevées, avec des processus d'assurance qualité en place pour valider l'intégrité des données. En appliquant ces normes et ces indicateurs de performance, les services publics et les opérateurs peuvent garantir que les systèmes d'énergie renouvelable contribuent de manière fiable au réseau électrique africain, soutiennent les objectifs de stabilité et respectent les cadres réglementaires techniques.

Normes relatives

IEC TS 62933-3-1 - Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) - Partie 3-1: Planification et évaluation des performances des systèmes de stockage de l'énergie électrique - Spécifications générales

Le présent document s'applique aux systèmes EES conçus pour l'installation et le fonctionnement raccordés au réseau, soit à l'intérieur ou à l'extérieur. Le présent document examine les fonctions et les capacités nécessaires des systèmes EES; les éléments d'essai et les méthodes d'évaluation des performances des systèmes EES; les exigences pour la surveillance et l'acquisition des paramètres de fonctionnement des systèmes EES; et, l'échange d'informations entre les systèmes et les capacités de commande requises.

IEC TS 61724-2 – Performance des systèmes photovoltaïques - Partie 2: Indicateur de performance énergétique et méthode d'évaluation de la capacité

Le présent document s'applique aux systèmes photovoltaïques raccordés au réseau comprenant au moins un onduleur. Les essais évaluent le système photovoltaïque uniquement lorsque sa production n'est pas limitée par des contraintes de puissance à courant alternatif provenant des onduleurs. Le présent document définit un essai de l'indicateur de performance énergétique (IPE) d'un système photovoltaïque. L'IPE, défini dans la norme IEC 61724-1, est le rapport entre la puissance de sortie mesurée d'un système dans les conditions d'essai et sa puissance attendue dans les mêmes conditions selon la conception du système. L'essai est destiné à être réalisé sur une courte période, généralement de trois à cinq jours, et sert habituellement à satisfaire à une garantie de performance contractuelle dans le cadre de l'achèvement final d'une centrale électrique photovoltaïque.



IECTS 61724-3 – Performance des systèmes photovoltaïques - Partie 3: Méthode d'évaluation énergétique

Le présent document définit une procédure pour mesurer et analyser la production d'énergie d'un système photovoltaïque donné par rapport à la production d'énergie électrique attendue pour le même système dans des conditions météorologiques réelles telles que définies par les parties prenantes de l'essai.

La production d'énergie est spécifiquement caractérisée pour les périodes où le système fonctionne (disponible); les moments où le système n'est pas opérationnel (indisponible) sont quantifiés dans le cadre d'une métrique de disponibilité. L'objectif de cette spécification technique est de définir une procédure pour comparer l'énergie électrique mesurée avec l'énergie électrique attendue du système photovoltaïque.

IEC 60870-5-101 – Matériels et systèmes de téléconduite - Partie 5-101: Protocoles de transmission - Norme d'accompagnement pour les tâches élémentaires de téléconduite

La présente norme s'applique à la téléconduite d'équipements et de systèmes dotés d'une transmission série codée bit par bit pour la conduite et le contrôle de processus dispersés géographiquement. Elle définit une norme d'accompagnement de téléconduite qui rend possible l'interopérabilité entre des équipements de téléconduite compatibles. La norme d'accompagnement de téléconduite définie est conforme aux normes de la série IEC 60870-5. Cette publication est d'une grande importance pour les réseaux intelligents.

IEC 60870-5-104 – Matériels et systèmes de téléconduite - Partie 5-104: Protocoles de transmission - Accès aux réseaux utilisant des profils de transport normalisés pour l'IEC 60870-5-101

La présente norme est une norme d'accompagnement de téléconduite qui rend possible l'interopérabilité entre des équipements de téléconduite compatibles. Elle s'applique à la téléconduite d'équipements et de systèmes dotés d'une transmission série codée bit par bit pour la conduite et le contrôle de processus dispersés géographiquement. Cette publication est d'une grande importance pour les réseaux intelligents.

IEC 61400-21-1 - Systèmes de génération d'énergie éolienne - Partie 21-1: Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Éoliennes

Se référer à la section 4.3.2 du présent guide pour le résumé.

8 PROTECTION, AUTOMATISATION ET CONTRÔLE

L'intégration d'énergies renouvelables aux réseaux électriques africains nécessite un cadre solide pour le contrôle, la communication et la protection des centrales.

Les systèmes de protection des centrales d'énergie renouvelable doivent être conçus de manière à garantir un fonctionnement sûr, une détection fiable des défauts et une coordination adéquate avec le réseau plus large. Les ressources à base d'onduleurs produisent des courants de défaut plus faibles et contrôlés, ce qui affecte les philosophies traditionnelles de protection; par conséquent, des relais, des réglages et des systèmes assistés par communication appropriés doivent être appliqués. La conception doit également prendre en compte l'anti-îlotage, la conformité au code du réseau et la stabilité du système lors des perturbations. Dans l'ensemble, la protection doit être optimisée pour garantir la sécurité du personnel, la protection d'équipements et l'intégration sécurisée de la génération d'énergie renouvelable au réseau.

L'opérateur du réseau doit s'assurer que toutes les centrales d'énergie renouvelable respectent les spécifications suivantes, décrites dans les sections 8.1 à 8.4 du présent guide.

8.1 Contrôle et communication

Les centrales d'énergies renouvelables doivent mettre en œuvre des infrastructures de télécommunications et de comptage pour permettre une surveillance, un contrôle et un échange de données sécurisés et en temps réel avec les postes et les centres de contrôle des opérateurs du réseau. Les systèmes de communication doivent se conformer à la série IEC 61850 pour l'interopérabilité et prendre en charge les modèles de données normalisés (par exemple, IEC 61850-90-7 pour les énergies solaire et éolienne). Les systèmes SCADA doivent être mis en œuvre pour assurer une visibilité centralisée, l'enregistrement des événements, la gestion des alarmes et des fonctions de télécommande.

8.1.1 Communications de téléprotection

Les systèmes de téléprotection doivent garantir un échange de signaux à haute vitesse et très fiable entre les relais de protection situés à différents postes ou points de raccordement de l'installation. Le temps requis de transmission de bout en bout

pour les signaux de téléprotection doit généralement être inférieur à 10 ms pour assurer l'élimination rapide des défauts et la stabilité du système. Les canaux de téléprotection doivent prendre en charge la redondance (double voie de communication) afin d'atténuer les risques de point de défaillance unique. Les protocoles tels que IEEE C37.94 (interface optique pour les relais de protection) et IEC 60834-1 (performance et essais d'équipements de téléprotection) doivent être appliquées.

8.1.2 Supports de communication

Le choix des supports de communication doit prendre en compte la latence, la disponibilité, la sécurité et les conditions environnementales:

- **Fibre optique:** support privilégié pour la téléprotection et les systèmes SCADA en raison de sa faible latence, de sa large bande passante, de son immunité aux interférences électromagnétiques et de sa capacité à couvrir de longue distance.
- **Liaisons radioélectriques micro-ondes:** utilisées comme solution de secours ou dans des zones où le déploiement de la fibre optique n'est pas possible; elles doivent fournir une bande passante et une latence suffisante pour les signaux de protection.
- **Courants porteurs en ligne (CPL):** peut être utilisé pour les systèmes existants ou en zones rurales, mais la bande passante limitée et la sensibilité au bruit restreignent leur application aux canaux de secours.
- **Communications par satellite:** généralement évitées pour la téléprotection en raison de la latence, mais elles peuvent servir de solution de secours d'urgence pour les systèmes SCADA ou la surveillance dans les sites éloignés.

8.1.3 Cybersécurité et fiabilité

Tous les canaux de communication doivent mettre en œuvre **le chiffrement, l'authentification et le contrôle d'accès** afin d'éviter les cyber-intrusions dans les systèmes de protection et de contrôle (conformément à la norme IEC 62351). Les systèmes doivent être conçus pour **une haute disponibilité**

(>99,99 %), avec des chemins redondants, un basculement automatique et une surveillance continue. Les conditions environnementales en Afrique (chaleur, poussière, humidité, exposition à la foudre) nécessitent des équipements de communication robuste, adaptés aux environnements extérieurs, et une protection contre les surtensions.

8.2 Philosophie de protection

La protection doit garantir la sélectivité, la sensibilité, la rapidité et la sécurité, tout en tenant compte de la contribution limitée au courant de défaut des ressources à base d'onduleurs. Des systèmes de protection adaptatifs sont nécessaires pour prendre en compte les flux de puissance bidirectionnels et les conditions dynamiques du réseau. La protection anti-îlotage est obligatoire à tous les points d'interconnexion.

8.3 Code du réseau et conformité aux normes

Les installations doivent supporter la tenue aux creux de tension, la tenue en cas de défaut de tension et le contrôle des taux de rampe conformément aux codes nationaux du réseau. Les équipements de protection et d'automatisation doivent être conformes à la série de normes IEC 60255 (coordination générale, surintensité, fréquence, protection différentielle et à distance).

Les installations d'énergies renouvelables doivent se conformer à la norme IEC 62934 relative aux exigences d'intégration du réseau. De plus, les exigences suivantes s'appliquent aux différents systèmes d'énergie renouvelable:

a) Systèmes photovoltaïques solaires

Les onduleurs photovoltaïques doivent fournir les fonctions de protection contre la sous-tension, la surtension et les variations de fréquence ainsi que la protection de phase. Les systèmes anti-îlotage doivent être mis en œuvre pour déconnecter en toute sécurité les sections isolées. Pour les systèmes photovoltaïques distribués dans les micro-réseaux, la protection doit être coordonnée entre les centrales solaires, le stockage et les charges (série IEC 62898).

b) Systèmes de génération d'énergie éolienne

La protection doit prendre en compte les technologies spécifiques aux turbines (générateur à induction à double alimentation «DFIG» ou générateur synchrone à entraînement direct). La coordination est nécessaire entre la protection au niveau de la turbine, du réseau de captage et du réseau de transport. La protection de la qualité de l'énergie doit atténuer le flicker et les harmoniques (séries IEC 61400, IEC 60255-1). Les systèmes de protection contre la foudre sont obligatoires.

c) Installations hydroélectriques

Les grandes centrales hydroélectriques à générateurs synchrones assurent l'inertie et soutiennent la protection traditionnelle. Les petites centrales hydroélectriques ou celles au fil de l'eau avec convertisseurs nécessitent des principes de protection à base d'onduleurs. Toutes les centrales hydroélectriques doivent se coordonner avec des zones de protection au niveau du réseau.

d) Systèmes de micro-réseaux

La protection des micro-réseaux doit couvrir le mode îlotage ou de connexion au réseau avec reconfiguration automatique. Le stockage d'énergie doit être intégré à des fonctions de protection pour les états de charge et de décharge (IEC 61427). Une protection de synchronisation est requise pour la reconnexion au réseau principal.

e) Communication et automatisation

Les systèmes de protection doivent utiliser des supports de communication à haute disponibilité (fibre optique de préférence; sans fil en secours). Les systèmes de surveillance à large zone (WAMS) avec les unités de mesure de phaseur (PMU) doivent fournir une visibilité en temps réel à travers les régions. Une protection différentielle avec communication et un relais adaptatif doivent être appliqués (IEC 61850, IEC 60255-187).

8.4 Vérification de la conformité

La conformité sera démontrée par des essais, la mise en service et des audits continus comme suit:

a) Essais en usine et sur site

Les essais d'acceptation en usine (FAT) et les essais de pré-mise en service/les essais d'acceptation sur site (SAT) doivent valider les performances d'équipements selon les exigences de la norme IEC 60255. Les essais dynamiques (matériel incorporé ou simulation) confirment les capacités de tenue aux variations, de la coordination et de la détection des défauts.

b) Mise en service

La vérification de la coordination de protection sous différents niveaux de production renouvelable. Les essais de conformité au protocole de communication selon la norme IEC 61850. Les contrôles anti-îlotage et de synchronisation.

c) Conformité continue

Des études périodiques de coordination de la protection doivent être réalisées pour refléter l'évolution des conditions du système. Les données SCADA et WAMS doivent être conservées à des fins de surveillance de la conformité et d'enquête sur les incidents. Les programmes de maintenance et de formation doivent garantir les capacités techniques locales pour une durabilité à long terme.

Normes relatives (groupées):

COMMUNICATION ET AUTOMATISATION

Série de norme IEC TR 61850: Réseaux et systèmes de communication pour l'automatisation des systèmes électriques

Consultez la section 4.6 du présent guide pour le résumé.

Série de norme IEC 61869: Transformateurs de mesure

La série IEC 61869 définit les exigences générales et spécifiques au produit pour les transformateurs d'instruments utilisés pour la mesure, la protection et le contrôle dans les systèmes électriques d'alimentation à courant alternatif et à courant continu.

La partie 61869-1 établit les règles communes applicables à tous les transformateurs de mesure dont la tension nominale est supérieure à 1 kV en courant alternatif ou à 1,5 kV en courant continu, constituant ainsi la norme de base pour la série. Les parties suivantes fournissent les exigences supplémentaires pour certains types de transformateurs, notamment les transformateurs de courant (61869-2), les transformateurs inductifs de tension (61869-3) et les transformateurs combinés (61869-4), ainsi que les transformateurs condensateurs de tension (61869-5) pour les systèmes haute tension. La série inclut également des normes pour les transformateurs de courant passifs de faible puissance et les transformateurs de tension passifs de faible puissance (61869-10 et 61869-11), l'interface numérique et les exigences de communication (61869-9), ainsi que les concentrateurs autonomes (61869-13) utilisées pour convertir des signaux analogiques en des sorties numériques conformes à la norme IEC 61850.

Pour les applications en courant continu, la série spécifie les exigences supplémentaires concernant les transformateurs de courant pour application en courant continu (61869-14) et les exigences supplémentaires concernant les transformateurs de tension pour application en courant continu (61869-15) utilisés dans les systèmes de courant continu à haute tension et à base de convertisseurs, répondant aux exigences spécifiques des mesures de courant continu, du contenu harmonique, de la polarité et de la capacité de tenue.

DISPOSITIFS DE PROTECTION

IEC 60255: Relais de mesure et dispositifs de protection: Voir la section 4.6 du présent guide pour le résumé.

INTÉGRATION D'ÉNERGIE RENOUVELABLE

IEC 62934: Intégration de la production d'énergie renouvelable aux réseaux électriques - Termes et définitions

La présente norme fournit des termes et des définitions relatifs au domaine de l'intégration de la production d'énergie renouvelable aux réseaux électriques. Les questions techniques de l'intégration aux réseaux électriques portent principalement sur les problèmes causés par la production d'énergie renouvelable à partir de sources variables et/ou de technologies à base de convertisseurs, telles que l'énergie éolienne et l'énergie photovoltaïque.

Certaines productions d'énergie renouvelable, telles que l'énergie hydraulique et la biomasse obtenues à partir d'une source d'énergie primaire disponible de manière relativement continue et d'une génératrice tournante, constituent des sources de production conventionnelles et ne sont donc pas couvertes par le présent document. Le présent document est destiné à répondre à la question «que signifient les termes?» et non «dans quelles conditions les termes s'appliquent?»

MICRO-RÉSEAUX

Série de norme IEC 62898: Micro-réseaux

La série de normes IEC 62898 fournit des directives techniques et des exigences complètes pour la planification, la spécification, l'exploitation, la protection et le contrôle des micro-réseaux à courant alternatif de basse et de moyenne tension.

La partie 62898-1 traite de la planification et des spécifications de projets, y compris les applications de micro-réseaux, la prévision des RED et de charge, la conception du système, les exigences de haut niveau pour les RED, l'interconnexion, le contrôle, la protection et les systèmes de communication. Les micro-réseaux sont classés comme isolés ou non isolés. Les micro-réseaux non isolés sont capables de fonctionner en modes connectés au réseau et en mode îloté.

La partie 62898-2 définit les directives d'exploitation et de contrôle, en couvrant les transitions de mode, les systèmes de gestion de l'énergie, les procédures de surveillance et de communication, l'intégration du stockage, les principes de protection pour les micro-réseaux isolés et

non isolés ainsi que les exigences pour la mise en service, la maintenance et les essais. La partie 62898-3-1 fournit les exigences techniques relatives à la protection contre les défauts et au contrôle dynamique, en se concentrant sur les défis uniques de protection des micro-réseaux et sur les stratégies de gestion des perturbations afin d'assurer un fonctionnement sûr et stable. En complément de cela, la Partie 62898-3-2 spécifie les exigences relatives aux systèmes de gestion de l'énergie des micro-réseaux (MEMS), en détaillant les performances attendues, les blocs fonctionnels clés, les protocoles d'échange d'informations, l'équilibrage de la puissance et de l'énergie, la prévision, l'optimisation et les capacités des services auxiliaires.

La partie 62898-3-3 définit les exigences relatives à l'autorégulation autonome en charge commandée afin de soutenir la stabilité en fréquence et en tension grâce à la modulation de charge et à l'inertie synthétique.

STOCKAGE D'ÉNERGIE

IEC 61427 – Toutes les parties: Accumulateurs pour le stockage d'énergie renouvelable - Exigences générales et méthodes d'essais

La série de normes 61427 spécifie les exigences générales et les méthodes d'essais pour les accumulateurs utilisés dans les systèmes de stockage d'énergie renouvelable, fournissant des procédures chimiquement neutres pour évaluer l'endurance, la performance et l'adéquation dans des conditions réelles de fonctionnement. La partie 61427-1 traite des batteries utilisées dans les systèmes photovoltaïques hors réseau, détaillant les méthodes de vérification des performances pour les accumulateurs fonctionnant dans des applications photovoltaïques autonomes.

La partie 61427-2 porte sur les batteries d'accumulateurs utilisées dans les applications de stockage d'énergie électrique (EES) en réseau, où les systèmes de stockage s'interfacent avec les réseaux régionaux ou nationaux via des dispositifs de conversion d'énergie et font office de sources ou de réservoir d'énergie instantanées pour soutenir la stabilité du réseau en cas de génération d'énergie renouvelable variable.

SÛRETÉ DE FONCTIONNEMENT DES MODULES PHOTOVOLTAÏQUES

IEC 61730: Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV)

La série des normes 61730 définit les exigences

de sûreté pour les modules photovoltaïques (PV). La partie 61730-1 précise les critères de construction nécessaires pour prévenir les chocs électriques, les risques d'incendie et les blessures mécaniques pour les modules PV terrestres à plaque plane fonctionnant dans des environnements extérieurs.

La partie 61730-2 fournit les séquences d'essais destinées à vérifier la sûreté des modules PV, permettant de vérifier la conformité à ces exigences de construction et d'identifier les défaillances susceptibles de compromettre la sécurité électrique ou mécanique.

CEM

IEC 61000 – Toutes les parties: Compatibilité électromagnétique (EMC)

La série 61000 fournit le cadre de gestion de la compatibilité électromagnétique (CEM) entre les équipements électriques et électroniques, les systèmes électriques et les environnements d'installation. Elle établit les principes fondamentaux de la CEM, définit les environnements de perturbation, fixe les limites d'émission et d'immunité, et spécifie les techniques de normalisation, d'essais et de mesure. La série inclut également des recommandations sur l'installation, l'atténuation des risques et l'évaluation de qualité de l'énergie afin d'assurer un fonctionnement fiable en présence de perturbations électromagnétiques.

Chaque Partie de cette série comporte plusieurs sous-parties. La partie n° 1 fournit des définitions fondamentales, des concepts et des principes généraux de la CEM. La partie n° 2 caractérise les environnements électromagnétiques et établit des niveaux de compatibilité dans différents contextes de système. La partie n° 3 fixe les limites d'émission et d'immunité, en traitant principalement les problèmes de qualité de l'énergie tels que les harmoniques, le flicker et le déséquilibre de tension. La partie n° 4 définit les techniques standards d'essais et de mesures utilisées pour évaluer la performance de la CEM d'équipements. La partie n° 5 propose des directives d'installation et d'atténuation, couvrant les pratiques de mise à la terre, de blindage, de câblage et de protection contre les surtensions. La partie n° 6 inclut des normes génériques d'émissions et d'immunité pour divers environnements (industriel, résidentiel et postes).

9 EXIGENCES POUR LA SÉCURITÉ D'EXPLOITATION DES INSTALLATIONS

9.1 Systèmes de sécurité pour les centrales d'énergie renouvelable

Les systèmes de sécurité pour les centrales d'énergie renouvelable, telles que les parcs solaires et éoliens, sont essentiels pour garantir un fonctionnement sûr et fiable. Ces systèmes englobent divers aspects, notamment des mesures de protection électrique, physique et environnementale, conçues pour atténuer les risques et maintenir l'efficacité du fonctionnement.

Les systèmes spécifiques nécessaires à une centrale d'énergie renouvelable dépendront de ses dimensions, de son emplacement et des types spécifiques de technologies utilisées. Une approche globale, combinant des mesures de protection électrique, physique et environnementale, est nécessaire pour garantir le fonctionnement sûr et fiable des installations d'énergie renouvelable.

Les paramètres de protection doivent être calculés de manière à ce que le système de protection soit sensible, fiable, sécurisé et rapide pour tous les courts-circuits possibles. Afin d'assurer la rapidité d'exploitation, les applications de protection à distance doivent être équipées de dispositifs de téléprotection.

Pour assurer à la fois la rapidité et la sécurité, les applications de protection différentielle doivent être équipées de dispositifs spécialisés de téléprotection par fibre optique. Ceci vise à assurer un fonctionnement correct de la protection permettant d'éliminer les défauts dans le temps de protection, de limiter l'impact sur la zone affectée par les défauts et de permettre un fonctionnement stable, sûr et sécurisé du système électrique interconnecté.

Les systèmes de secours à courant continu (CC) d'une capacité et d'une autonomie appropriées sont nécessaires pour soutenir l'installation et l'équipement du poste.

Aux points de raccordement, il doit également y avoir des dispositifs de contrôle de synchronisation pour s'assurer que les mesures de tension et de fréquence sont dans les limites acceptables lors de la connexion des systèmes. Un mauvais fonctionnement des systèmes de protection, résultant d'un mauvais réglage ou d'un dysfonctionnement du relais, peut être la cause ou le facteur contribuant à une panne majeure du réseau.

Par conséquent, les systèmes de protection doivent être testés et entretenus régulièrement. Les essais de dispositifs de protection des interconnexions doivent être coordonnés entre les deux zones. Les rapports d'essais doivent être mis à disposition des parties prenantes concernées.

Pour améliorer la performance de dispositifs de protection, les indicateurs clés de performance (KPI) relatifs à la sécurité et à la fiabilité des systèmes de protection doivent être formulés, suivis, analysés et comparés aux pratiques internationales.

9.1.1 Protection électrique

a) Protection contre la foudre

Les centrales d'énergie renouvelable, en particulier les centrales solaires, sont vulnérables à la foudre. Les systèmes de protection contre la foudre sont essentiels pour minimiser les dommages causés aux équipements et au personnel. Ces systèmes comprennent généralement des paratonnerres, des systèmes de mise à la terre et des parafoudres pour dissiper l'énergie de foudre en toute sécurité.

b) Dispositifs de protection contre les surtensions (SPD)

Les SPD protègent contre les surtensions et les pics de tension causés par la foudre, les manœuvres et autres perturbations électriques. Ils sont essentiels à la protection des onduleurs et autres équipements électriques.

c) Protection contre les surcharges

La protection contre la surcharge, incluant la protection contre les surintensités instantanées (IOC) et la protection contre les surintensités temporisées (TOC), prévient les dommages aux équipements et l'instabilité du système due à des courants excessifs.

d) Protection différentielle

Ce système détecte les défauts dans des zones spécifiques du système, comme les générateurs ou les transformateurs et les isole rapidement, limitant ainsi les dommages et empêchant la propagation du défaut.

e) Protection à distance

Cette méthode protège les lignes de transmission et autres équipements à longue distance en mesurant l'impédance et la distance par rapport à un défaut, permettant ainsi une élimination rapide et sélective des défauts.

f) Relais de protection et coordination des relais

Les relais de protection détectent les anomalies telles que les défauts et isolent automatiquement les équipements défectueux, évitant ainsi des dommages plus importants au système. La coordination des relais garantit que les relais fonctionnent ensemble efficacement, évitant ainsi les défaillances en cascade.

g) Protection contre les incendies

Les systèmes d'extinction d'incendie, y compris les gicleurs et les matériaux ignifuges, sont essentiels pour protéger les centrales électriques, y compris les installations d'énergie renouvelable, contre les risques d'incendie.

9.1.2 Protection physique**a) Sécurité périmétrique**

Les centrales solaires et autres installations d'énergie renouvelable nécessitent une sécurité périmétrique renforcée pour dissuader le vol, le vandalisme et les accès non autorisés. Cela comprend des clôtures, un système de surveillance CCTV et, potentiellement, un personnel de sécurité.

b) Systèmes de sécurité

Les caméras de vidéosurveillance, y compris les caméras PTZ et thermiques, peuvent surveiller de vastes zones et assurer une sécurité en temps réel.

c) Contrôle d'accès

La mise en œuvre de mesures de contrôle d'accès, telles que des cartes-clés ou des systèmes biométriques, peut aider à restreindre l'accès aux zones sensibles.

d) Clôture

Le fil barbelé et d'autres matériaux de clôture peuvent être utilisés pour dissuader les intrus et créer une barrière physique.

9.1.3 Environmental Protection**a) Systèmes d'irrigation**

Dans certains cas, des systèmes d'irrigation peuvent être utilisés pour contrôler la poussière et préserver l'environnement autour de la centrale d'énergie renouvelable.

b) Contrôle des contaminants

Des mesures pour contrôler la poussière et d'autres contaminants peuvent être mises en place afin de protéger l'environnement et l'équipement.

9.2 Normes de sécurité pour les opérateurs et l'équipement

Les normes de sécurité, relatives à l'intégration d'énergie renouvelable pour les opérateurs et l'équipement, sont cruciales pour prévenir les accidents et garantir un environnement de travail sûr. Ces normes englobent divers aspects, notamment la formation des opérateurs, la maintenance d'équipement, l'identification des dangers et les mesures de contrôle. Les normes de sécurité pour les opérateurs et l'équipement visent à garantir un environnement de travail sûr en exigeant des vérifications préalables à l'exploitation, un entretien régulier, une utilisation appropriée d'équipement de protection individuelle (EPI) et une communication efficace. Les normes associées ci-dessous s'appliquent.

Normes relatives**IEC 62109-1: Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 1: Exigences générales**

Se référer à la section 4.6 du présent guide pour le résumé.

IEC 62109-2: Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes photovoltaïques – Partie 2: Exigences particulières pour les onduleurs

Se référer à la section 4.6 du présent guide pour le résumé.

IEC 62116: Onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau public - Procédure d'essai des mesures de prévention contre l'îlotage

Cette norme fournit une méthode d'essai pour évaluer la performance des mesures de prévention contre l'îlotage utilisées avec des systèmes PV interconnectés au réseau public. La présente norme décrit des lignes directrices pour les essais de performance des mesures de prévention contre l'îlotage automatique installées dans ou avec des onduleurs PV interactifs avec le réseau public monophasés ou multi-phasés, connectés au réseau public d'électricité. La procédure et les critères d'essai décrits sont les exigences minimales qui permettent la répétabilité.

10 ESSAIS ET MISE EN SERVICE

Il est important de définir une structure qui garantira que toutes les centrales d'énergie renouvelable respectent les exigences d'essais ci-dessous, avant d'être connectées au réseau. Cette structure sera responsable de l'intégration sûre de la centrale d'énergie renouvelable au réseau.

Des essais de conformité doivent être effectués sur les centrales d'énergie renouvelable afin de vérifier le respect des exigences de raccordement au réseau, définies à la Section 4 de présentes directives. De plus, les centrales d'énergie renouvelable doivent également respecter les exigences d'essais spécifiées dans les codes nationaux et/ou régionaux applicables.

Les instruments de mesure ainsi que l'équipement et les méthodes de surveillance doivent être choisis conformément aux parties pertinentes de la norme IEC 61557. Des essais supplémentaires peuvent être réalisés, au cas par cas, selon les exigences des codes et des règlements nationaux et/ou régionaux.

10.1 Centrale PV

Les essais et la mise en service des centrales photovoltaïques doivent vérifier la sécurité, les performances et la conformité au réseau de tous les modules, les onduleurs, le câblage du réseau et les systèmes de protection. Cela inclut la confirmation que la construction et les performances des modules respectent les exigences internationales reconnues en matière de qualification de la conception et de sécurité, et que le système PV complet répond aux exigences en matière de documentation, d'inspection et d'essais fonctionnels prescrites pour les installations raccordées au réseau. La réponse anti-îlotage, le comportement des onduleurs, l'intégrité de la mise à la terre, la résistance d'isolement et les indicateurs de performance du système doivent être validés conformément aux normes IEC relatives à la sécurité, aux performances et à la mise en service des systèmes photovoltaïques, telles que spécifiées dans les normes correspondantes.

Normes relatives

IEC 62446-1: Systèmes photovoltaïques (PV) - Exigences pour les essais, la documentation et la maintenance - Partie 1: Systèmes connectés au réseau électrique - Documentation, essais de mise en service et examen

La présente norme définit les informations et la documentation devant être remises à un client à la suite de l'installation d'un système PV connecté au réseau. Elle décrit également les essais de mise en service, les critères d'examen et la documentation prévus pour vérifier la sécurité d'installation et le fonctionnement correct du système. Elle est utilisée par les concepteurs et les installateurs de systèmes PV solaires connectés au réseau, en tant que modèle pour une documentation efficace destinée à un client.

IEC 61215-1: Modules photovoltaïques (PV) pour applications terrestres - Qualification de la conception et homologation de type - Partie 1 : Exigences d'essai

La présente norme établit les exigences concernant la qualification de conception des modules photovoltaïques terrestres appropriés à un fonctionnement de longue durée dans des climats à l'air libre. La durée de vie utile des modules ainsi qualifiés dépend de leur conception, de leur environnement et de leurs conditions de fonctionnement. Les résultats d'essai ne sont pas une prévision quantitative de la durée de vie des modules. Le présent document est destiné à s'appliquer à tous les matériaux de modules à plaque plane pour applications terrestres, tels que les types de modules au silicium cristallin et les modules à couches minces. Il ne s'applique pas aux systèmes qui ne constituent pas des applications de longue durée, comme les modules flexibles installés dans des auvents ou des tentes.

IEC 61730-2: Qualification pour la sûreté de fonctionnement des modules photovoltaïques (PV) - Partie 2: Exigences pour les essais

La présente norme répertorie les essais auxquels un module PV doit satisfaire à des fins de qualification pour la sûreté de fonctionnement. Le présent document n'est appliqué à des fins de qualification pour la sûreté de fonctionnement que conjointement avec la norme IEC 61730-1. L'objectif du présent document est de fournir la séquence d'essais destinée à vérifier la sûreté des modules PV dont la construction a été évaluée par la norme IEC 61730-1. La séquence d'essais et les critères d'acceptation sont conçus pour

détecter le claquage éventuel de composants internes et externes des modules PV, qui peut entraîner des incendies, des chocs électriques et/ou des dommages corporels. Le présent document définit les exigences de base relatives aux essais de sécurité, ainsi que des essais supplémentaires qui dépendent des applications finales du module PV. Outre les exigences contenues dans le présent document, les exigences d'essai supplémentaires suivantes sont prises en considération: exigences indiquées dans les documents ISO appropriés ou les exigences spécifiées dans les codes nationaux ou locaux qui régissent l'installation et l'utilisation de ces modules PV dans leurs emplacements destinés.

IEC 62116 - Onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau public - Procédure d'essai des mesures de prévention contre l'îlotage

La présente fournit une méthode d'essai pour évaluer la performance des mesures de prévention contre l'îlotage utilisées avec des systèmes PV interconnectés au réseau public. La présente norme décrit des lignes directrices pour les essais de performance des mesures de prévention contre l'îlotage automatique installées dans ou avec des onduleurs PV interactifs avec le réseau public monophasés ou multi-phasés, connectés au réseau public d'électricité. La procédure et les critères d'essai décrits sont les exigences minimales qui permettent la répétabilité.

10.2 Centrale éolienne

Les essais et la mise en service des centrales éoliennes doivent démontrer que les systèmes mécaniques, électriques et de contrôle fonctionnent de manière sûre et fiable ainsi que la centrale satisfait aux obligations de raccordement au réseau et de performance. Cela implique la vérification des performances énergétiques, des

caractéristiques électriques, du comportement de la qualité de l'énergie, des charges mécaniques et des exigences acoustiques, ainsi que la validation des modèles de turbines utilisés pour les études de réseau. La conformité doit être basée sur les normes IEC relatives à la performance, au comportement électrique et à la protection des éoliennes de l'IEC pertinentes, qui définissent les essais et les critères de réception requis.

Normes relatives

IEC 61400-12-1: Systèmes de génération d'énergie éolienne - Partie 12-1: Mesures de performance de puissance des éoliennes de production d'électricité

La présente norme spécifie une procédure de mesure des caractéristiques de performance de puissance d'une éolienne simple et s'applique aux essais d'éoliennes, de tous types et de toutes tailles, raccordées au réseau électrique. En outre, le présent document définit une procédure à utiliser pour déterminer les caractéristiques de performance de puissance des petits aérogénérateurs (comme cela est défini dans la norme IEC 61400-2) raccordés soit au réseau électrique, soit à un banc de batteries. Le présent document définit une méthodologie de mesure qui exige que les valeurs de la courbe de puissance mesurée et de la production d'énergie déduite soient complétées par une évaluation des sources d'incertitude et de leurs effets associés.

IEC 61400-21-1: Systèmes de génération d'énergie éolienne - Partie 21-1: Mesurage et évaluation des caractéristiques électriques – Éoliennes

Se référer à la section 4.3.2 du présent guide pour le résumé.

IEC 61400-27-1: Systèmes de génération d'énergie éolienne - Partie 27-1: Modèles de simulation électrique - Modèles génériques

La présente norme définit des modèles de simulation électrique normalisés pour les éoliennes et les centrales éoliennes. Les modèles spécifiés sont des modèles de simulation directe dans le domaine temporel, destinés à être utilisés dans les analyses de stabilité des systèmes électriques et du réseau. Ces modèles s'appliquent à des simulations dynamiques de la stabilité à court terme des réseaux d'énergie électrique. Le présent document définit les termes et les paramètres génériques pour les modèles de simulation électrique.

Le présent document spécifie les modèles de simulation électrique pour les topologies/configurations génériques de centrales éoliennes actuellement disponibles sur le marché. Les modèles de centrales éoliennes comprennent les éoliennes, le contrôle de centrale éolienne et les matériels auxiliaires. Les modèles de centrales éoliennes sont décrits de manière modulaire et peuvent être appliqués aux futurs concepts d'éoliennes ainsi qu'à différents concepts d'éoliennes.

10.3 Centrale hydroélectrique

La mise en service des centrales hydroélectriques doit vérifier que les turbines, les générateurs, les régulateurs et tous les systèmes auxiliaires fonctionnent en toute sécurité et comme prévu dans les conditions hydrauliques et électriques attendues. Les essais de performance, y compris les contrôles d'efficacité hydraulique, les évaluations d'intégrité

mécanique et la vérification électrique des générateurs, doivent suivre les procédures reconnues internationalement. La mise en service d'équipement auxiliaire, de contrôle et de protection doit également se conformer aux normes IEC relatives aux essais de turbines, à la performance des générateurs, aux appareillages, aux transformateurs et aux systèmes de protection afin d'assurer un fonctionnement fiable et coordonné de l'installation.

Normes relatives

IEC 60041: Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines, en vue de la détermination de leurs performances hydrauliques

La présente norme spécifie les méthodes d'essai applicables à toutes les turbines à action ou à réaction, pompes d'accumulation et pompes turbines, quels que soient leurs dimensions et leur type. Elle permet de déterminer si les garanties contractuelles sont respectées et traite des règles de conduite de ces essais ainsi que des méthodes de calcul des résultats, du contenu et de mode de présentation du rapport final.

IEC 60034 -1: Machines électriques tournantes - Partie 1: Caractéristiques assignées et caractéristiques de fonctionnement

La présente norme s'applique à toutes les machines électriques tournantes à l'exception des machines destinées aux véhicules ferroviaires et routiers, qui sont couvertes par la série de normes IEC 60349. Les machines comprises dans le domaine d'application du présent document peuvent également être soumises à des exigences nouvelles, modifiées ou complémentaires figurant dans d'autres normes, par exemple, les séries IEC 60079 et IEC 60092.

IEC 60034-2-1: Machines électriques tournantes - Partie 2-1: Méthodes normalisées pour la détermination des pertes et du rendement à partir d'essais (à l'exception des machines pour véhicules de traction)

La présente norme vise à établir les méthodes de détermination du rendement à partir d'essais et, également, à spécifier les méthodes qui permettent de déterminer des pertes spécifiques. Le présent document s'applique aux machines à courant continu ainsi qu'aux machines à courant alternatif, synchrones et à induction, de toutes dimensions, qui entrent dans le domaine d'application de l'IEC 60034-1 et assignées pour un fonctionnement sur secteur. Ces méthodes peuvent être appliquées à d'autres types de machines telles que les commutatrices, les moteurs à collecteurs à courant alternatif et les moteurs à induction monophasés.

IEC 60034-14: Machines électriques tournantes - Partie 14: Vibrations mécaniques de certaines machines de hauteur d'axe supérieure ou égale à 56 mm - Mesurage, évaluation et limites de l'intensité vibratoire

La présente norme spécifie les procédures d'essai d'acceptation de vibration en usine et les limites de vibration pour certaines machines électriques, dans des conditions spécifiées, sans être couplées à une charge ou à une machine entraînée. Elle est applicable aux machines à courant continu et aux machines triphasées à courant alternatif de hauteur d'axe supérieure ou égale à 56 mm et de puissance assignée inférieure ou égale 50 MW, à des vitesses de fonctionnement de 120 min⁻¹ jusqu'à et y compris 15000 min⁻¹.

IEC 60034-27-1 : Machines électriques tournantes - Partie 27-1: Mesurages à l'arrêt des décharges partielles effectués sur le système d'isolation des enroulements

La présente norme fournit une base commune concernant:

- Les techniques et les appareils de mesure;
- La mise en place des circuits d'essai;
- Les procédures de normalisation et d'essai;
- La réduction du bruit;
- La documentation des résultats d'essais; et,
- L'interprétation des résultats d'essais,

pour les besoins des mesurages à l'arrêt des décharges partielles dans les systèmes d'isolation des enroulements des machines électriques tournantes.

La présente norme annule et remplace la norme IEC TS 60034-27 (2006). Elle s'agit d'une révision technique avec de nombreuses améliorations et corrections par rapport à la publication précédente.

10.4 Installation de BESS

Face à la demande croissante en énergie renouvelable, le rôle des systèmes de stockage d'énergie par batterie (BESS) devient de plus en plus crucial. Un BESS entièrement intégré est un système complexe qui combine des batteries, des électroniques de puissance, une gestion thermique et des systèmes de contrôle en une seule unité cohérente.

Pour garantir la fiabilité, l'efficacité et la sécurité de ces systèmes, des inspections régulières sont essentielles:

a) Visual Inspection

The first step in any BESS inspection is a thorough visual examination. Inspectors should check for any obvious signs of wear and tear, such as

a) Inspection visuelle

La première étape de toute inspection BESS est un examen visuel approfondi. Les inspecteurs doivent vérifier s'il y a des signes évidents d'usure, tels que de la corrosion, des câbles endommagés ou des connexions desserrées. Une attention particulière doit être accordée à l'enveloppe afin de s'assurer qu'elle est intacte et exempte de toute brèche pouvant exposer les composants internes aux intempéries. De plus, tous les panneaux d'avertissement et les étiquettes doivent être clairement visibles et lisibles.

b) Évaluation du système électrique

Les composants électriques d'un BESS entièrement intégré sont essentiels à son fonctionnement. Les inspecteurs doivent vérifier que toutes les connexions électriques sont sécurisées et exemptes de dommages. Cela inclut la vérification de l'intégrité des barres omnibus, des disjoncteurs et des fusibles. L'inspection doit également inclure les essais de la mise à la terre du système afin de garantir leur conformité aux normes de sécurité. Tout signe de surchauffe, comme une décoloration ou une odeur de brûlé, doit être traité immédiatement.

c) Évaluation de l'état de batteries

Les batteries constituent le cœur de tout BESS, ce qui rend leur inspection cruciale. Les inspecteurs doivent vérifier s'il y a des signes de gonflement, de fuite ou de corrosion sur les bornes de la batterie. L'état de charge (SOC) et l'état de santé (SOH) des batteries doivent être surveillés régulièrement pour s'assurer qu'elles sont dans

des plages optimales. Tout écart significatif peut indiquer des problèmes sous-jacents à traiter. De plus, le système de gestion de batterie (BMS) doit être vérifié pour un bon fonctionnement.

d) Vérification du système de gestion thermique

Un BESS entièrement intégré repose sur un système de gestion thermique efficace pour maintenir des températures de fonctionnement optimales. Les inspecteurs doivent vérifier les systèmes de refroidissement, y compris les ventilateurs, les échangeurs de chaleur et les niveaux de liquide de refroidissement, afin de s'assurer qu'ils fonctionnent correctement. Tout blocage ou fuite doit être rapidement réparé pour éviter la surchauffe, ce qui peut entraîner une diminution de l'efficacité et des risques potentiels pour la sécurité.

e) Vérification du système de contrôle

Le système de contrôle est responsable de la gestion du fonctionnement du BESS, rendant son inspection vitale. Les inspecteurs doivent s'assurer que tous les systèmes de contrôle, y compris les composants logiciels et matériels, fonctionnent comme prévu. Cela inclut la vérification de la précision des capteurs, de la réactivité des algorithmes de contrôle et de la fiabilité de communication entre différents composants du système. Des mises à jour logicielles régulières et des recalibrations du système peuvent être nécessaires pour maintenir des performances optimales.

f) Évaluation des systèmes de sécurité

La sécurité est primordiale dans tout système de stockage d'énergie. Les inspecteurs doivent vérifier que tous les systèmes de sécurité, tels que les systèmes d'extinction d'incendie, les mécanismes d'arrêt d'urgence et les alarmes, sont pleinement opérationnels. Des essais réguliers de ces systèmes sont essentiels pour garantir leur bon fonctionnement en cas d'urgence. Toute défaillance doit être corrigée immédiatement afin de maintenir un niveau de sécurité optimal.

g) Documentation et rapports

Enfin, tous les résultats d'inspection doivent être soigneusement documentés. Cela inclut l'enregistrement de tout problème identifié, des actions entreprises et des recommandations pour la maintenance future. Une documentation complète permet non seulement de suivre l'état du système au fil du temps, mais fournit également des informations précieuses pour les inspections et les efforts de maintenance futurs.

Normes relatives

IEC TS 62786-3: «Raccordement au réseau des ressources énergétiques décentralisées – Partie 3: Exigences supplémentaires pour un système stationnaire de stockage d'énergie par batterie»

ette spécification technique fournit des principes et des exigences techniques relatives à l'interconnexion du système de stockage d'énergie par batterie (BESS) décentralisé au réseau de distribution. Elle s'applique à la conception, à l'exploitation et aux essais de BESS interconnectés aux réseaux de distribution. Le présent document inclut les exigences supplémentaires pour le BESS, telles que le schéma de raccordement, le choix d'appareillage de commutation, la plage de fonctionnement normale, l'immunité aux perturbations, la réponse en puissance active aux variations de fréquence, la réponse en puissance réactive aux variations de tension, la CEM et la qualité de l'alimentation, la protection des interfaces, la connexion et le démarrage de la production d'énergie électrique, la gestion de la puissance active, la surveillance, le contrôle et la communication ainsi que les essais de raccordement au réseau.

Les BESS stationnaires considérés dans le cadre du présent document incluent des formes électriques, telles que les batteries au plomb-acide, lithium-ion, à flux liquide et sodium-soufre, interconnectées aux réseaux de distribution de moyenne tension (MT) ou de basse tension (BT) via des convertisseurs bidirectionnels CC/CA. Le présent document spécifiera la réponse en puissance active et réactive ainsi que les essais du raccordement au réseau pour les BESS décentralisés, en complément de la norme IEC TS 62786-1. Le présent document spécifie les exigences d'interface pour le raccordement de BESS décentralisés au réseau de distribution fonctionnant à une fréquence nominale de 50 Hz ou 60 Hz.

IEC 62933-2-1: «Systèmes de stockage d'énergie électrique (EES) – Partie 2-1: Paramètres unitaires et méthodes d'essai – Spécifications générales»

La présente norme se concentre sur les paramètres unitaires et les méthodes d'essai des systèmes EES. Les dispositifs et les technologies de stockage d'énergie ne relèvent pas du domaine d'application du présent document. Ce document porte sur les performances des systèmes EES en définissant les paramètres unitaires et les méthodes d'essai.

IECTR 62933-2-201 - Systèmes de stockage d'énergie électrique (EES) – Partie 2-201: Paramètres unitaires et méthodes d'essai – Examen d'essais des systèmes de stockage d'énergie par batterie (BESS) dans le but de mettre en œuvre la réutilisation des batteries

Le présent rapport technique porte sur l'importance de réutiliser les batteries dans le BESS. Ce document illustre également, à travers des études de cas provenant de divers pays, comment la réutilisation des batteries sont réglementées conformément à la législation. De plus, des exemples commerciaux de BESS utilisant des batteries réutilisées sont étudiés et des problèmes sont soulevés en ce qui concerne la conception, la fabrication, les essais, l'exploitation et la maintenance de BESS, compte tenu du déploiement futur anticipé de BESS.

IEC 624852: Exigences de sécurité pour les batteries d'accumulateurs et les installations de batteries - Partie 2: Batteries stationnaires

La présente norme s'applique aux batteries d'accumulateurs stationnaires et aux installations de batteries d'une tension maximale de 1500 V (nominale) en courant continu et décrit les principales mesures pour la protection contre les risques générés par l'électricité, les émissions gazeuses et l'électrolyte. La présente norme internationale définit des exigences concernant les aspects de sécurité liés à l'installation, à l'utilisation, à l'inspection, à la maintenance et à l'élimination. Elle couvre les batteries au plomb-acide et les batteries NiCd/NiMH.

IEC 62619: Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide - Exigences de sécurité pour les accumulateurs au lithium pour utilisation dans des applications industrielles

La présente norme spécifie les exigences et les essais pour le fonctionnement en toute sécurité des

accumulateurs au lithium utilisés dans des applications industrielles, y compris les applications stationnaires. Lorsqu'il existe une norme internationale IEC qui spécifie des conditions d'essai et des exigences pour des éléments destinés à des applications particulières, et qui est en contradiction avec le présent document, la publication particulière est appliquée en priorité (par exemple, la série IEC 62660 sur les véhicules routiers).

Des exemples d'applications utilisant les éléments et les batteries inclus dans le domaine d'application du présent document comprennent des applications stationnaires telles que les télécommunications, l'alimentation sans interruption (ASI), les systèmes de stockage d'énergie électrique, le sélecteur de service, l'alimentation de secours, etc.

IEC 6293343: Systèmes de stockage d'énergie électrique (EES) – Partie 4-3: Exigences de protection des systèmes de stockage d'énergie à batterie (BESS) selon les conditions environnementales

a présente norme s'applique aux effets des conditions environnementales sur les systèmes de stockage d'énergie par batterie (BESS). Le présent document examine ces effets et identifie les causes, les chaînes d'événements et les effets finaux sur les BESS. Sur la base de ces effets, des mesures de prévention ou d'atténuation sont décrites. Les effets environnementaux types sur les BESS comprennent, mais sans s'y limiter, les effets de la foudre, des activités sismiques, de l'eau, de l'air, de la flore, de la faune et des êtres humains. Les mesures décrites portent essentiellement sur l'ensemble des BESS, y compris toutes les connexions d'alimentation et de communication et leurs points de connexion. Le domaine d'application du présent document se limite aux exigences et aux conditions de fonctionnement spécifiques aux BESS. Les exigences spécifiques en matière de conception ou de sécurité des sous-systèmes individuels des BESS sont exclues du présent document.

IEC 62933-4-2: Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) – Partie 4-2: Recommandations relatives aux problèmes environnementaux – Évaluation de l'impact environnemental d'une défaillance de batterie dans un système de stockage d'énergie électrochimique

La présente norme définit les exigences relatives à l'évaluation et à l'élaboration de rapports concernant l'impact négatif sur l'environnement de la défaillance d'un élément, d'un élément d'accumulateur à circulation d'électrolyte, d'une batterie ou d'une batterie d'accumulateur à circulation d'électrolyte dans le sous-système d'accumulation du système de stockage de l'énergie sur batterie (BESS).

Les batteries qui relèvent du présent domaine d'application et qui sont utilisées dans un BESS sont classées par type d'électrolyte. Ces types d'électrolytes sont aqueux, non aqueux ou solide. Les impacts environnementaux en lien direct avec la défaillance d'autres composants du BESS ne relèvent pas du domaine d'application du présent document.

IEC 63056 - Accumulateurs alcalins et autres accumulateurs à électrolyte non acide - Exigences de sécurité pour les accumulateurs au lithium pour utilisation dans des systèmes de stockage d'énergie électrique

La présente spécifie les exigences et les essais pour la sécurité des produits des éléments et des batteries d'accumulateurs au lithium utilisés dans des systèmes de stockage d'énergie électrique ayant une tension continue maximale de 1500 V (nominale). L'IEC 62619 comprend les exigences relatives à la sécurité de base des éléments et des batteries d'accumulateurs au lithium utilisés dans les applications industrielles. Le présent document fournit des exigences complémentaires ou particulières concernant les systèmes de stockage d'énergie électrique.

Étant donné que le présent document couvre les batteries de différents systèmes de stockage d'énergie électrique, il comprend les exigences minimales et communes aux systèmes de stockage d'énergie électrique. Les types suivants d'appareils sont des exemples d'appareils relevant du domaine d'application du présent document: les télécommunications, les systèmes photovoltaïques, les systèmes domestiques (résidentiels) de stockage d'énergie électrique (HESS) et le stockage d'énergie à grande échelle: sur réseau/hors réseau. Le présent document s'applique aux éléments et aux batteries conçus pour l'alimentation sans interruption (ASI). Le présent document ne s'applique pas aux systèmes portables de 500 Wh ou moins, qui sont couverts par l'IEC 61960-3.

11 EXIGENCES D'EXPLOITATION ET DE MAINTENANCE

Les centrales d'énergie renouvelable doivent être exploitées et entretenues de manière à garantir durablement leur fiabilité, leur sécurité et leur conformité aux attentes en matière de performance du réseau. Les pratiques efficaces d'exploitation et de maintenance sont essentielles pour maintenir la disponibilité des centrales, répondre aux besoins du réseau en temps réel et garantir que les centrales d'énergie renouvelable continuent de répondre aux exigences fonctionnelles, réglementaires et techniques tout au long de leur cycle de vie. Les sous-sections suivantes décrivent les capacités minimales de fonctionnement attendues des exploitants de centrales d'énergie renouvelable, y compris les fonctions de service auxiliaire, les pratiques de mise à la terre, les obligations de maintenance et les protocoles de coordination, en référence aux normes internationales applicables et aux meilleures pratiques.

11.1 Services auxiliaires

Les centrales d'énergie renouvelable peuvent être tenues de fournir des services auxiliaires pour assurer la stabilité et la fiabilité du réseau électrique. Les services auxiliaires incluent, sans s'y limiter, le contrôle de la puissance active, le contrôle de la puissance réactive et de la tension, la réponse en fréquence, les capacités de tenue en cas de défaut et, lorsque cela est techniquement possible, des services supplémentaires tels que la capacité de démarrage autonome. Les sous-sections (11.2–11.4) définissent les exigences fonctionnelles minimales pour les services auxiliaires attendus des centrales d'énergie renouvelable.

11.2 Contrôle de la puissance active

Les grandes centrales d'énergie renouvelable doivent être capables de gérer leur production de puissance active de manière contrôlée et prévisible afin de soutenir la stabilité et la fiabilité du réseau électrique, y compris les systèmes interconnectés. Cela inclut la capacité de limiter, d'accélérer, de réduire et d'augmenter la puissance active en réponse aux commandes de l'opérateur du réseau ou aux conditions du réseau en temps réel. Les centrales d'énergie renouvelable doivent pouvoir limiter la production en dessous de la capacité de production disponible sur demande de l'opérateur du réseau, et augmenter la production lorsque les conditions de fonctionnement et les signaux de commande le permettent.

L'installation doit également prendre en charge le contrôle du taux de rampe de la puissance active, avec des taux de rampe configurables selon les besoins de l'opérateur du réseau afin d'éviter des fluctuations soudaines.

Lorsque la capacité de répartition de puissance active est requise, les centrales d'énergie renouvelable doivent être capables de suivre avec précision les points de consigne de puissance active fournis par le centre de contrôle. L'installation doit répondre aux changements de points de consigne dans les délais spécifiés et maintenir une communication continue en temps réel avec l'opérateur du réseau, afin d'assurer la coordination de la répartition et la fiabilité du réseau.

Related IEC Standard

IEC TS 62786-1 - Raccordement des ressources énergétiques décentralisées au réseau – Partie 1: Exigences générales

Veillez consulter la section 4.2 du présent guide pour le résumé.

11.3 Contrôle de la puissance réactive et de la tension

Les grandes centrales d'énergie renouvelable doivent également être capables de fournir un support de tension et un contrôle de la puissance réactive au point de raccordement commun, selon les besoins pour maintenir la tension du système dans des limites acceptables et contribuer à la stabilité globale du réseau électrique. Ces capacités sont particulièrement importantes dans les réseaux à forte pénétration de production à base d'onduleurs. Les centrales d'énergie renouvelable doivent pouvoir générer ou absorber de la puissance réactive sur une plage de facteurs de puissance définie, telle que spécifiée par l'opérateur du réseau et selon les délais spécifiés.

L'opérateur du réseau définira la précision requise pour le réglage nécessaire. Cette capacité de soutien en puissance réactive doit être maintenue dynamiquement sur différents niveaux de puissance active, en utilisant des régulateurs au niveau de l'installation, des fonctions d'ondeur ou des dispositifs externes de compensation de puissance réactive, si nécessaire.

Lorsque la régulation de tension est requise, les centrales d'énergie renouvelable doivent prendre en charge un ou plusieurs des modes de commande suivants, tels que spécifiés par l'opérateur du réseau, y compris mode à facteur de puissance constante, commande de statisme de tension-puissance réactive (V-Q), commande du point de consigne de puissance réactive, etc. Si la tension atteint les limites dynamiques de conception des centrales d'énergie renouvelable même après toutes les tentatives de réglage, la fonction de commande doit attendre une éventuelle commande globale du changeur de prises ou d'autres méthodes de commande de tension.

11.4 Mécanismes de réglage et de réponse en fréquence

Related IEC Standard

IEC TS 62786-1 - Raccordement des ressources énergétiques décentralisées au réseau – Partie 1: Exigences générales

Veuillez consulter la section 4.2 du présent guide pour le résumé.

Les centrales d'énergie renouvelable plus grandes doivent soutenir la stabilité de la fréquence du système en restant connectées lors des écarts de fréquence à court terme et, le cas échéant, en participant à une réponse en puissance active aux variations de fréquence. Les centrales d'énergie renouvelable ne doivent pas se déconnecter inutilement lors des excursions en fréquence, mais doivent maintenir la puissance active dans leurs limites techniques. L'installation doit réduire la production en cas de surfréquence et, lorsque cela est possible, augmenter la production lors des événements de sous-fréquence, conformément aux caractéristiques de réponse prédéfinies telles que spécifiées par l'opérateur du réseau.

Dans les systèmes où c'est requis par l'opérateur du réseau, les centrales d'énergie renouvelable doivent également fournir une réponse en statisme de fréquence et, si techniquement possible, fournir une réponse en fréquence rapide basée sur le taux de variation de fréquence (ROCOF). De plus, les centrales d'énergie renouvelable doivent être capables de supporter les taux de variation de fré-

quence (ROCOF) sans déconnexion, tels que définis par l'opérateur du réseau. Ces fonctions doivent être mises en œuvre conformément à la norme IEC TS 62786-1 et aux dispositions applicables du code national du réseau électrique.

Related IEC Standards

IEC TR 63401-3: Caractéristiques dynamiques des ressources à base d'onduleurs dans les réseaux de production-transport – Partie 3: Réponse en fréquence rapide et tenue aux variations de fréquence des ressources à base d'onduleur lors de fortes perturbations de fréquence

Le présent rapport technique offre un aperçu des différentes formes de techniques en matière de réponse en fréquence rapide et de tenue aux variations de fréquence qui impliquent des sources de production à base d'onduleur (principalement l'énergie éolienne et photovoltaïque) dans un réseau de production-transport.

Le présent document se concentre d'abord à extraire la définition claire de la réponse en fréquence rapide à partir de différentes références à travers le monde, tout en étudiant le mécanisme d'action de la réponse en fréquence rapide sur la fréquence du réseau et ses caractéristiques uniques. Il compare ensuite différents types de réponse en fréquence et démontre la relation entre la réponse d'inertie synchrone, la réponse en fréquence rapide et la réponse primaire en fréquence. Plusieurs besoins et conditions du réseau, où la réponse en fréquence rapide est appropriée, sont identifiés. Ce document se concentre également sur les objectifs de performance, le côté pratique et les capacités de diverses ressources non synchrones, et il aborde les méthodes d'essai pour vérifier les capacités de réponse en fréquence rapide à différents niveaux. Enfin, il se concentre sur les problèmes des taux de variation de fréquence (ROCOF) et sur les performances robustes de réponse en fréquence rapide.

IECTS 62786-1 - Raccordement des ressources énergétiques décentralisées au réseau – Partie 1: Exigences générales

Veuillez consulter la section 4.2 du présent guide pour le résumé.

11.5 Capacités de tenue en cas de défaut

Les centrales d'énergie renouvelable doivent être équipées de capacités de tenue en cas de défaut de tension (FRT) pour maintenir la connexion et soutenir la stabilité du réseau lors de perturbations de courte durée sur le réseau de transport ou de distribution. Cela inclut la capacité de rester opérationnel lors des écarts de tension et de fréquence, tels que définis par l'opérateur de réseau. Les centrales d'énergie renouvelable ne doivent pas se déconnecter immédiatement après détection de conditions anormales de tension ou de fréquence, mais elles doivent être capables de maintenir leur fonctionnement pendant des durées spécifiées. Une récupération autonome complète est prévue une fois les conditions normales du réseau électrique seront rétablies.

Les capacités de tenue aux sous-tensions et aux surtensions des ressources énergétiques distribuées (RED) doivent être conformes aux dispositions spécifiées dans les annexes C et D de la norme IECTS 62786-1.

Normes IEC relatives

IECTR 63401-3 - Caractéristiques dynamiques des ressources à base d'onduleurs dans les réseaux de production-transport - Partie 3: Réponse en fréquence rapide et tenue aux variations de fréquence des ressources à onduleur lors de fortes perturbations de fréquence

Veuillez consulter la section 11.4 du présent guide pour le résumé.

IEC TS 62786-1 - Raccordement des ressources énergétiques décentralisées au réseau – Partie 1: Exigences générales

Veuillez consulter la section 4.2 du présent guide pour le résumé.

11.6 Mise à la terre du neutre

Les centrales d'énergie renouvelable doivent être équipées de systèmes de mise à la terre du neutre garantissant la sécurité du personnel, assurant une détection efficace des défauts et maintenant la compatibilité avec la philosophie de mise à la terre du réseau électrique. Les installations

de mise à la terre doivent être conformes aux exigences applicables du réseau public et doivent permettre un bon fonctionnement des systèmes de protection et de contrôle, tant en conditions normales qu'en cas de défaut.

La conception du système de mise à la terre doit prendre en compte la configuration des transformateurs élévateurs, des alimentations auxiliaires et des interfaces électroniques de puissance. Selon la topologie du réseau, des schémas de mise à la terre du neutre solides, résistifs, d'impédance ou isolés (dans des cas particuliers) peuvent être utilisés, sous réserve de l'approbation et de la coordination de l'opérateur du réseau. La méthode de mise à la terre choisie doit prévenir des problèmes tels que les courants de circulation, le décalage du point neutre ou le dysfonctionnement des systèmes de protection.

Des inspections et des essais réguliers du système de mise à la terre doivent être effectués afin d'assurer la continuité, de détecter toute dégradation et de maintenir l'intégrité opérationnelle tout au long du cycle de vie de l'installation.

Normes relatives

IEC 61936-1: Installations électriques de puissance de tension supérieure à 1 kV en courant alternatif et 1,5 kV en courant continu – Partie 1: Courant alternatif

La présente norme fournit des exigences relatives à la conception et à la mise en œuvre des installations électriques dans des systèmes dont les tensions nominales sont supérieures à 1 kV en courant alternatif et la fréquence nominale inférieure ou égale à 60 Hz, afin d'assurer la sécurité et le fonctionnement correct pour l'utilisation prévue.

IEC 60364-5-54 : Installations électriques basse tension – Partie 5-54: Choix et mise en œuvre des matériels électriques - Installations de mise à la terre et conducteurs de protection

La présente norme concerne les installations de mise à la terre et les conducteurs de protection, y compris les conducteurs de liaison de protection afin de satisfaire à la sécurité de l'installation électrique.

11.7 Maintenance de réseaux d'énergie renouvelable

Les centrales d'énergie renouvelable doivent être entretenues afin d'assurer des performances durables, la sécurité et la conformité aux codes du réseau applicables tout au long de leur durée de vie opérationnelle. Tous les propriétaires et les opérateurs de centrales d'énergie renouvelable doivent mettre en œuvre des programmes de maintenance structurés pour réduire les défaillances d'équipements, prolonger la durée de vie des actifs et maintenir la fiabilité du réseau. Les pratiques de maintenance doivent inclure des stratégies préventives, prédictives et correctives, conformément aux recommandations du fabricant et aux normes industrielles applicables. La maintenance des systèmes photovoltaïques doit suivre les procédures de base définies dans la norme IEC 62446-2. Lorsque les centrales d'énergie renouvelable font partie d'un système hybride de grande puissance ou intégré au réseau public, il est important d'assurer la coordination de maintenance avec l'opérateur du réseau afin d'éviter toute interruption de service ou instabilité du réseau lors des arrêts d'équipement.

Normes relatives

IEC 62446-2: Exigences pour les essais, la documentation et la maintenance – Partie 2: Systèmes connectés au réseau électrique - Maintenance des systèmes photovoltaïques

La présente norme décrit les exigences et recommandations de base en matière de maintenance préventive, corrective et de performances concernant les systèmes PV connectés au réseau.

Les procédures de maintenance couvrent:

- La maintenance de base des composants et de connexions du système pour la fiabilité, la sécurité et la prévention contre les incendies
- Les mesures de maintenance corrective et de dépannage
- La sécurité des travailleurs

Le présent document porte également sur les activités de maintenance permettant d'optimiser les performances prévues, telles que le nettoyage du module et l'entretien de la végétation. Les considérations particulières concernant exclusivement les systèmes sur toiture et les systèmes placés au sol sont résumées.

11.8 Coordination entre les opérateurs de réseau et les fournisseurs des centrales d'énergie renouvelable

Une coordination efficace entre les fournisseurs des centrales d'énergie renouvelable et les opérateurs de réseau est essentielle pour favoriser une intégration harmonieuse de la production d'énergie renouvelable variable et renforcer la résilience globale du système. Il est important que les opérateurs de centrales d'énergie renouvelable collaborent avec l'opérateur du réseau à toutes les étapes du projet, y compris la planification, la mise en service, l'exploitation et la maintenance. Cela inclut le partage de données de production en temps réel et prévues, des calendriers d'indisponibilité ainsi que l'assurance de la connectivité des systèmes de télégestion et de SCADA conformément aux protocoles des opérateurs de réseau.

Les centrales d'énergie renouvelable doivent également coordonner les services de soutien au réseau tels que la régulation de tension, la réponse en fréquence et les paramètres de protection afin d'assurer la stabilité du système. Des canaux de communication doivent être établis pour la répartition des opérations et les événements d'urgence. De plus, le respect des normes d'exploitation et des obligations de déclaration doit être maintenu en permanence.

12 MICRO-RÉSEAUX

Les micro-réseaux sont de plus en plus déployés à travers l'Afrique pour étendre l'accès à l'électricité, intégrer les ressources d'énergie renouvelable et améliorer la résilience dans les zones où le réseau principal est faible ou inexistant. Les projets de micro-réseau doivent être planifiés et spécifiés conformément à la norme IECTS 62898-1, en veillant à ce que le mix de production, les caractéristiques de charge et les stratégies de contrôle sont adaptés aux conditions locales et garantissent la stabilité du micro-réseau.

Les systèmes de stockage, y compris les technologies de stockage hybride et de stockage par batteries, sont recommandés pour améliorer la fiabilité et gérer la variabilité de la production d'énergie solaire et éolienne. Le fonctionnement du micro-réseau doit suivre les directives de la norme IECTS 62898-2, garantissant des transitions stables entre les modes îlotés et les modes connectés au réseau. Les opérateurs du réseau doivent établir des protocoles d'exploitation clairs pour la synchronisation, la resynchronisation et les procédures de démarrage autonome.

La norme IECTS 62898-3-1 fournit des recommandations sur les exigences relatives à la protection des micro-réseaux ainsi qu'au contrôle des perturbations transitoires et au contrôle des perturbations dynamiques dans les micro-réseaux, y compris les exigences techniques de protection contre les défauts. Les systèmes de protection des micro-réseaux doivent prendre en compte les flux de puissance bidirectionnels, la production à base d'onduleur et les unités de stockage. La protection anti-îlotage est obligatoire pour toutes

les productions décentralisées afin de garantir la sécurité du personnel et d'équipement. De plus, des mesures appropriées de protection contre la foudre, les surtensions, les surcharges et les incendies doivent être intégrées, tout en tenant compte des conditions environnementales et rurales de déploiement, qui sont courantes dans les projets de micro-réseaux africains.

Les micro-réseaux, même hors réseau, constituent une forme d'alimentation électrique publique et doivent respecter les exigences minimales en matière de qualité et de sécurité d'énergie, notamment en matière de la tolérance de tension, d'harmoniques, de flicker et de déséquilibre, telles que spécifiées dans les normes IEC 61000-3-6, 61000-3-7 et IEC 61400-21-1. Lorsque les micro-réseaux sont interconnectés au réseau électrique, ils peuvent également être tenus de fournir des services auxiliaires tels que le soutien de fréquence, la puissance réactive et le réglage de tension, conformément aux exigences des opérateurs du réseau.



Figure 2: Installation de micro-réseau de 54 kW à Kudorkope, Ghana
Source: Volta River Authority, Ghana.

Normes IEC relatives

IEC TS 62898-1: Micro-réseaux – Partie 1: Directives pour la planification et les spécifications des projets de micro-réseaux

La présente norme fournit des directives pour la planification et les spécifications des projets de micro-réseaux. Les micro-réseaux considérés dans le présent document sont des réseaux électriques à courant alternatif (CA) avec des charges et des ressources énergétiques décentralisées (RED) à basse ou à moyenne tension. Le présent document ne couvre pas les micro-réseaux à courant continu (CC). Les micro-réseaux sont classés en micro-réseaux isolés et micro-réseaux non isolés. Les micro-réseaux isolés n'ont aucune connexion électrique à un réseau électrique plus large. Les micro-réseaux non isolés peuvent agir comme des unités de contrôle du système électrique et peuvent fonctionner dans les deux modes suivants:

- mode connecté au réseau; et,
- mode îlot.

Le présent document couvre les domaines suivants:

- application de micro-réseaux, analyse des ressources, prévision de la production et prévision de charge;
- planification des RED et planification des systèmes électriques de micro-réseaux;
- exigences techniques de haut niveau pour les RED dans les micro-réseaux, pour le raccordement des micro-réseaux au réseau de distribution ainsi que pour les systèmes de contrôle, protection et communication; et,
- évaluation des projets de micro-réseaux.

IECTS 62898-2: Micro-réseaux – Partie 2: Directives pour l’exploitation

La présente norme fournit des directives pour l’exploitation des micro-réseaux. Les micro-réseaux considérés dans ce document sont des systèmes électriques à courant alternatif (CA) avec des charges et des ressources énergétiques distribuées (RED) à basse ou à moyenne tension. Ce document ne couvre pas les micro-réseaux à courant continu (CC).

La norme IECTS 62898-2 s’applique à l’exploitation et au contrôle des micro-réseaux, y compris:

- Les modes de fonctionnement et leur transfert;
- Les systèmes de gestion de l’énergie (EMS) et le contrôle des micro-réseaux;
- Les procédures de communication et de surveillance;
- Le stockage d’énergie électrique;
- Le principe de protection couvrant: principe pour micro-réseau non isolé, micro-réseau isolé, anti-îlotage, synchronisation et réenclenchement ainsi que qualité de l’alimentation; et,
- La mise en service, la maintenance et les essais.

IECTS 62898-3-1: Micro-réseaux – Partie 3-1: Exigences techniques - Protection et contrôle dynamique

La présente norme fournit des directives relatives aux spécifications de la protection contre les défauts et au contrôle dynamique dans les micro-réseaux. La protection et le contrôle dynamique dans un micro-réseau visent à garantir un fonctionnement sûr et stable du micro-réseau en cas de défaut et de perturbation.

Le présent document s’applique aux micro-réseaux à courant alternatif comprenant des réseaux monophasés, triphasés ou les deux. Il comprend les micro-réseaux isolés et les micro-réseaux non isolés avec un seul point de raccordement (POC) vers le réseau de distribution en amont. Il ne s’applique pas aux micro-réseaux ayant deux points ou plus de raccordement au réseau de distribution en amont, bien que ces systèmes puissent suivre les directives données dans ce document. Ce document s’applique aux micro-réseaux fonctionnant en basse tension (BT), en moyenne tension (MT) ou les deux. Les micro-réseaux à courant continu (CC) et les micro-réseaux hybrides CA/CC sont exclus du champ d’application, en raison des caractéristiques particulières des réseaux à CC (courants de défaut extrêmement élevés et absence de passage naturel par zéro du courant).

Ce document définit les principes de protection et de contrôle dynamique des micro-réseaux, les exigences techniques générales ainsi que les exigences techniques spécifiques relatives à la protection contre les défauts et au contrôle dynamique. Il aborde de nouveaux défis liés aux exigences de protection des micro-réseaux, de contrôle des perturbations transitoires et de contrôle des perturbations dynamiques pour les micro-réseaux. Il met l’accent sur les différences entre la protection conventionnelle des réseaux électriques et les nouvelles solutions possibles pour les fonctions de protection des micro-réseaux.

Selon les situations spécifiques, des exigences supplémentaires ou plus strictes peuvent être définies par l’opérateur du micro-réseau en coordination avec l’opérateur du réseau de distribution (DSO).

Le présent document ne couvre pas la protection ni le contrôle dynamique des réseaux de distribution actifs. Ce document ne couvre pas non plus les exigences des produits pour les relais de mesure et les équipements de protection.

Le présent document ne couvre pas les aspects de sécurité dans les installations électriques à basse tension, qui sont couverts par la norme IEC 60364 (toutes les parties et les amendements liés aux installations électriques à basse tension). Les exigences relatives aux micro-réseaux à basse tension sont définies dans la norme IEC 60364-8-2.

13 ANNEXES

13.1 Annexe A - Liste des autres normes utiles

IEC 60227-1

Conducteurs et câbles isolés au polychlorure de vinyle

IEC TR 63282

Systèmes d'alimentation électrique en courant continu à basse tension (LVDC) – Réseaux d'alimentation électrique séparés en courant continu basse tension

IEC 60050-151

Vocabulaire électrotechnique international (IEV) - Partie 151: Dispositifs électriques et magnétiques

IEC 60050-603

Vocabulaire électrotechnique international (IEV) - Partie 603: Production, transport et distribution de l'énergie électrique - Planification et gestion des réseaux électriques

IEC 60050-601

Amendement 2 - Vocabulaire électrotechnique international (IEV) - Partie 601: Production, transport et distribution de l'énergie électrique - Généralités

IEC 60050-704

Amendement 4 - Vocabulaire électrotechnique international (IEV) - Partie 704: Transmission

IEC 61000-3-3

Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-3: Limites - Limitation des variations de tension, des fluctuations de tension et de flicker dans les réseaux publics d'alimentation basse tension, pour les équipements avec un courant nominal de ≤ 16 A par phase et non soumis à un raccordement conditionnel

IEC TR 61000-3-

Compatibilité électromagnétique (CEM) - Partie 3-13: Limites - Évaluation des limites d'émission pour le raccordement des installations non équilibrées aux systèmes d'alimentation MT, HT et THT

IEC 60870-6-502

Matériels et systèmes de téléconduite - Partie 6: Protocoles de téléconduite compatibles avec les normes ISO et les recommandations de l'UIT-T – Section 502: Définitions des protocoles TASE.1

IECTS 62933-1

Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) - Partie 1: Vocabulaire

IECTS 62933-3-2

Systèmes de stockage de l'énergie électrique (EES) - Partie 3-2: Planification et évaluation de performance des systèmes de stockage de l'énergie électrique - Exigences supplémentaires pour les applications liées à l'intégration des sources d'énergie renouvelables et à forte intensité

IEC TR 63401-1

Caractéristiques dynamiques des ressources à base d'onduleurs dans les réseaux de production-transport - Partie 1: Interconnexion des ressources à base d'onduleurs aux réseaux CA à faible rapport de court-circuit

IEC TR 63401-2

Caractéristiques dynamiques des ressources à base d'onduleurs dans les réseaux de production-transport - Partie 2: Interactions de commande sous-synchrone et super-synchrone

IECTS 63102

Méthodes d'évaluation de la conformité au code de réseau pour le raccordement au réseau des installations éoliennes et photovoltaïques

IECTS 62910

Onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau - Procédure d'essai pour les mesures de tenue aux sous-tensions

IECTS 63217

Onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau - Procédure d'essai pour les mesures de tenue aux surtensions

IECTS 63222-1

Gestion de la qualité de l'énergie - Partie 1: Directives générales

13.2 13.2 Annexe B - Bibliographie

Les codes du réseau suivants ont été examinés afin d'identifier les aspects clés de l'intégration d'énergie renouvelable au réseau, qui doivent être pris en compte dans l'élaboration des directives:

Pays	Code de réseau
Afrique du Sud	Code de raccordement au réseau pour les centrales d'énergie renouvelable connectées au système de transmission d'électricité ou au système de distribution en Afrique du Sud
Afrique du Sud	Raccordement au réseau pour les installations de stockage d'énergie par batteries (Afrique du Sud)
Ghana	Code national du réseau électrique (Ghana)
Ghana	Sous-code d'énergie renouvelable pour les systèmes de transmission (Ghana)
Ghana	Sous-code d'énergie renouvelable pour le système de distribution (Ghana)
Égypte	Code de raccordement au réseau pour les centrales solaires (Égypte)
Égypte	Exigences techniques pour le raccordement des systèmes photovoltaïques de petite taille aux réseaux de distribution basse tension (Égypte)
Kenya	Projet de code du réseau électrique du Kenya - Partie I: Code national du réseau de transmission du Kenya (Kenya)
Kenya	Projet de code du réseau électrique du Kenya - Partie II: Code national du réseau de distribution du Kenya (Kenya)
Nigéria	Code de réseau du système de transmission d'électricité du Nigéria (Nigéria)
Malawi	Code de réseau du Malawi
Côte d'Ivoire	Code de raccordement au réseau de Côte d'Ivoire
Rwanda	Code de réseau du Rwanda

13.3 Annexe C – Objectifs stratégiques de l'AFSEC

Les objectifs stratégiques de l'AFSEC (2025-2029) ont été approuvés lors de la 9ème réunion de l'Assemblée générale tenue à Kigali - Rwanda, en septembre 2024, comme suit:

1. Fournir des résultats pertinents et **soutenant les objectifs de l'Agenda 2063** de l'UA et de ses programmes; et, répondre aux besoins des Communautés économiques régionales et de la Commission de l'Union africaine, par le biais d'une normalisation électrotechnique pertinente et efficace ainsi qu'une évaluation de la conformité, car elles sont essentielles pour garantir l'accès à une énergie fiable, durable et moderne en Afrique.
2. Établir un cadre de **coopération avec l'Accord portant création de la zone de libre-échange continentale africaine (ZLECAf)**, en vue de l'excellence en matière de normalisation électrotechnique et d'évaluation de la conformité, et coopérer avec les parties concernées à
3. **Collaborer avec les partenaires et les parties prenantes** afin d'identifier les normes concernées pouvant être harmonisées et de susciter l'intérêt nécessaire parmi les pays africains pour leur utilisation, après les avoir examinées pour adoption en tant que normes africaines harmonisées de l'AFSEC, dans le but de renforcer le commerce durable de l'électrotechnique en Afrique, d'adopter une approche commune en matière de normalisation et de s'aligner avec la zone de libre-échange continentale africaine (ZLECAf).
4. Renforcer **les compétences des comités électrotechniques nationaux** en améliorant les systèmes et les structures nécessaires à l'har-

l'élaboration et la mise en œuvre effective des obligations relevant de l'Accord sur les obstacles techniques au commerce (OTC) et de l'annexe 6 du Protocole sur le commerce des marchandises, visant à faciliter le commerce en éliminant différents obstacles techniques et en ouvrant de nouveaux marchés.

monisation des normes et favoriser **l'implication proactive de toutes les parties prenantes** en créant un système capable d'attirer l'industrie, le monde universitaire (ou les institutions de recherche) et les services publics d'électricité, en développant une expertise technique pour participer, par l'intermédiaire des comités techniques, à l'élaboration de normes internationalement reconnues et en s'adaptant aux nouvelles tendances technologiques.

5. **Établir une base de données durable** de fournir des informations complètes sur les normes adoptées par les États membres de l'AFSEC, ainsi que sur **les laboratoires d'essais** en Afrique.
6. **Renforcer les capacités** et offrir des opportunités de développement professionnel et de carrière, notamment dans les nouvelles technologies (IA, électromobilité, hydrogène vert...). **Les membres pourraient recommander des opportunités identifiées à l'attention de l'AFSEC pour les examiner.**

Dans le cadre des objectifs stratégiques de l'AFSEC (2025-2029) et du mandat principal de l'AFSEC, les normes couvrant divers aspects électrotechniques sont en cours d'harmonisation/d'élaboration par ses comités techniques. La sélection initiale des comités techniques (TC) de l'AFSEC (basés sur l'IEC) visait à faciliter l'accès à l'électricité et à traiter l'énergie renouvelable:

- ATC8 (Aspects système de la fourniture d'énergie électrique) – Micro-réseaux et interconnexion des réseaux.
- ATC13 (Mesure et contrôle de l'énergie électrique) – comptage.
- ATC64 (Installations électriques et protection contre les chocs électriques) - réglementation relative à la sécurité électrique.
- ATC57 (Gestion des systèmes de puissance et échange d'informations associées) - Protocole de gestion d'information.
- ATC77 (compatibilité électromagnétique) – CEM (axé sur les produits).
- ATC82 (Systèmes d'énergie solaire photovoltaïque) - faciliter l'accès à l'électricité, en particulier dans les zones éloignées.

- A – Électromobilité pour les véhicules électriques – analyser et adopter les normes internationales et/ou régionales relatives aux véhicules électriques, aux vélos électriques et aux infrastructures de recharge.
- AGH2 - L'hydrogène vert - analyser et adopter les normes internationales et/ou régionales relatives à l'hydrogène vert et aux technologies associées.

13.4 Annexe D – Guides techniques publiés par l'AFSEC

Les guides techniques de l'AFSEC ont été élaborés pour interpréter les normes en cas d'utilisation afin d'être utiles aux investisseurs, aux installateurs et aux autres parties prenantes.

Ils incluent les guides suivants:

1. L'électrification rurale en Afrique.
2. L'application des normes pour les systèmes de comptage intelligent en Afrique.
3. Les exigences relatives aux compteurs intelligents pour les projets d'électrification en Afrique.
4. Les directives techniques pour les installations électriques à basse tension.
5. Les directives pour l'installation de mini-réseaux photovoltaïques.
6. La compatibilité électromagnétique des dispositifs médicaux.
7. La compatibilité électromagnétique de la qualité des réseaux électriques.
8. L'exposition aux champs électromagnétiques.
9. L'évaluation de la conformité dans le secteur électrotechnique africain.
10. Les laboratoires d'essais de conformité électrotechnique.
11. L'interconnexion des réseaux électriques en Afrique.
12. Les normes d'automatisation des réseaux électriques.

