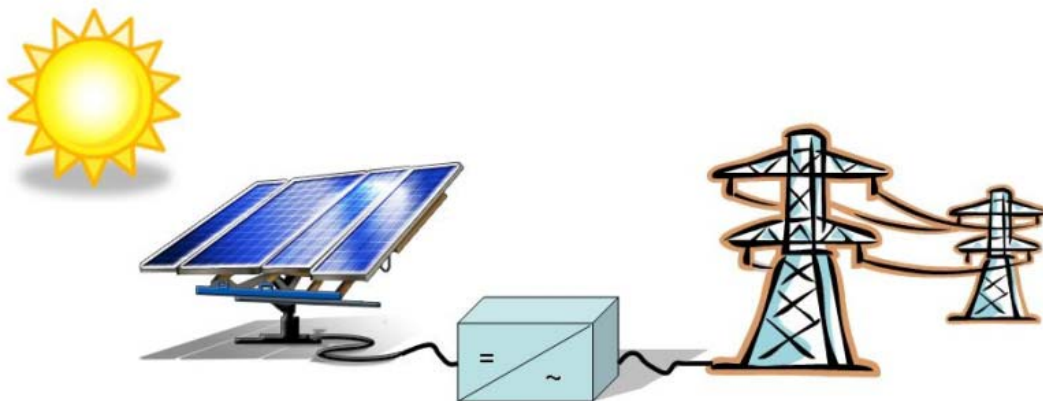


ESPRIT

Etudes **S**cientifiques **P**rénormatives Sur Le
Raccordement Au Réseau Electrique
D'**I**nstallations **T**echniques Photovoltaïques



**Proposition d'un cadre de validation
des performances et de certification
des onduleurs PV**



énergie atomique • énergies alternatives



ESPRIT

Proposition d'un cadre de validation des performances et de certification des onduleurs PV

Rédacteurs : V. Chauve, H. Colin (CEA-INES), Y. Tanguy (TransEnergie), B. Gaidon (HESPUL), T. Tran Quoc, C. Kiény (IDEA), C. Duvauchelle (EDF R&D)

Travaux réalisés avec le soutien financier de l'ADEME



Décembre 2011

Résumé

Le présent document est le fruit d'un travail collaboratif réalisé dans le cadre du projet de recherche ESPRIT, qui traite du raccordement des installations photovoltaïques (PV) au réseau public de distribution basse tension en France métropolitaine.

Il n'existe pas, en France, de norme produit traitant des onduleurs destinés aux installations de production photovoltaïques. Cette absence de norme produit et d'exigence claire en matière de fonctionnalités dont doivent disposer les onduleurs pour une utilisation en France affecte les différents acteurs impliqués dans la mise en œuvre de ces installations (connaissance non exhaustive des fabricants d'onduleurs du paramétrage de leurs produits, connaissance approximative des performances des onduleurs et de leur conformité pour une utilisation en France, absence de garantie du respect scrupuleux du référentiel technique du gestionnaire de réseau).

L'objectif de ce document est donc d'ébaucher une synthèse des exigences auxquelles sont soumis les onduleurs pour une utilisation en France et de proposer un cadre de validation des performances des onduleurs PV et de certification qui définisse les procédures d'essai à réaliser par un laboratoire indépendant. Le but est de constituer un cadre français pour le test des onduleurs qui s'appuie sur la réglementation et l'état de l'art en la matière.

Des critères clairs de performance des onduleurs ont été définis vis-à-vis des performances propres des appareils et concernant le raccordement au réseau. Les tests, nécessaires sur un onduleur pour valider ses caractéristiques et performances, contribueront à garantir un fonctionnement optimisé sur le terrain.

Mots clés

PHOTOVOLTAÏQUE, RESEAU, ONDULEUR, TEST

Summary

The present document is the result of a collaborative work carried out in the framework of the ESPRIT research project, which deals with the connection of photovoltaic (PV) systems to the low voltage public distribution grid in metropolitan France.

In France there is no standard dedicated to the inverters to be used in photovoltaic installations. This lack of standard and clear specifications about the functionalities of inverters affects the various actors involved in the operation of such installations (non exhaustive knowledge of inverter makers about the parameter setting of their own products, approximate knowledge about the inverter performance and their compliance to the French regulation, no guarantee to scrupulously respect the Utility Technical Repository).

The objective of this document is therefore to sketch out a synthesis of the specifications inverters have to comply with in order to be used in France and propose a frame, for the validation of their performances and certification, which defines the testing procedures to be followed by an independent testing laboratory.

Clear inverter performance criteria have been defined regarding the own performances of inverters (energy conversion, efficiency ...) as well as their connection to the grid. The necessary tests to validate characteristics and performances will play a great part in ensuring an optimised operation in the field.

Key words

PHOTOVOLTAIC, GRID, INVERTER, TESTING

Sommaire

I.	CADRE DU DOCUMENT	8
II.	INTRODUCTION.....	9
III.	REFERENCES NORMATIVES.....	10
IV.	DEFINITIONS, SIGLES ET ABREVIATIONS.....	11
V.	INFORMATIONS SUR L'ONDULEUR REQUISES	13
V.1	CARACTERISTIQUES D'ENTREE (DC).....	13
V.2	CARACTERISTIQUES DE SORTIE (AC).....	13
V.3	INFORMATIONS GENERALES	13
V.4	INTERFACE AVEC LE RESEAU	13
V.5	DIMENSIONS	13
V.6	NORMES SATISFAITES	14
V.7	GARANTIE	14
VI.	CRITERES DE PERFORMANCE DES ONDULEURS	14
VI.1	CONVERSION D'ENERGIE	14
VI.1.1	<i>Paramètres côté continu</i>	14
VI.1.1.1	Plage de tension de démarrage/arrêt de l'onduleur.....	14
VI.1.1.2	Plage de tension MPPT.....	15
VI.1.1.3	Plage de Courant MPPT.....	15
VI.1.2	<i>Rendements onduleur</i>	16
VI.1.2.1	Rendement MPPT Statique.....	16
VI.1.2.2	Rendement MPPT Dynamique.....	16
VI.1.2.3	Rendement de conversion statique onduleur	16
VI.1.2.4	Rendement Européen onduleur	16
VI.1.2.5	Rendement total onduleur	16
VI.1.3	<i>Paramètres de fonctionnement</i>	17
VI.1.3.1	Temps de démarrage-connexion.....	17
VI.1.3.2	Temps de décharge des condensateurs (côté DC).....	17
VI.1.3.3	Temps de déconnexion sur perte de l'alimentation DC.....	17
VI.1.3.4	Temps de déconnexion sur fonctionnement hors plage DC.....	17
VI.1.3.5	Consommation en veille (ou standby)	17
VI.1.3.6	Comportement à l'ombrage.....	18
VI.1.4	<i>Sécurité du fonctionnement - Comportement sur Pmax et Imax</i>	18
VI.1.5	<i>Informations disponibles</i>	18
VI.1.5.1	Précision données affichées sur écran LCD.....	18
VI.1.5.2	Précision données monitorées	18
VI.2	RACCORDEMENT AU RESEAU ELECTRIQUE.....	19
VI.2.1	<i>Perturbation réseau</i>	19
VI.2.1.1	Plage de tension réseau.....	19
VI.2.1.2	Suivi de tension réseau moyennée sur 10 minutes.....	20
VI.2.1.3	Plage de fréquence réseau	21
VI.2.1.4	Temps de déconnexion pour des valeurs de tension/fréquence en dehors des plages requis	22
VI.2.1.5	Temps de reconnexion après une coupure de réseau	22
VI.2.1.6	Temps de déconnexion sur perte du réseau/détection îlotage.....	23
VI.2.1.7	Amplitude bosse de tension suite coupure réseau	24
VI.2.2	<i>Qualité du signal de tension</i>	24
VI.2.2.1	Facteur de puissance (FP)	24
VI.2.2.2	Harmoniques de courant	24
VI.2.2.3	THD courant.....	25
VI.2.2.4	Injection d'un courant DC sur le réseau	26
VI.2.3	<i>Sécurité</i>	26
VI.2.3.1	Tension résiduelle (coté AC) suite à une coupure réseau.....	26

VI.2.3.2	Courant de fuite (coté DC).....	26
VI.2.3.3	Forme du signal de tension (coté DC).....	26
VI.2.3.4	Défaut d'isolement.....	27
VI.2.4	Nouvelles fonctionnalités	27
VI.2.4.1	Puissance réactive	27
VI.3	AUTRES CRITERES	28
VI.3.1	Aspects thermiques	28
VI.3.1.1	Caractéristiques à températures extrêmes.....	28
VI.3.1.2	Comportement à température élevée.....	28
VI.3.2	Fonctions futures : Adaptation de puissance active	28
VII.	PROCEDURES DE TESTS	30
VII.1	INSPECTION VISUELLE	30
VII.1.1	Défaut apparent	30
VII.1.2	Connexion masse métallique à la terre	30
VII.2	CONVERSION D'ENERGIE	30
VII.2.1	Paramètres coté Continu	30
VII.2.1.1	Plage de tensions de démarrage/arrêt	30
VII.2.1.2	Plage de tensions MPP	31
VII.2.1.3	Plage de Courant MPP.....	32
VII.2.2	Rendements onduleur	32
VII.2.2.1	Rendement MPPT.....	32
VII.2.2.1.1	Rendement Statique MPPT.....	33
VII.2.2.1.2	Rendement Dynamique MPPT	33
VII.2.2.2	Rendement de conversion statique	34
VII.2.2.3	Rendement Européen	36
VII.2.2.4	Rendement Total.....	36
VII.2.3	Paramètres de fonctionnement	36
VII.2.3.1	Temps de démarrage+connexion.....	36
VII.2.3.2	Temps de décharge des condensateurs DC	37
VII.2.3.3	Temps de déconnexion sur perte de l'alimentation DC.....	38
VII.2.3.4	Temps de déconnexion sur fonctionnement hors plages DC	38
VII.2.3.5	Consommation en veille (ou standby)	39
VII.2.3.6	Comportement à l'ombrage.....	39
VII.2.4	Sécurité du fonctionnement : Comportement sur Pmax et Idcmax	40
VII.2.5	Informations disponibles	41
VII.2.5.1	Données affichées et précision	41
VII.2.5.2	Données monitorées et précision	42
VII.3	RACCORDEMENT RESEAU	43
VII.3.1	Perturbation Réseau	43
VII.3.1.1	Plage de tension réseau.....	43
VII.3.1.2	Suivi de tension moyennée sur 10 minutes.....	43
VII.3.1.3	Plage de fréquence réseau	44
VII.3.1.4	Temps de déconnexion pour des valeurs de tension/fréquence en dehors des plages requis	45
VII.3.1.5	Temps de reconnexion après perte du RPD	46
VII.3.1.6	Temps de déconnexion sur perte du réseau/Détection îlotage	47
VII.3.1.7	Amplitude bosse de tension suite coupure réseau	48
VII.3.2	Qualité du signal de tension	49
VII.3.2.1	Facteur de puissance	49
VII.3.2.2	Harmoniques de courant.....	50
VII.3.2.3	THD courant.....	51
VII.3.2.4	Injection d'un courant DC sur le réseau	52
VII.3.3	Sécurité	53
VII.3.3.1	Tension résiduelle (coté AC) suite coupure réseau.....	53
VII.3.3.2	Courant de fuite (coté DC).....	53
VII.3.3.3	Formes du signal de tension (coté DC)	54
VII.3.3.4	Défaut d'isolement.....	54
VII.3.4	Nouvelles fonctionnalités	55
VII.3.4.1	Puissance réactive	55
VII.4	AUTRES TESTS	56
VII.4.1	Aspects thermiques	56
VII.4.1.1	Caractéristiques à températures extrêmes.....	56

VII.4.1.2	Comportement à température élevée.....	56
VII.4.2	Fonction future : adaptation de puissance active	57
VIII.	BANCS D'ESSAIS	58
IX.	REFERENCES	58

Préambule

Le présent document est le fruit d'un travail collaboratif réalisé dans le cadre d'un projet de recherche cofinancé par l'ADEME : le projet ESPRIT (Etudes Scientifiques Prénormatives sur le Raccordement au réseau des Installations Techniques photovoltaïques) ; il est relatif au raccordement des installations photovoltaïques au réseau public de distribution.

Le projet ESPRIT, d'une durée de 3 ans, rassemble au sein du même consortium les partenaires suivants :

- CEA – INES
- EDF – R&D
- TRANSENERGIE
- HESPUL
- IDEA
- INPG - G2ELAB

Les objectifs de ce projet sont d'apporter des compléments au cadre réglementaire et technique français relatif au raccordement des installations photovoltaïques au réseau public de distribution. Il vise par ailleurs à apporter des réponses aux situations de défaut de fonctionnement des installations rencontrées sur le terrain, notamment les phénomènes de découplage des onduleurs.

Ce document est le premier livrable de la tâche 4 du projet, dont le but est de proposer un cadre de validation des performances et de certification des systèmes PV, et plus particulièrement des onduleurs PV, en s'appuyant sur une synthèse des exigences auxquels sont soumis ces appareils pour une utilisation en France.

Le document présente à plusieurs reprises des extraits de normes nationales ou internationales dans un but de recherche, et non commercial, pour améliorer les connaissances dans le domaine. Le lecteur pourra avoir accès aux textes complets sur les sites de l'UTE et de la CEI où elles sont disponibles à l'achat.

I. Cadre du document

Ce document traite des onduleurs monophasés ou triphasés destinés aux installations de production photovoltaïques (PV), raccordées au réseau public de distribution électrique (RPD) à basse tension (BT). Son champ d'action se limite à la France continentale, et exclut donc les réseaux insulaires (Corse, DOM ...).

Il ne traite pas des exigences de mise en œuvre de l'installation photovoltaïque complète, car ces aspects font déjà l'objet de normes, ni des exigences de conception d'organes externes aux onduleurs.

II. Introduction

Il n'existe pas, en France, de norme produit traitant des onduleurs destinés aux installations de production photovoltaïques. Cette absence de norme produit et d'exigence claire en matière de fonctionnalités dont doivent disposer les onduleurs pour une utilisation en France affecte les différents acteurs impliqués dans la mise en œuvre de ces installations :

- Les fabricants d'onduleurs n'ont pas une connaissance exhaustive du paramétrage de leurs produits à réaliser ainsi que des fonctionnalités à activer ou désactiver,
- Les producteurs photovoltaïques ne sont pas certains des performances des onduleurs qu'ils envisagent d'utiliser et de leur conformité pour une utilisation en France,
- Les gestionnaires de réseaux de distribution n'ont pas la garantie que les onduleurs utilisés respectent scrupuleusement leur référentiel technique.

L'objectif est de ce document est donc d'ébaucher une synthèse des exigences auxquelles sont soumis les onduleurs pour une utilisation en France et de proposer un cadre de validation des performances des onduleurs PV et de certification qui définisse les procédures d'essai à réaliser par un laboratoire indépendant. Le but est de constituer un cadre français pour le test des onduleurs qui s'appuie sur la réglementation et l'état de l'art en la matière, afin d'aborder la question de manière globale, c'est-à-dire sans se restreindre à la prénorme DIN VDE 0126-1-1 ou à d'autres normes internationales, et en mettant fin à certaines incohérences dans les textes actuels.

Des critères clairs de performance des onduleurs ont été définis vis-à-vis des performances propres des appareils et concernant le raccordement au réseau. Ces tests, nécessaires sur un onduleur pour valider ses caractéristiques et performances, contribueront à garantir un fonctionnement optimisé sur le terrain.

La mise en place d'un tel cadre technique pourra se dérouler de la façon suivante :

- Définition des critères de performance des onduleurs et des systèmes
- Définition des essais à réaliser (méthodologies, procédures, équipement),
- Montage d'un banc d'essai pour systèmes PV connectés au réseau électrique,
- Réalisation des essais,
- Analyse et publication des résultats de ces essais.

Le présent document couvre les deux premiers points susmentionnés :

- Définition des critères de performances des onduleurs et des systèmes (chapitre VI) : Ce chapitre contient des critères de performance qui vont au-delà des paramètres statiques des onduleurs en déterminant les critères qui vont caractériser leur comportement dynamique lorsqu'ils sont intégrés dans un système photovoltaïque et connectés au réseau.

Ces critères doivent aider à garantir aux producteurs d'électricité un niveau de performance acceptable et aux gestionnaires de réseau un fonctionnement non perturbateur.

Ces critères concernent :

- Les performances pures (comportement dynamique, rendement statique, rendement du MPPT, productible, autoconsommation, ...), plus spécifiques à l'onduleur qu'au couplage en tant que tel, mais essentielles à un service rendu optimisé puisque c'est l'organe principal de la connexion au réseau,

- La qualité du signal injecté sur le réseau (facteur de puissance, distorsion harmonique, forme d'onde, ...),
- La résistance aux perturbations extérieures (perte du réseau amont, ...),
- La sécurité électrique des biens et des personnes dans les typologies d'onduleurs liés aux systèmes PV connectés au réseau.

Lorsqu'un critère ou un paramètre n'apparaît dans aucune norme ou lorsqu'il apparaît dans plusieurs normes de façon contradictoire, une proposition des tolérances à respecter est formulée afin de lever cette ambiguïté. Cette proposition est alors clairement mise en évidence et devra faire l'objet d'une validation.

- Définition des procédures d'essais (chapitre VII):

Ce chapitre contient le programme d'essais à réaliser qui a été défini. Il liste les tests à réaliser (selon les critères et les spécifications techniques définis précédemment) et les conditions d'essai.

L'équipement nécessaire aux essais fait l'objet du chapitre VIII: le simulateur de réseau est ici essentiel puisqu'il permet de générer des perturbations sur le signal réseau et d'en étudier les conséquences, de même que le simulateur PV, qui permet d'avoir des conditions stabilisées et connues de la production.

Le montage d'un banc d'essai pour systèmes PV connectés au réseau électrique et les résultats de tests feront l'objet d'un autre livrable.

III. Références normatives

Le présent document fait référence aux normes et guides suivants :

- Norme NF EN 50530 « Efficacité globale des onduleurs photovoltaïques raccordés au réseau »
- Norme CEI 61727 « Systèmes photovoltaïques (PV) – Caractéristiques de l'interface de raccordement au réseau »
- Norme NF C 15-100 « installations électriques à basse tension »
- Guide UTE C 15-400 « Raccordement des générateurs d'énergie électrique dans les installations alimentées par un réseau public de distribution »
- Guide UTE 15-712-1 « Installations électriques à basse tension – guide pratique - Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution »
- Norme NF EN 50438 « Prescriptions pour le raccordement de micro-générateurs en parallèle avec les réseaux publics de distribution à basse tension »
- Prénorme DIN VDE 0126-1-1 « Dispositif de déconnexion automatique entre un générateur et le réseau public à basse tension »
- Norme NF EN 50160 « Caractéristique de la tension fournie par les réseaux publics de distribution »
- Norme CEI 62 116 « Procédure d'essai des mesures de prévention contre l'îlotage pour onduleurs photovoltaïques interconnectés au réseau public »
- Norme CEI 62109-1 et -2 « Sécurité des convertisseurs de puissance utilisés dans les systèmes de production photovoltaïques ».

IV. Définitions, sigles et abréviations

- Signification des abréviations utilisées dans ce document :

D	Rapport cyclique (convertisseur DC/DC)
dv	Incrément en tension (pas de perturbation) (V)
G	Irradiation globale dans le plan du module PV (W/m ²)
GPV	Générateur photovoltaïque
I	Courant (A)
I _{CC}	Courant de court circuit (A)
I _{MPP}	Courant au point de puissance maximale (A)
I _{theoIV}	Courant au P _{theoIV} du panneau issue de la courbe I-V (A)
MPP	Point de puissance maximale
η	Rendement de l'algorithme MPPT
P	Puissance active (W)
P _{acnom}	Puissance AC nominale
P _{dcnom} , P _{DCn}	Puissance DC nominale
P&O	Algorithme perturbation et Observation
PF	Point de fonctionnement
P _{MAX}	Puissance maximale(W)
P _{mpp}	Puissance max du panneau sur lequel on teste l'algorithme MPPT (W)
P _{theoIV}	Puissance du panneau issue de la courbe I-V (W)
PV	Photovoltaïque
RPD	Réseau public de distribution
S	Puissance apparente (VA)
STC	Conditions standards de test
T _m	Température du module (°C)
V	Tension (V)
V _{mpp}	Tension au P _{mpp} du panneau sur lequel on teste l'algorithme MPPT (V)
V _{OC}	Tension de circuit ouvert (V)
V _{theoIV}	Tension au P _{theoIV} du panneau issue de la courbe I-V (V)
α _v	Coefficient de température de la tension de circuit ouvert (V/°C ou %/°C)

- Connexion/déconnexion, arrêt/démarrage de l'onduleur :

Selon les termes normalisés (cf. CEI 61 727), l'onduleur ne doit être totalement déconnecté du réseau public d'électricité que pour les opérations de service ou de maintenance. A tous les autres moments, que l'onduleur soit en train de transférer de l'énergie PV vers le réseau public ou non, les circuits de commande restent connectés au réseau pour en contrôler l'état.

Par abus de langage, on parle de déconnexion de l'onduleur pour dire qu'il "cesse d'alimenter la ligne du réseau public". Cette phrase est destinée à confirmer que l'onduleur n'est pas totalement déconnecté du réseau public dans le cas d'une fonction de déclenchement, comme un déclenchement de surtension. L'onduleur peut être complètement déconnecté du réseau public pour sa maintenance en ouvrant un commutateur en courant alternatif prescrit par le réseau.

Dans le présent document, les expressions employées auront la signification suivante :

- « l'onduleur se connecte (au RPD) » = l'onduleur alimente le réseau,
- « l'onduleur se déconnecte » = l'onduleur cesse d'alimenter le réseau,
- « l'onduleur démarre » = l'onduleur sort de son état de veille, procède à certaines mesures mais n'alimente pas le réseau,
- « l'onduleur s'arrête » = l'onduleur passe en mode veille.

- Rendement

Le présent document utilise indistinctement les termes « rendement » et « efficacité » comme traduction du terme anglais « efficiency » (rapport, sans dimension, généralement exprimé en %, d'une quantité en sortie sur une quantité en entrée).

- Onduleur isolé

Un onduleur est dit isolé lorsqu'il intègre ou est couplé à un transformateur d'isolement (transformateur basse fréquence côté AC ou transformateur haute fréquence côté DC). Il est donc dit non isolé dans le cas contraire.

V. Informations sur l'onduleur requises

Les informations suivantes doivent être portées à la connaissance de l'utilisateur de l'appareil :

V.1 Caractéristiques d'entrée (DC)

- Puissance nominale
- Puissance PV maximale
- Plage de tension du MPPT
- Plage de tension de démarrage/arrêt
- Tension maximale DC
- Courant maximal DC
- Temps de démarrage-connexion

V.2 Caractéristiques de sortie (AC)

- Puissance nominale
- Puissance maximale
- Tension nominale
- Courant nominal
- Fréquence
- Facteur de puissance
- Facteur de distorsion harmonique totale
- Rendement statique maximal
- Rendements statiques à 5, 10, 20, 30, 50 et 100 % de la puissance nominale
- Rendement statique européen
- Courbe de rendement statique en fonction de la charge
- Courbe de rendement statique en fonction de la tension DC
- Courbe de rendement statique en fonction de la température

V.3 Informations générales

- Type de topologie de l'onduleur
- Isolation galvanique ou non
- Consommation en veille
- Plage de température ambiante de fonctionnement
- Poids
- Indice de protection

V.4 Interface avec le réseau

- Méthode de détection active de la perte du réseau amont
- Réglage du relais à minimum de tension
- Réglage du relais à maximum de tension
- Réglage du relais à minimum de fréquence
- Réglage du relais à maximum de fréquence
- Temps de reconnexion après déconnexion du réseau
- Impédance à 175 Hz (fréquence du signal tarifaire)

V.5 Dimensions

- Longueur
- Largeur

- Hauteur

V.6 Normes satisfaites

- DIN VDE 0126-1-1 par exemple
- ...

V.7 Garantie

- Durée de garantie

VI. Critères de performance des onduleurs

Ce chapitre contient la liste des données techniques permettant de caractériser les performances d'un onduleur raccordé au réseau ; Ces caractéristiques sont classées en deux catégories distinctes :

- Celles liées aux performances de la conversion de l'énergie et au fonctionnement de base de l'appareil,
- Celles concernant les performances de l'interface avec le réseau, c'est-à-dire les capacités à ne pas perturber le réseau et la tenue aux régimes perturbés.

Pour chaque caractéristique, il est clairement indiqué :

- Le critère à vérifier (par exemple, valeur maximale d'un paramètre, action attendue sur dépassement d'un seuil ...),
- Les références utilisées pour définir ces critères (normes existantes en général, ou propositions Esprit lorsque les textes font défaut à ce jour).

Certains critères sont classiques et largement traités dans des normes. D'autres qui proviennent du comportement d'onduleurs constaté sur le terrain ou sont relatifs à des fonctionnalités émergentes ou futures, peuvent ne pas être correctement couverts par les textes réglementaires, mais sont importants pour un fonctionnement satisfaisant le gestionnaire du réseau BT (relativement aux harmoniques de courant par exemple), les intervenants sur l'installation ou le réseau (aspects sécuritaires) et l'exploitant (moins de déconnexions intempestives par exemple). Dans ce cas, une proposition des tolérances à respecter est formulée afin de lever cette ambiguïté.

VI.1 Conversion d'énergie

VI.1.1 Paramètres côté continu

VI.1.1.1 Plage de tension de démarrage/arrêt de l'onduleur

Résultats : valeurs numériques de tensions min et max

Critère(s) à vérifier :

- données indiquées par le constructeur sur la fiche technique (i.e. vérifier que les indications fournies sont exactes)
- $V_{dcmax} < 1500 \text{ V}$ (vérifier cette inéquation)

Source : NF C 15100

223 Domaines de tensions en courant continu

Les domaines de tensions en courant continu dans lesquels doivent être classées les installations selon leur tension nominale sont définis dans le tableau 22B :

- pour les systèmes reliés directement à la terre, par les valeurs de la tension entre un pôle et la terre et entre deux pôles ;
- pour les systèmes non reliés directement à la terre, par la valeur de la tension entre deux pôles.

Tableau 22B - Domaines de tensions en courant continu

DOMAINES	SYSTEMES RELIES DIRECTEMENT A LA TERRE		SYSTEMES NON RELIES DIRECTEMENT A LA TERRE (*)
	Entre pôle et terre	Entre pôles	Entre pôles
I	$U \leq 120$	$U \leq 120$	$U \leq 120$
II	$120 < U \leq 900$	$120 < U \leq 1500$	$120 < U \leq 1500$

U est la tension nominale de l'installation (volts)

(*) Si le compensateur est distribué, les matériels alimentés entre pôle et compensateur sont choisis de telle manière que leur isolation corresponde à la tension entre pôles

Figure 1 - Extrait de la norme NF C 15 100

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.1.2 Plage de tension MPPT

Résultats : valeurs numériques de tensions min et max MPPT

Critère(s) à vérifier :

- o données indiquées par le constructeur sur la fiche technique
- o $V_{dcmax} / k < V_{mppmax}$

Source : UTE C 15-712-1

<p>14 Choix et mise en œuvre des matériels</p> <p>14.1 Généralités</p> <p>La tension assignée d'emploi de tous les matériels de la partie d.c. doit être égale ou supérieure à la tension U_{OCMAX}</p>
--

Figure 2 – extrait de la norme UTE C 15 712-1

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.1.3 Plage de Courant MPPT

Résultats : valeurs numériques de courants min et max MPPT

Critère à vérifier : données constructeur

Source : aucune

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.2 Rendements onduleur

VI.1.2.1 Rendement MPPT Statique

Résultats : courbes 2D ou courbe 3D

Critère à vérifier : données constructeur si existantes

Source : EN50530 pour le calcul

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.2.2 Rendement MPPT Dynamique

Résultats : valeur (valeur moyenne des efficacités des MPPT dynamiques des essais)

Critère à vérifier : données constructeur si existantes

Source : EN50530 pour le calcul

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.2.3 Rendement de conversion statique onduleur

Résultats : courbes 2D ou courbe 3D

Critère à vérifier : données constructeur

Source : EN50530 pour le calcul

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.2.4 Rendement Européen onduleur

Résultats : 1 valeur numérique, catégories A, B, C

Critère à vérifier : donnée constructeur

Source :

- EN50530 pour le calcul
- Photon :

OVERVIEW OF GRADING SYSTEM							
Grade	A++	A +	A	B	C	D	E
PHOTON efficiency	≥ 98 %	96.5 - < 98 %	95 - < 96.5 %	93.5 - < 95 %	92 - < 93.5 %	90 - < 92 %	< 90 %

Figure 3 – extrait de la revue Photon

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.2.5 Rendement total onduleur

Résultats : courbes 2D ou courbe 3D

Critère à vérifier : données constructeur si existantes

Source : EN50530 pour le calcul

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants

- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.3 Paramètres de fonctionnement

VI.1.3.1 Temps de démarrage-connexion

Résultats : 1 valeur numérique, catégories A, B, C

Critère à vérifier : données constructeur si existantes
catégories :

Catégorie	A	B	C	D
Temps démarrage-connexion (s)	< 30 s	< 45 s	< 60 s	> 60 s

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.3.2 Temps de décharge des condensateurs (côté DC)

Résultats : 1 valeur numérique

Critère à vérifier : néant

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.3.3 Temps de déconnexion sur perte de l'alimentation DC

Résultats : 1 valeur numérique

Critère à vérifier : < 200 ms ?

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.3.4 Temps de déconnexion sur fonctionnement hors plage DC

Résultats : 1 valeur numérique

Critère à vérifier : < 200 ms ?

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.3.5 Consommation en veille (ou standby)

Résultats : 2 valeurs numériques + Catégories A, B, C

Critère à vérifier : données constructeur si existantes

catégories :

catégories	A	B	C	D
Puissance moyenne en mode veille	< 1 W	< 5 W	< 15 W	> 15 W

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.3.6 Comportement à l'ombrage

Résultats : 1 valeur booléenne

Critère à vérifier : atteinte ou non du MPP

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.4 Sécurité du fonctionnement - Comportement sur Pmax et Imax

Résultats : déconnexion de l'onduleur ou limitation en puissance

Critère à vérifier : pas d'endommagement de l'onduleur

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.5 Informations disponibles

VI.1.5.1 Précision données affichées sur écran LCD

Résultats : tableau de valeurs numériques, catégories A, B, C

Critère à vérifier : < 10 % Pac_nom sur [0-20% Pac_nom] et < 2% au-delà ; < 2% sur Vac et Vdc

+ Catégories :

- A : critères satisfaits
- B : écarts sur tension compris entre 2 et 5% ; écarts sur puissance compris entre 2 et 5% pour Pac > 20% de Pacnom
- C : écarts sur tension > 5% ; écarts sur puissance > 5% pour Pac > 20% de Pacnom

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.1.5.2 Précision données monitorées

Résultats : valeurs numériques

Critère à vérifier : précisions minimales requises :

- Puissance : 2%

- Tension : 2%
- Courant : 2%
- Fréquence : 0.1 Hz
- Energie : 2%

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2 Raccordement au réseau électrique

VI.2.1 Perturbation réseau

VI.2.1.1 Plage de tension réseau

Résultats : valeurs de tension AC min et max

Critère à vérifier : non déconnexion sur l'intervalle [80%-115%] de V_{nom}

Source :

- DIN VDE 0126-1-1 [80% - 115%]

4.2.1 Diminution de la tension (fonction de protection)

Les tensions au niveau des conducteurs externes, par lesquels passe l'alimentation électrique, de $\leq 80\% U_N$ doivent provoquer un déclenchement dans un laps de temps de 0,2 seconde. Cette valeur limite doit être impossible à modifier sur l'appareil.

4.2.2 Augmentation de la tension (fonction de protection)

Les tensions au niveau des conducteurs externes, par lesquels passe l'alimentation électrique, de $\geq 115\% U_N$ doivent provoquer un déclenchement dans un laps de temps de 0,2 seconde. Cette valeur limite doit être impossible à modifier sur l'appareil.

Figure 4 – extrait d'une traduction non officielle de la prénorme DIN VDE 0126-1-1

- NF C15-400 [85% - 115 %]

Protections de découplage BT	Type B.1 (ex type 2.1)	Type B.2 (ex type 2.2)	Sectionneur automatique DIN VDE 0126
Détection des défauts monophasés HTA	Non réalisée	Non réalisée	Non réalisée
Séparation du réseau amont			Max impédance raccordement amont $Z_{rac} < 1,25$ puis $1,75\Omega$ $\Delta Z_{rac} < +0.5 \Omega$ Temporisée 5 secondes
Détection des défauts polyphasés	Mini de V Instantanée 85% V_n	Mini de V Instantanée 85% V_n	Mini de V Instantanée 80% V_n
Marche en réseau séparé	Mini de V Instantanée 85% V_n	Mini de V Instantanée 85% V_n	Mini de V Instantanée 80% V_n
	Max de V Instantanée 115% V_n	Max de V Instantanée 115% V_n	Max de V Instantanée 115% V_n
	Mini de f Instantanée 49,5 Hz		Mini de f Instantanée 49.8 Hz
	Maxi de f Instantanée 50,5 Hz		Maxi de f Instantanée 50,2 Hz

Figure 5 – Protection BT et seuils (ERDF-NOI-RES_13E)

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.1.2 Suivi de tension réseau moyennée sur 10 minutes

Résultats : booléen

Critère à vérifier : déconnexion si fonctionnement avec tension réseau moyennée sur 10 minutes hors de l'intervalle [85%-110%] de V_{nom_eff}

Source :

NF EN 50160

Dans les conditions normales d'exploitation,

- Durant chaque période d'une semaine, 95% des valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes de la tension délivrée doivent être dans la plage $U_n \pm 10\%$; et
- Toutes les valeurs efficaces moyennées sur 10 minutes de la tension délivrée doivent être dans la plage $U_n + 10\% / - 15\%$.

Figure 6 – extrait de la norme NF EN 50160

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.1.3 Plage de fréquence réseau

Résultats : valeurs de fréquence AC min et max

Critère à vérifier : non déconnexion sur l'intervalle [47.5 Hz - 52 Hz] avec décroissance Pactive si $f > 50.2$ Hz

Source :

- o DIN VDE 0126-1-1: [47.5 HZ - 50.2 Hz]
- o NF C15-400: [49.5 Hz - 50.5 Hz]
- o Groupe de travail du Cenelec & projet Derlab [3] : [47.5 Hz - 52 Hz] avec décroissance Pactive si $f > 50.2$ Hz

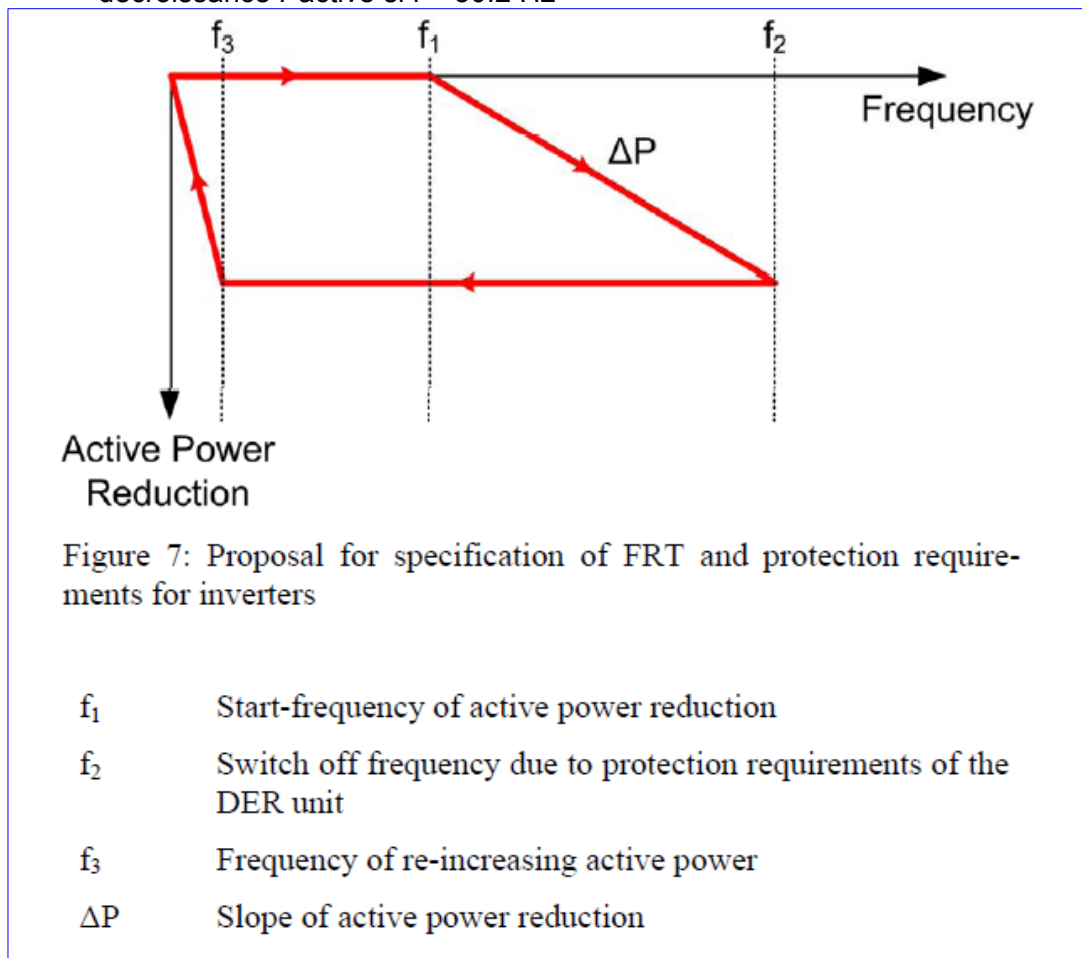


Figure 7 – Protection contre les variations de fréquence (cf. /3/)

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.1.4 Temps de déconnexion pour des valeurs de tension/fréquence en dehors des plages requises

Résultats : valeur numérique

Critère à vérifier : < 200 ms

Source : DIN VDE 0126-1-1

4.2 Contrôle de tension

4.2.1 Diminution de la tension (fonction de protection)

Les tensions au niveau des conducteurs externes, par lesquels passe l'alimentation électrique, de $\leq 80 \% U_N$ doivent provoquer un déclenchement dans un laps de temps de 0,2 seconde. Cette valeur limite doit être impossible à modifier sur l'appareil.

4.2.2 Augmentation de la tension (fonction de protection)

Les tensions au niveau des conducteurs externes, par lesquels passe l'alimentation électrique, de $\geq 115 \% U_N$ doivent provoquer un déclenchement dans un laps de temps de 0,2 seconde. Cette valeur limite doit être impossible à modifier sur l'appareil.

4.3 Contrôle de fréquence

Les fréquences inférieures à 47,5 Hz et supérieures à 50,2 Hz doivent provoquer un déclenchement en moins de 0,2 seconde.

Lorsque la fréquence du réseau sort de la plage de ± 1 Hz, le système doit cesser d'alimenter la ligne de distribution du réseau dans les 0,2 s. La plage et la temporisation autorisées sont destinées à permettre un fonctionnement continu pour des perturbations courtes et pour éviter des déclenchements excessifs nuisibles dans des situations où le réseau connaît des faiblesses.

Figure 8 – extraits de la DIN VDE 0126-1-1

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.1.5 Temps de reconnexion après une coupure de réseau

Résultats : valeur numérique

Critère à vérifier : temps égal à 30 secondes (± 5 secondes)

Source :

- IEC 61727

5.4 Réponse au rétablissement du réseau public

A la suite de conditions hors limites du réseau public ayant conduit le système photovoltaïque à cesser son alimentation, celui-ci ne doit pas alimenter la ligne de distribution du réseau pendant 20 s à 5 min après le rétablissement dans les limites des plages spécifiées de la tension et de la fréquence.

NOTE Le délai d'alimentation dépend des conditions locales.

Figure 9 – extrait de la norme IEC 61727

- NF EN 50438

4.2.4 Reconnexion automatique après une coupure de réseau

La protection de découplage doit assurer que la fourniture de puissance vers le réseau de distribution commencera seulement après que la tension et la fréquence du réseau de distribution soient revenus dans les limites des réglages de la protection de découplage pendant au minimum

- 3 min pour une génération en courant alternatif mécanique,
- 20 s pour les systèmes derrière onduleur.

Figure 10 - extrait de la norme NF EN 50438

- DIN VDE 0126-1-1

Pour permettre une resynchronisation sans coupure du sous-réseau avec le réseau normal, la fréquence du sous-réseau est de nouveau alignée sur la fréquence actuelle du réseau, pour mettre fin à l'utilisation du générateur de réserve. Pour que les générateurs ne se remettent pas en route immédiatement, lorsque la fréquence se trouve à nouveau dans la zone de tolérance et pour qu'ils ne mettent pas ainsi en danger la stabilité de l'exploitation du réseau pendant cette phase, il convient d'observer une temporisation de 30 s après une période de coupure importante des générateurs.

Figure 11 – extrait de la norme DIN VDE 016-1-1

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.1.6 Temps de déconnexion sur perte du réseau/détection îlotage

Résultats : valeur numérique

Critère à vérifier : maintien de l'alimentation < 2 secondes

Source :

- CEI 62116

6.2 Critères d'acceptation/de rejet

Un EUT est considéré comme conforme aux exigences pour la protection contre l'îlotage lorsque chaque cas de temps de maintien de l'alimentation enregistré est inférieur à 2 s ou répond aux exigences des codes locaux.

Figure 12 – extrait de la norme IEC 62116

- DIN VDE 0126-1-1

Même sous ces conditions, le dispositif de déconnexion automatique doit identifier avec précision la coupure de réseau et arrêter le générateur en moins de 5 s.

Figure 13 – extraits de la DIN VDE 0126-1-1

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.1.7 Amplitude bosse de tension suite coupure réseau

Résultats : tableau de valeurs numériques

Critère à vérifier : $V_{crête} < 150 \% V_{nom_crête}$ en 200 ms

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.2 Qualité du signal de tension

VI.2.2.1 Facteur de puissance (FP)

Résultats : courbes 2D ou courbe 3D

Critère à vérifier : $FP > 0.9$ dès que $P > 50\% P_{nom}$

Source:

- UL1741 standard for static inverters and charge controllers for use in PV systems ($FP > 0.85$ dès que $P > 25\% P_{nom}$)
- CEI 61727

4.7 Facteur de puissance

Le système PV doit avoir un facteur de puissance moyen en retard supérieur à 0,9 lorsque la valeur de sortie est supérieure à 50 % de la puissance de sortie de l'onduleur assigné.

NOTE 1 Des systèmes spécialement conçus qui assurent une compensation de puissance réactive peuvent fonctionner au-delà de cette limite avec l'agrément du réseau public de distribution de l'électricité.

NOTE 2 La plupart des onduleurs PV conçus pour fonctionner en étant raccordés au réseau public de distribution de l'électricité fonctionnent de manière proche du facteur de puissance du réseau.

Figure 14 – extrait de la norme CEI 61727

- NF EN 50438

5.3 Facteur de puissance

Le facteur de puissance du micro-générateur dans les conditions de fonctionnement normales à l'intérieur des bandes de tolérances réglementaires de tension nominales doit être compris entre 0,95 inductif et 0,95 capacitif, sous réserve que la puissance active de sortie du micro-générateur soit au-dessus de 20 % de la puissance de sortie assignée de l'unité.

Figure 15 - extrait de la norme NF EN 50438

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.2.2 Harmoniques de courant

Résultats : valeurs numériques

Critère à vérifier : respect des seuils des harmoniques de courant paires et impaires, tous rangs

Source :

- CEI 61727 (2004)

Les harmoniques pairs dans ces plages doivent être inférieures à 25 % des limites inférieures d'harmoniques impaires indiquées.

Tableau 1 – Limites de distorsion de courant

Harmoniques impaires	Limite de distorsion
3 ^e à 9 ^e	Inférieure à 4,0 %
11 ^e à 15 ^e	Inférieure à 2,0 %
17 ^e à 21 ^e	Inférieure à 1,5 %
23 ^e à 33 ^e	Inférieure à 0,6 %
Harmoniques paires	
	Limite de distorsion
2 ^e à 8 ^e	Inférieure à 1,0 %
10 ^e à 32 ^e	Inférieure à 0,5 %

NOTE Le test des harmoniques est très problématique, car la distorsion de tension peut amener à une augmentation de la distorsion de courant. Il convient que l'injection harmonique de courant soit spécifique à chaque harmonique de courants due aux distorsions harmoniques en tension présentes dans le réseau public sans système PV connecté. Les onduleurs testés étant conformes aux exigences précédentes seront considérés comme pouvant être utilisés sans essais supplémentaires.

Figure 16 – extrait de la norme CEI 61727

- Note : voir également la CEI 61000-3-15 (Power quality for LV generators) et la TS 50549 (Prescriptions pour le raccordement de générateurs de plus de 16A par phase — Partie 1: Connexion au réseau de distribution BT) en cours de rédaction

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit (valeurs des seuils et rangs élevés)
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.2.3 THD courant

Résultats : valeur numérique

Critère à vérifier : < 5 % pour P > 50 % P_{nom_ac} (et à V_{nom})

Source : CEI 61727 (2004)

La distorsion harmonique totale en courant doit être inférieure à 5 % de la valeur assignée de sortie de l'onduleur. Chaque harmonique individuelle doit être limitée aux pourcentages donnés dans le Tableau 1.

Figure 17 – extrait de la norme CEI 61727

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants (concernant la limite)
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit (concernant le seuil de puissance)

VI.2.2.4 Injection d'un courant DC sur le réseau

Résultats : valeur numérique

Critère à vérifier : déconnexion si $I_{dc_injecté} > 0.5\%$ de I_{nom_ac} en $t < 200$ ms

Source :

- CEI 61727 (2004)

4.4 Injection de courant continu

Le système PV ne doit pas injecter de courant continu d'une valeur supérieure à 1 % de celle du courant de sortie assigné de l'onduleur dans l'interface en courant alternatif de raccordement au réseau dans toutes les conditions de fonctionnement.

Figure 18 – extrait de la norme CEI 61727

- DIN VDE 0126-1-1

4.4 Contrôle du courant continu

L'arrivée de courant continu dans le réseau basse tension en raison d'un mauvais fonctionnement du générateur doit provoquer une coupure en moins de 0,2 s. Pour cela, il est possible de prendre soit la panne elle-même soit une fraction égale de courant de plus de 1 A comme critère de déclenchement.

Figure 19 – extrait de la norme DIN VDE 016-1-1

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.3 Sécurité

VI.2.3.1 Tension résiduelle (coté AC) suite à une coupure réseau

Résultats : valeur numérique

Critère à vérifier : < 0 V

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.3.2 Courant de fuite (coté DC)

Résultats : valeur numérique

Critère à vérifier : courant de fuite inférieur à 30 mA dans les conditions d'essais.

Source : aucune

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.3.3 Forme du signal de tension (coté DC)

Résultats : graphes, valeurs numériques (amplitudes DC et AC des polarités + et - % à la terre)

Critère à vérifier : aucun

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.3.4 Défaut d'isolement

Résultats : valeur booléenne

Critère à vérifier : Si la résistance d'isolement est inférieure à $R = (V_{MAX_PV}/30 \text{ mA})$ ohms, l'onduleur doit indiquer un défaut.

Source :

- CEI 62109-2

4.8.2.1 Détection de la résistance d'isolement d'un générateur pour des onduleurs pour générateurs non mis à la terre

Les onduleurs utilisés avec des générateurs non mis à la terre doivent comporter un moyen pour mesurer la résistance d'isolement en courant continu entre l'entrée photovoltaïque (générateur) et la terre avant de commencer à fonctionner, ou ils doivent être fournis avec des instructions d'installation conformément au 5.3.2.11.

Si la résistance d'isolement est inférieure à $R = (V_{MAX_PV}/30 \text{ mA})$ ohms, l'onduleur:

- s'agissant des onduleurs isolés, doit indiquer un défaut conformément au 13.9 (le fonctionnement est autorisé); l'indication du défaut doit être maintenue jusqu'à ce que la résistance d'isolement du générateur soit restituée à une valeur supérieure à la limite ci-dessus;
- s'agissant des onduleurs non isolés ou des onduleurs avec une isolation ne satisfaisant pas aux limites de courant de fuite selon les exigences d'isolation minimales de l'onduleur figurant au Tableau 30, doit indiquer un défaut selon le 13.9 et ne pas effectuer de connexion au réseau d'alimentation; l'onduleur peut continuer à effectuer la mesure, il peut mettre fin à l'indication de défaut et peut se connecter au secteur si la résistance d'isolement du générateur est rétablie à une valeur supérieure à la limite ci-dessus.

Figure 20 – extrait de la norme CEI 62109-2

- DIN VDE 0126-1-1

La résistance d'isolement, coté générateur, avant la mise sous tension de réseau, doit être $\geq 1 \text{ k}\Omega/\text{V}$ par rapport à la tension d'entrée maximum de l'onduleur, et au minimum de 500 k Ω . Les courants de perte supérieurs à 300 mA doivent provoquer

Figure 21 – extrait de la norme DIN VDE 016-1-1

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.2.4 Nouvelles fonctionnalités

VI.2.4.1 Puissance réactive

Résultats : valeur booléenne

Critère à vérifier : non absorption de puissance réactive sur toute la plage de puissance

Source : arrêté du 23.04.2008 (cf. /4/)

Domaine de fonctionnement de l'installation

Art. 9. – Les installations de production raccordées en basse tension ne doivent pas absorber de puissance réactive.

Figure 22 – extrait de l'arrêté du 23 avril 2008

La CEI a rédigé un guide de raccordement qui indique que le réglage du réactif fait l'objet d'accord entre gestionnaire du réseau public et producteur raccordé en HTA. En France, la puissance publique donne les règles à respecter dans le décret 23/04/2008. Ces règles se matérialisent sous forme d'un diagramme U-Q, définissant la plage de fonctionnement possible (disposition constructive permettant de produire du réactif). Pour la BT, le texte précise uniquement que l'absorption de réactif est interdite. Un diagramme U-Q, comme pour le HTA pourrait être défini à l'avenir

Le dispositif de commande de ce réactif n'est pas spécifié pour le moment en BT, mais devrait l'être dans l'avenir. Ce sera au distributeur de définir les modes de fonctionnement.

Dans le cas d'une évolution éventuelle de la réglementation française dans l'avenir sur cette question, les onduleurs pouvant fonctionner en mode de commande du facteur de puissance pourraient contribuer au réglage de tension (par l'intermédiaire de la gestion de la puissance réactive) ou à la production/absorption de puissance réactive (cf. travaux de la TS 50549 en cours de rédaction).

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.3 Autres critères

VI.3.1 Aspects thermiques

VI.3.1.1 Caractéristiques à températures extrêmes

Résultats : courbes 2D ou 3D du rendement énergétique et valeurs numériques (Pmax et Imax) pour températures extrêmes.

Critère à vérifier : aucun

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.3.1.2 Comportement à température élevée

Résultats : courbe $P_{max}=f(T^{\circ})$

Critère à vérifier : aucun

Source : néant

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VI.3.2 Fonctions futures : Adaptation de puissance active

Résultats : valeur de la tension Vseuil

Critère à vérifier : non déconnexion sur l'intervalle [Vseuil - Vmax] avec décroissance Pactive si $V > V_{seuil}$

Source : néant

Le distributeur a besoin de connaître les puissances actives et réactives produites par les producteurs raccordés à son réseau, en temps réel. De tels dispositifs de communication ont été spécifiés pour les producteurs raccordés en HTA en France.

En cas de contrainte sur son réseau, le distributeur pourra être amené à demander au producteur, de se déconnecter ou de réduire sa production (active ou réactive).

Des dispositifs locaux de limitation de la puissance active en fonction de la tension existent dans certains pays (Japon).

Choix du critère :

- Unanimité des textes existants
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

VII. Procédures de tests

Pour chacun des critères présentés au chapitre VI, une procédure d'essai est décrite pour vérifier la conformité de l'onduleur.

VII.1 Inspection Visuelle

Avant de commencer l'installation et les essais, une inspection visuelle minutieuse est effectuée. Le manuel d'utilisation est lui aussi parcouru afin de déterminer tous les paramètres nominaux et de connaître l'architecture interne de l'onduleur.

VII.1.1 Défaut apparent

But : vérifier l'absence de dommages extérieurs apparents sur l'appareil, ayant pu survenir lors de la manutention ou du transport.

Critères : aspect extérieur sans défaut

Répétition : aucune

Résultats : absence ou présence de défaut

VII.1.2 Connexion masse métallique à la terre

But : vérifier la possibilité de connexion la carcasse de l'onduleur à la terre (le guide C 15 712-1 faisant obligation de le faire avec un câble de 6 mm²), sauf sur appareils sans masse métallique.

Critères : présence

Répétition : aucune

Source :

- Texte existant : Guide UTE C15-712-1
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Résultats : absence ou présence de connexion avec câble adéquat.

VII.2 Conversion d'énergie

Tous les tests effectués dans cette partie, sont réalisés sous une tension (phase-neutre) simple de 230 Vac à la fréquence de 50 Hz (tensions équilibrées dans le cas d'un onduleur triphasé) à l'aide d'un simulateur réseau.

VII.2.1 Paramètres coté Continu

VII.2.1.1 Plage de tensions de démarrage/arrêt

But : vérifier que les données indiquées par le constructeur sur la fiche technique sont exactes

Critères : Respect des domaines de tension continue en BT ($V_{dcmax} < 1500 \text{ V}$)

Procédures :

- Tension de démarrage :
 - Onduleur à l'arrêt, augmenter la tension DC progressivement au rythme de 0,1 V/s (à partir de $V_{min} - 2$ Volts)
 - Noter la tension à laquelle l'onduleur démarre.
- Tension d'arrêt :
 - Onduleur en marche à V_{DC_nom} (ou $V_{min} + 2$ volts), diminuer la tension DC progressivement au rythme de 0,1 V/s
 - Noter la tension à laquelle l'onduleur s'arrête.

Répétition : 3 fois

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants ➔ choix Esprit
- Absence de textes ➔ proposition Esprit

Résultats : valeurs de tensions (à 25 °C) de démarrage et d'arrêt (en valeurs basses).

VII.2.1.2 Plage de tensions MPP

But : Le but de ce test est double :

- déterminer à quelles tensions V_{mpp} l'onduleur se connecte/déconnecte pour une puissance P_{mpp} comprise entre 50 et 100 % de la puissance nominale de l'onduleur ($P_{dc,nom}$).
- Vérifier que la tension DC reste toujours inférieure à la tension maximale admissible (V_{dcmax}).

Critères : $V_{MPPmax} > V_{DCmax} / k$

Car on veut que $V_{ocmax} < V_{dcmax}$ (cf. C15-712-1 §14.1)

Soit : $V_{ocmax}/k < V_{dcmax}/k$

Or $V_{ocmax}=k * V_{ocstc}$ (cristallin) (cf. C15-712-1 §4.17)

D'où : $V_{ocstc} < V_{dcmax}/k$

En recommandant que : $V_{dcmax}/k < V_{mppmax}$

Alors : $V_{ocstc} < V_{mppmax}$ et on est assuré que V_{MPP} a des valeurs acceptables.

Le facteur de correction k dépend de la température ambiante (1,02 à 1,25) ; en absence d'informations précises, prendre 1,2 comme valeur par défaut de k.

Procédures :

- S'assurer que la puissance PV reste dans l'intervalle [50 %, 100 %] de $P_{dc,nom}$
- Puis faire varier la tension du champ PV simulé et donc la tension V_{mpp} (pas de 0,1 V/s) à partir des valeurs seuils supposées (valeurs fabricant) – (resp. +) 5 V pour $V_{mpp,max}$ (resp. $V_{mpp,min}$). Laisser un temps de pause, entre chaque variation, supérieur au temps de démarrage-connexion de l'onduleur.

Répétition : 1 fois

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants ➔ choix Esprit
- Absence de textes ➔ proposition Esprit

Résultats : valeurs haute et basse de la plage de tensions (à 25 °C) : V_{MPPmax} et V_{MPPmin}

VII.2.1.3 Plage de Courant MPP

But : Le but de ce test est double :

- Déterminer à quel courant I_{mpp} l'onduleur se connecte pour une tension égale à la tension nominale de l'onduleur ($V_{mpp,nom}$),
- Vérifier que le courant DC reste toujours inférieur au courant maximal admissible (I_{dcmax}), ou s'il y a déplacement du MPPT en cas de dépassement.

Critères : $I_{MPPmax} > I_{DCmax} / k$

Procédures : Fixer la tension du panneau à $V_{mpp,nom}$ puis faire croître la puissance du champ PV simulé et donc le courant I_{mpp} (0,1 A/s) à partir de la valeur seuil supposée (valeur fabricant) – 5 A.

Répétition : 5 fois

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Résultats : valeur haute de la plage de courant (à 25 °C).

VII.2.2 Rendements onduleur

VII.2.2.1 Rendement MPPT

But : Le rendement MPPT traduit la justesse avec laquelle l'onduleur se place autour du point maximum de puissance. A l'aide du simulateur PV, on définit une courbe I-V dont on connaît exactement les paramètres. ($V_{mpp,PVS}$, $I_{mpp,PVS}$, $P_{mpp,PVS}$...). Ces derniers sont comparés avec les grandeurs mesurées coté DC de l'onduleur.

$$\eta_{mppt} = \frac{P_{mpp,mesuré}}{P_{mpp,PVS}}$$

$P_{mpp,PVS}$: Puissance désirée (définie) par le simulateur PV.

$P_{mpp,mesurée}$: Puissance mesurée coté DC de l'onduleur.

Il faut différencier deux rendements MPPT : le rendement MPPT statique et le rendement MPPT dynamique (cf. NF EN 50530):

- L'efficacité de la MPPT statique décrit la précision de l'onduleur à réguler le point de puissance maximale sur une courbe caractéristique statique donnée d'un générateur PV,
- L'efficacité de la MPPT dynamique traduit la capacité à transiter vers un nouveau point de fonctionnement subséquent à une variation de l'intensité d'irradiation

VII.2.2.1.1 Rendement Statique MPPT

Critères : donnée constructeur si existante

Procédures : L'efficacité de la MPPT statique est déterminée par mesurage par la relation suivante :

$$\eta_{mppt,stat} = \frac{1}{P_{mppt,PVS} \cdot Tm} \times \int_0^{Tm} Vdc(t) \times Idc(t) \times dt$$

Où : Tm est la durée de mesure par échelon
Vdc et Idc sont les valeurs DC en entrée onduleur.

Une période de stabilisation est nécessaire entre chaque changement de point de fonctionnement. On considère qu'une période de 5 minutes permet à tous les onduleurs de se stabiliser au plus près du MPP, puis on procède à la mesure pendant 1 minute.

On réalise les tests décrits dans le tableau ci-dessous pour 20 valeurs de tension MPP différentes (de V_{mpp,min} à V_{mpp,max}).

Source :

- Texte existant : NF EN 50530
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 1 fois

Résultats :

Tension MPP issue de simulateur PV V _{mpp,pvs}	Puissance MPP issue du simulateur PV (P _{mpp,pvs}) en fonction de la puissance nominale DC de l'onduleur (P _{dc,nom})																						
	P _{mpp,pvs} /P _{dc,nom}																						
V _{mpp,min}	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	
...																							
V _{mpp,max} (0,8 x V _{mac,dc})																							

Ou faisceau de courbes tracées à partir du tableau.

On déterminera également l'efficacité européenne de la MPPT statique, définie par :

$$\eta_{mppt,stat,EUR} = 0.03 \times \eta_{mppt,5\%} + 0.06 \times \eta_{mppt,10\%} + 0.13 \times \eta_{mppt,20\%} + 0.1 + 0.48 \times \eta_{mppt,50\%} + 0.2 \times \eta_{mppt,100\%}$$

VII.2.2.1.2 Rendement Dynamique MPPT

Critères : donnée constructeur si existante

Procédures : L'efficacité de la MPPT dynamique est définie par :

$$\eta_{mppt,dyn} = \frac{1}{\sum_i P_{mppt,PVS,i} \cdot Tmi} \times \int_0^{Tm} Vdc(t) \times Idc(t) \times dt$$

Où : Tmi est la durée pendant laquelle P_{mpp,PVS,i} est fournie.

Vu les facteurs de forme différents que l'on rencontre en fonction de la technologie de panneaux utilisés, il convient de tenir compte des différentes technologies de panneaux lorsque l'on veut tester le rendement dynamique MPPT (et seulement le rendement dynamique MPP).

Les essais doivent être conduits selon des séquences précises, avec des fluctuations de l'éclairage entre des niveaux de faible et moyenne intensités de rayonnement, et entre des niveaux de moyenne et haute intensités :

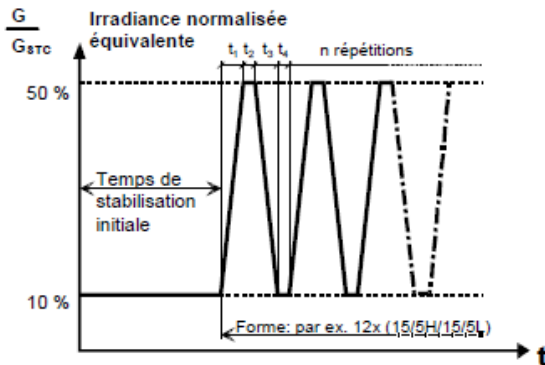


Figure 23 – séquence entre faible et moyenne intensités de rayonnement

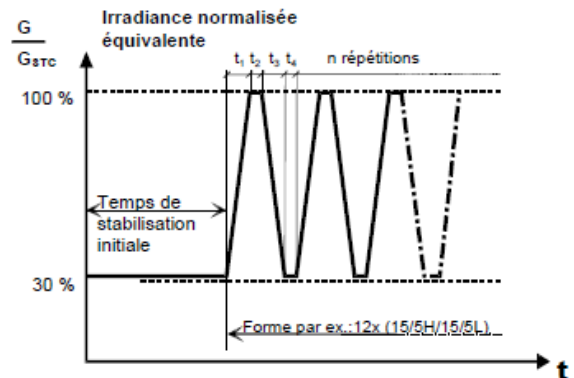


Figure 24 – séquence entre moyenne et haute intensités de rayonnement

Entre parenthèses, temps de montée, temps de maintien haut, temps de descente, temps de maintien bas

Source :

- Texte existant : NF EN 50530
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois par technologie.

Résultats : L'efficacité de la MPPT dynamique est la valeur moyenne des efficacités des MPPT dynamiques unitaires des séquences d'essais :

$$\eta_{mppt,dyn,moy} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \cdot \eta_{mppt,dyn,i}$$

Où : ai est un coefficient de pondération (égal à 1 sauf contre-indications)

N est le nombre de séquences d'essais

$\eta_{mppt,dyn,i}$ est l'efficacité dynamique pour chaque séquence

Voir l'annexe B de la NF EN 50530 pour le détail des séquences d'essai.

VII.2.2.2 Rendement de conversion statique

But : Le rendement de conversion (η_{conv}) est le rapport entre la puissance délivrée par l'onduleur coté AC à un instant t et la puissance disponible par l'onduleur coté DC.

$$\eta_{conv} = Pac(t) / Pdc(t)$$

Avec :

η_{conv} : rendement statique

Pac(t) : Puissance instantanée délivrée par l'onduleur coté AC.

Pdc(t) : Puissance instantanée reçue par l'onduleur coté DC.

Critères : données constructeur

Procédures : Le rendement est mesuré pour 20 niveaux de puissance (de 5 à 100 % de P_{DCn} par pas de 5%) en conditions nominales. Ces puissances seront moyennées sur une période de 20 s, le MPP tracking de longue période n'étant pas pris en considération.

En plus, on réalise la mesure à différents niveaux de tension : $V_{mpp,max}$, $V_{mpp,min}$, $V_{mpp,nom}$.

Source :

- Texte existant : NF EN 50530
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois par technologie.

Résultats : réseau de courbes 2D (comme sur le graphe suivant) ou courbe 3D :

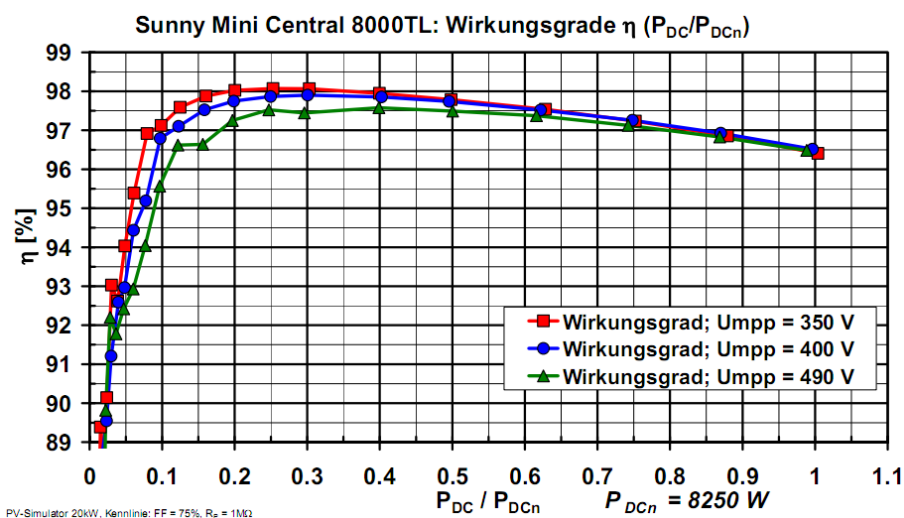


Figure 25 - Exemple de courbes de rendements statiques à différents niveaux de V_{mpp} (Bernier Fachhochschule, 2006).

Pour un graphe 3D, les mesures pourront être faites pour des niveaux de tension couvrant la plage de tension MPPT déterminés en divisant cette plage par 10 :

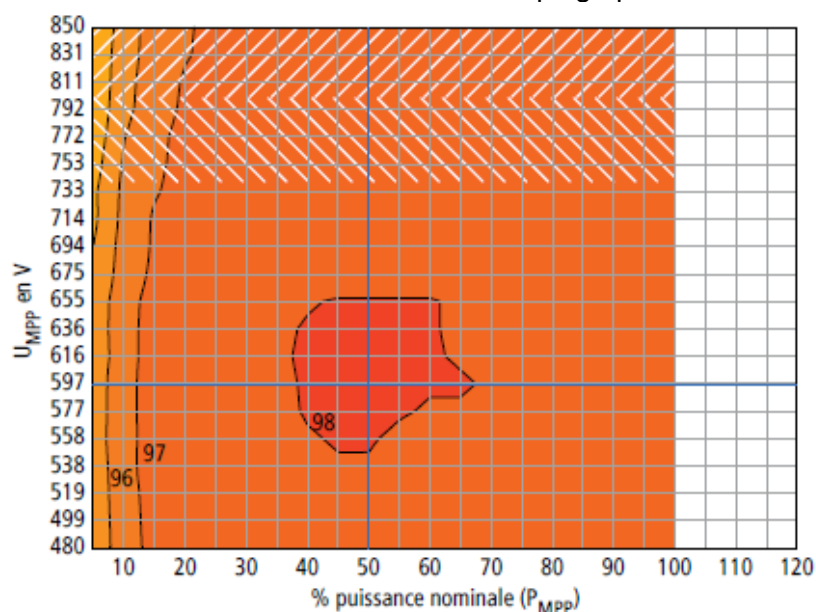


Figure 26 – Exemple de graphe 3D de rendement d'onduleur (source Photon magazine)

VII.2.2.3 Rendement Européen

But : Cette mesure de rendement permet de comparer la qualité et les performances de différents onduleurs relativement à la conversion d'énergie.

Critères : données constructeur

Procédures : Le rendement européen est calculé par la relation suivante à partir des mesures précédentes (à chaque niveau de tension adopté précédemment):

$$\eta_{EU} = 0.03\eta_{5\%} + 0.06\eta_{10\%} + 0.13\eta_{20\%} + 0.10\eta_{30\%} + 0.48\eta_{50\%} + 0.20\eta_{100\%}$$

où :

η_{EU} : rendement européen

$\eta_i\%$: rendement de conversion statique à la puissance relative i

Source :

- Texte existant : NF EN 50530
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : Aucune

Résultats : valeur du rendement européen (à chaque niveau de tension adopté précédemment).

VII.2.2.4 Rendement Total

But : Déterminer le rendement total de la chaîne « MMPT + conversion DC/AC ».

Critères : données constructeur (si spécifiée)

Procédures : L'efficacité globale est égale au produit suivant :

$$\eta_t = \eta_{\text{conv}} \times \eta_{\text{MPPT,stat}}$$

Source :

- Texte existant : NF EN 50530
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : Aucune

Résultats : réseau de courbes 2D ou courbe 3D.

VII.2.3 Paramètres de fonctionnement

VII.2.3.1 Temps de démarrage+connexion

But : Le but de ce test est de déterminer le temps mis par l'onduleur pour se connecter sous les conditions normales de fonctionnement. Le temps de démarrage-connexion de l'onduleur est la période de temps nécessaire à l'onduleur pour se connecter au réseau lorsque le RPD se situe dans des conditions normales de fonctionnement. Il est déterminé lorsque la puissance DC est soit à 50 % de P_{Nom} soit à 100 % de P_{Nom} .

Critères : Vérifier les informations fournies par le fabricant.

Procédures : Les paramètres nominaux du réseau (230V et 50Hz) sont fixés à l'aide du simulateur réseau, et le simulateur PV fixe sa puissance à 50% P_{Nom} puis à P_{Nom} . Le temps passé entre le moment où le simulateur PV entre en marche et le moment où l'onduleur injecte du courant sur le réseau est appelé temps de démarrage-connexion.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 5 fois, et retenir la valeur moyenne.

Résultats :

Vac=230V et f=50Hz	
Puissance DC	Temps démarrage-connexion (s)
0.5 x P _{Nom}	
P _{Nom}	

Catégorie	A	B	C	D
Temps démarrage-connexion (s)	< 30 s	< 45 s	< 60 s	> 60 s

VII.2.3.2 Temps de décharge des condensateurs DC

But : Le but de ce test est de déterminer le temps mis par les condensateurs en entrée de l'onduleur pour se décharger après déconnexion du réseau.

Critères : Aucun

Procédures : Les paramètres nominaux du réseau (230V et 50Hz) sont fixés à l'aide du simulateur réseau, et le simulateur PV fixe sa puissance à 50% P_{Nom} puis à P_{Nom} .

- Déconnecter l'onduleur côtés AC puis DC
- Mesurer la tension V_{DC}
- Noter le temps mis par V_{DC} pour passer de sa valeur initiale à 0

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 5 fois, et retenir la valeur moyenne.

Résultats :

Vac=230V et f=50Hz	
Puissance DC	Temps décharge des condensateurs (s)
0.5 x P _{Nom}	
P _{Nom}	

VII.2.3.3 Temps de déconnexion sur perte de l'alimentation DC

But : Le but de ce test est de caractériser le temps mis par l'onduleur pour se déconnecter du réseau lorsqu'il n'y a plus d'entrée continue (Coté DC).

Critères : Le temps de déconnexion de l'onduleur doit être inférieur à 200 ms.

Procédures : Les paramètres du simulateur réseau sont fixés à leurs valeurs nominales (230V, 50Hz). Le simulateur PV délivre la puissance nominale (à tension nominale) définie par l'onduleur. Le simulateur PV est coupé brusquement (perte du coté DC), on regarde le temps mis par l'onduleur pour se déconnecter du réseau.

Les mesures peuvent être réalisées à l'aide de l'analyseur de puissance et/ou de l'oscilloscope.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 5 fois, et retenir la valeur moyenne.

Résultats :

Vac=230V et f=50Hz	
Puissance DC	Temps déconnexion (s)
Pnom	

VII.2.3.4 Temps de déconnexion sur fonctionnement hors plages DC

But : Le but de ce test est de définir le temps de déconnexion mis par l'onduleur lorsque le champ PV (ici le simulateur PV) sort de la plage de tension ou de courant définis au paragraphe VI.1.1.2 et VI.1.1.3.

Critères : Le temps de déconnexion de l'onduleur doit être inférieur à 200 ms.

Procédures : La puissance délivrée par le simulateur PV est fixée à 50% de la puissance nominale de l'onduleur (50% $P_{DC,Nom}$).

On applique successivement les échelons définis ci-dessous :

on passe de $V_{mpp,max}$ à 110% $V_{mpp,max}$
 puis on passe de $I_{mpp,max}$ à 110% $I_{mpp,max}$

La puissance délivrée par le simulateur PV est fixée à la puissance nominale de l'onduleur ($P_{DC,Nom}$).

On applique successivement les échelons définis ci-dessous :

on passe de $V_{mpp,min}$ à 90% $V_{mpp,min}$

Les mesures peuvent être réalisées à l'aide de l'analyseur de puissance et/ou de l'oscilloscope.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois, et retenir la valeur moyenne.

Résultats :

Vac=230V et f=50Hz	
50% Pnom	Temps déconnexion (s)
Vmpp,max à 110% Vmpp,max	
Impp,max à 110% Impp,max	

Vac=230V et f=50Hz	
Pnom	Temps déconnexion (s)
Vmpp,min à 90% Vmpp,min	

VII.2.3.5 Consommation en veille (ou standby)

But : Mesurer les pertes de l'onduleur en mode veille, c'est-à-dire lorsqu'il n'y a pas de conversion d'énergie.

Critères : données constructeur

Procédures : En partant d'un niveau de puissance nominal DC de 50% (tensions d'entrée et de sortie nominales), on baisse la puissance à zéro, on éteint l'onduleur et on mesure la consommation (puissance moyenne pendant 1 h) de l'onduleur après une période de stabilisation de 1 h.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 1 fois

Résultats : catégorie, selon tableau suivant :

catégories	A	B	C	D
Puissance moyenne en mode veille	< 1 W	< 5 W	< 15 W	> 15 W

VII.2.3.6 Comportement à l'ombrage

But : Caractériser la capacité de l'onduleur à trouver le point de puissance maximale lorsque la courbe P-V (ou I-V) est déformée à cause d'une ombre (courbe avec plus d'un maximum local, comme sur la figure suivante).

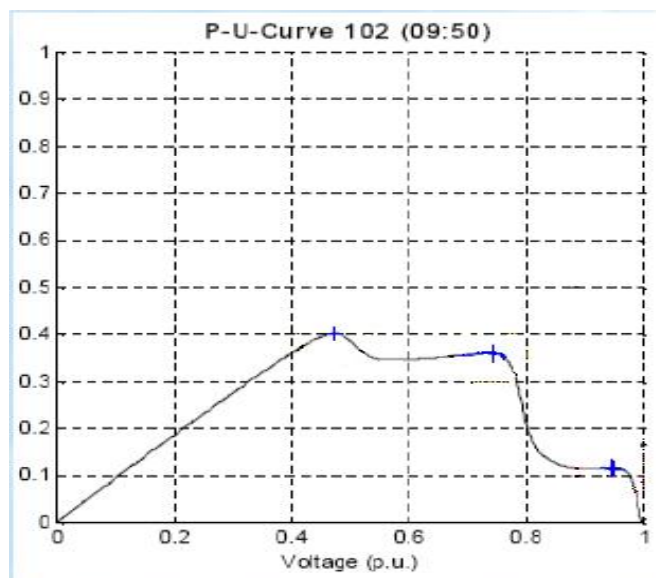


Figure 27 – courbe $P=f(V)$

Critères : Atteinte du point de puissance maximale.

Procédures : Générer avec le simulateur PV une courbe caractéristique $P=f(V)$ avec au moins deux points de puissance maximale (un local et un global).

Conduire l'essai dans deux configurations distinctes :

- Type « matin » avec $V = V_{oc}$ au démarrage de l'onduleur,
- Type « journée » avec génération de la courbe $P=f(V)$, déformée par l'ombrage, quand l'onduleur est déjà connecté au réseau.

La durée de l'essai dans chaque configuration sera d'au moins 10 minutes.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 5 fois

Résultats : Aptitude à trouver le MPP optimum.

VII.2.4 Sécurité du fonctionnement : Comportement sur P_{max} et I_{dcmax}

But : Vérifier la non détérioration de l'onduleur lorsqu'il fonctionne près des seuils maximaux en courant et puissance DC.

Critères : Non endommagement de l'appareil.

Procédures :

- P_{max} : à l'aide du simulateur PV, augmenter la puissance DC fournie à l'onduleur à partir de 90% de P_{nom} par pas de 1 % (augmenter I_{dc} et V_{dc} pour qu'aucun des deux n'atteignent sa valeur maximale).

- Idcmax : à l'aide du simulateur PV, augmenter le courant DC fourni à l'onduleur à partir de 90% de Inom par pas de 0,1 A (augmenter Pdc tout en restant en-deçà de la limite maximale et/ou réduire Vdc).
- Note : veiller durant les tests à ce que la tension DC reste inférieure à Vdcmax, un dépassement étant potentiellement destructif

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 1 fois

Résultats : Déconnexion de l'onduleur ou limitation de la puissance produite.
Valeurs limites en puissance et courant

VII.2.5 Informations disponibles

VII.2.5.1 Données affichées et précision

But : Vérifier la précision des informations indiquées sur l'écran LCD de l'onduleur lorsque celui-ci en dispose d'un.

Critères :

- écart mesure-indication sur Pac inférieur à 10 % de $P_{ac,nom}$ sur la tranche [0-20% $P_{ac,nom}$] et inférieur à 2% au-delà ;
- écart mesure-indication sur les tensions inférieur à 2% sur Vac et Vdc
- synchronisation affichage/valeur vraie: stabilisation en moins d'1s.

Procédures : A l'aide du simulateur PV, augmenter la puissance DC de sorte que la puissance AC varie de 0 à 100% Pacnom ; noter tous les 5% la valeur indiquée par l'onduleur et celle mesurée parallèlement.

Noter également les valeurs des tensions DC et AC.

Note : si une communication avec appareil est possible, récupérer les infos affichées.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 1 fois

Résultats : tableau de valeurs numériques :

Niveau	0%	5%	10%	15%	90%	95%	100%
Ecart sur Pac									
Ecart sur Vac									
Ecart sur Vdc									

+ Catégories :

- A : critères satisfaits
- B : écarts sur tension compris entre 2 et 5% ; écarts sur puissance compris entre 2 et 5% pour Pac > 20% de Pacnom
- C : écarts sur tension > 5% ; écarts sur puissance > 5% pour Pac > 20% de Pacnom

VII.2.5.2 Données monitorées et précision

But : Vérifier la précision des informations enregistrées par le monitoring de l'onduleur lorsque celui-ci en dispose d'un.

Critères : Ecart mesure-monitoring :

- Puissance (DC et AC): 2%
- Tension (DC et AC): 2%
- Courant (DC et AC): 2%
- Fréquence : 0,1 Hz
- Energie AC: 2%

Procédures :

- Adapter la fréquence d'échantillonnage du banc de test à celle du monitoring de l'onduleur.
- Procéder à un enregistrement sur une journée entière.
- Calculer les écarts mesure-monitoring à chaque pas
- Conduire une analyse statistique (écarts min, max, moyen, écart type) sur chaque paramètre, compter les données aberrantes ou absentes

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : aucune

Résultats : Tableau de valeurs numériques :

	Ecart min	Ecart max	Ecart moyen	Ecart type	Données absentes	Données aberrantes
puissance						
tension						
courant						
fréquence						
énergie						

+ Catégories :

- A : critères satisfaits
- B : écarts sur tension, courant, puissance et énergie compris entre 2 et 5% ; écarts sur fréquence compris entre 0,1 et 0,3 Hz
- C : écarts sur tension, courant, puissance et énergie > 5% ; écarts sur fréquence > 0,3 Hz

VII.3 Raccordement Réseau

VII.3.1 Perturbation Réseau

VII.3.1.1 Plage de tension réseau

But : Le but de ce test est de déterminer la plage de tensions alternatives à partir de laquelle l'onduleur se déconnecte du réseau lors de variations rapides et celle à partir de laquelle il se reconnecte.

Critères : La tension nominale pour les réseaux publics basse tension est de 230V (entre phase et neutre). Les seuils de tension sont définis au paragraphe VI.2.1 : $V_{min} = 80\% \times V_{nom}$ et $V_{max} = 115\% \times V_{nom}$.

Il faut différencier deux plages différentes :

- la plage (en tensions) de déconnexion (tensions haute et basse selon lesquelles l'onduleur se déconnecte du réseau)
- la plage (en tensions) de reconnexion (tensions haute et basse selon lesquelles l'onduleur se reconnecte du réseau)

Procédures : Les paramètres nominaux du réseau (230V, 50Hz) sont programmés dans le simulateur réseau. Une rampe de tension de $-0.1V/s$ est appliquée sur la sortie du simulateur réseau jusqu'à la déconnexion de l'onduleur (tension basse de déconnexion). Une rampe de tension de $+0.1V/s$ est ensuite soumise au simulateur réseau jusqu'à l'obtention de la reconnexion (faire une pause pendant 10 minutes pour laisser le temps à l'onduleur de se reconnecter effectivement), puis poursuivre jusqu'à la déconnexion de l'onduleur (tension basse de reconnexion puis tension haute de déconnexion). Une rampe de tension de $-0.1V/s$ est alors appliquée sur la sortie du simulateur réseau jusqu'à la reconnexion de l'onduleur (tension haute de reconnexion).

Les tests sont effectués pour une puissance DC (coté continu) égale à la moitié de la puissance nominale de l'onduleur, et à tension DC nominale.

Cas des onduleurs triphasés : agir de même sur une seule phase à la fois. Vérifier les trois phases.

Source :

- Texte existant : ref. /1/
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois

Résultats :

fac=50Hz	Déconnexion	Reconnexion
Tension Haute Vac (en V)		
Tension Basse Vac (en V)		

VII.3.1.2 Suivi de tension moyennée sur 10 minutes

But : Le but de ce test est de vérifier si l'onduleur se déconnecte lors d'un fonctionnement hors de la plage de tensions alternatives normales.

Critères : La tension nominale pour les réseaux publics basse tension est de 230V (soit entre phase et neutre, soit entre phases). Il est exigé par la norme NF EN 50160 que la tension efficace moyenne du réseau se situe dans la plage $[V_{nom}-15\%, V_{nom}+10\%]$ sur une tranche de 10 minutes.

Procédures : Les tests sont effectués pour une puissance DC (coté continu) égale à la moitié de la puissance nominale de l'onduleur sous la tension nominale. ($0.5 \times P_{DC,nom}$ avec $V_{DC,nom}$)

A l'aide du simulateur réseau, générer une perturbation sur la tension AC de sorte que, sur une plage d'au moins 10 minutes, la valeur efficace moyenne soit hors de la plage $[V_{nom}-15\%, V_{nom}+10\%]$.

Cas des onduleurs triphasés : agir de même sur une seule phase à la fois. Vérifier les trois phases.

Source :

- Texte existant : NF EN 50160
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois

Résultats : déconnexion de l'onduleur

VII.3.1.3 Plage de fréquence réseau

But : Le but de ce test est de déterminer la plage de fréquences à partir de laquelle l'onduleur se déconnecte du réseau et celle à partir de laquelle il se reconnecte.

Critères : La fréquence nominale de la tension fournie par le réseau doit être de 50 Hz. L'onduleur doit se déconnecter du réseau lorsque ce dernier se trouve hors de la plage définie au paragraphe VI.2.1.3, à savoir : $[47.5 \text{ Hz} - 50,2 \text{ Hz}]$

Là encore, il faut différencier deux plages différentes :

- la plage (fréquentielle) de déconnexion (fréquences haute et basse selon lesquelles l'onduleur se déconnecte du réseau)
- la plage (fréquentielle) de reconnexion (fréquences haute et basse selon lesquelles l'onduleur se reconnecte du réseau).

Note : les valeurs de déconnexion-reconnexion peuvent être identiques.

Procédures : Les paramètres nominaux du réseau (230V, 50Hz) sont programmés dans le simulateur réseau. Une rampe de fréquence de -0.1Hz/s est appliquée sur la sortie du simulateur réseau jusqu'à la déconnexion de l'onduleur (fréquence basse de déconnexion). Une rampe de fréquence de $+0.1\text{Hz/s}$ est ensuite soumise au simulateur réseau jusqu'à l'obtention de la reconnexion (fréquence basse de reconnexion), faire une pause pendant 10 minutes pour laisser le temps à l'onduleur de se reconnecter effectivement, reprendre ensuite la rampe jusqu'à la déconnexion de l'onduleur (fréquence haute de déconnexion). Une rampe de fréquence de -0.1Hz/s est ensuite appliquée sur la sortie du simulateur réseau jusqu'à la reconnexion de l'onduleur (fréquence haute de reconnexion).

Les tests sont effectués pour une puissance DC (coté continu) égale à la moitié de la puissance nominale de l'onduleur, sous la tension DC nominale.

Cas des onduleurs triphasés : agir de même sur une seule phase à la fois. Vérifier les trois phases.

Atténuation de la puissance en fonction de la fréquence réseau sur la plage [50,2 – 52 Hz] (lorsque cette option sera effective):

Appliquer une rampe de fréquence de +0.1Hz/s au simulateur réseau à partir de la valeur de référence de 50 Hz.

Noter les valeurs des fréquences f1 (début de la réduction de puissance), f2 (fréquence haute d'arrêt de l'onduleur)

Appliquer une rampe de fréquence de -0.1Hz/s au simulateur réseau (s'assurer que l'onduleur s'est reconnecté)

Noter la valeur de f3 (début augmentation de puissance)

Noter la réduction de puissance

Source :

- Texte existant : ref. /1/
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois

Résultats :

Vac=230V	Déconnexion	Reconnexion
fréquence Haute fac (en Hz)		
fréquence Basse fac (en Hz)		

Vac=230V	f1	f2	f3
fréquences (en Hz)			
Perte de puissance (en W)			

VII.3.1.4 Temps de déconnexion pour des valeurs de tension/fréquence en dehors des plages requises

But : Le but de ce test est de mesurer le temps mis par l'onduleur pour arrêter d'injecter du courant sur le réseau lorsque ce dernier se trouve hors de la plage fréquentielle et de la plage de tension (définies aux paragraphes 3.2.1.1 et 3.2.1.2).

Critères : Le temps de déconnexion de l'onduleur doit être inférieur à 200 ms.

Procédures : On mesure le temps de réponse de l'onduleur face à une sur et sous tension du réseau pour une puissance égale à P_{Nom} :

- Surtension : on applique un échelon de tension de $V_{AC,Nom}$ à $V_{AC,max} +10\%$
- Sous-tension : on applique un échelon de tension $V_{AC,Nom}$ à $V_{AC,min} -10\%$

Le temps de réponse est le temps passé entre l'échelon de tension et la déconnexion de l'onduleur.

On mesure le temps de réponse de l'onduleur face à une sur et sous fréquence du réseau pour une puissance égale à P_{Nom} :

- Sur fréquence : on applique un échelon de fréquence de f_{Nom} à $f_{AC,max} +10\%$
- Sous-fréquence : on applique un échelon de fréquence de f_{Nom} à $f_{AC,min} -10\%$.

Le temps de réponse est le temps passé entre l'échelon de fréquence et la déconnexion de l'onduleur.

Les mesures sont effectuées à l'aide d'un oscilloscope.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 5 fois, et calculer la valeur moyenne.

Résultats :

Pac,nom et f=50Hz	
Vac	Temps déconnexion (s)
Vac,min	
Vac,max	

Pac,nom et Vac,nom	
f	Temps déconnexion (s)
f _{min}	
f _{max}	

VII.3.1.5 Temps de reconnexion après perte du RPD

But : Le but de ce test est de mesurer le temps mis par l'onduleur pour se reconnecter au réseau, après s'être déconnecté suite à la perte du RPD (définis au paragraphe 3.2.3.1) lorsque le RPD se retrouve dans des conditions normales de fonctionnement.

Critères : L'onduleur ne doit pas alimenter le RPD pendant 20 secondes à 5 minutes après le rétablissement dans les limites spécifiées de la tension et de la fréquence (cf. VI.1.3).

Procédures : Les paramètres nominaux du réseau (230V et 50Hz) sont fixés à l'aide du simulateur réseau, et le simulateur PV fixe sa puissance à 50% P_{Nom} puis à P_{Nom}. On provoque une déconnexion de l'onduleur en faisant varier la tension (ou la fréquence) hors de la plage admissible (conditions hors limites du RPD). Une fois l'onduleur déconnecté, on rétablit la valeur de la tension (ou de la fréquence). Le temps passé entre le moment où ces paramètres sont rétablis et le moment où l'onduleur injecte du courant sur le réseau est le temps de reconnexion.

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 5 fois, et calculer la valeur moyenne.

Résultats :

P _{dc}	Temps de reconnexion
P _{DC,nom}	
50% de P _{DC,nom}	

VII.3.1.6 Temps de déconnexion sur perte du réseau/Détection îlotage

But : Le but de ce test est d'évaluer la performance des mesures de prévention contre l'îlotage (exploitation en réseau séparé) utilisées avec des systèmes photovoltaïques raccordés au réseau de distribution.

Critères : Un onduleur est considéré comme conforme aux exigences pour la protection contre l'îlotage lorsque chaque cas de temps de maintien de l'alimentation enregistré est inférieur à 2 secondes ou répond aux exigences des codes locaux.

Procédures : La procédure de tests implique le développement d'un circuit de résonance qui est équilibré avec la sortie du simulateur photovoltaïque. Le circuit résonnant est une charge RLC résonnante à la fréquence nominale de l'onduleur (50Hz) et adaptée à la puissance de sortie de l'onduleur. Le circuit d'essai est représenté ci-dessous :

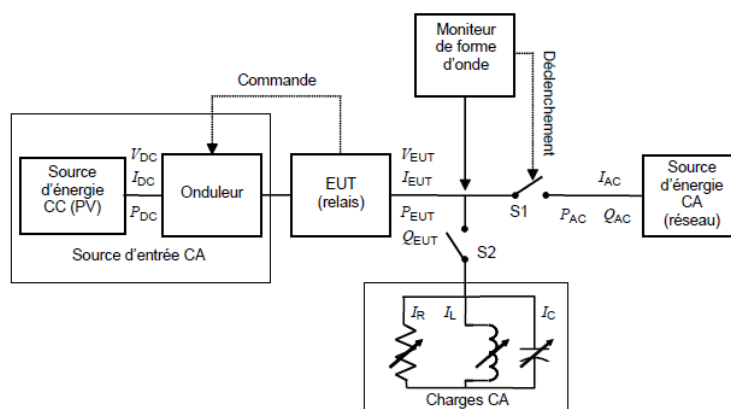


Figure 28 – Schéma du circuit de test (CEI 62 116)

Se référer à la procédure d'essai de la norme CEI 62116 (§6.1) pour le détail des opérations à suivre.

Le test est conduit à trois niveaux de puissance : 33, 66 et 100 % P_{AC,nom} de l'onduleur.

Source :

- Texte existant : CEI 62 116
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 1 fois

Résultats : Les tests réalisés et les temps de maintien de l'alimentation peuvent être centralisés dans le tableau ci-dessous.

No.	$P_{EUT}^{1)}$ (% des caractéristiques assignées de l'EUT)	Charge réactive (% de Q_L en 6.1.d)1)	$P_{AC}^{2)}$ (% de la valeur nominale)	$Q_{AC}^{3)}$ (% de la valeur nominale)	Temps de maintien de l'alimentation (ms)	P_{EUT} (W)	Q_r réelle	V_{DC}	Remarques ⁴⁾
1	100	100	0	0					Essai A à BL
2	66	66	0	0					Essai B à BL
3	33	33	0	0					Essai C à BL
4	100	100	-5	-5					Essai A à IB
5	100	100	-5	0					Essai A à IB
6	100	100	-5	+5					Essai A à IB
7	100	100	0	-5					Essai A à IB
8	100	100	0	+5					Essai A à IB
9	100	100	+5	-5					Essai A à IB
10	100	100	+5	0					Essai A à IB
11	100	100	+5	+5					Essai A à IB
12	66	66	0	-5					Essai B à IB
13	66	66	0	-4					Essai B à IB
14	66	66	0	-3					Essai B à IB
15	66	66	0	-2					Essai B à IB
16	66	66	0	-1					Essai B à IB
17	66	66	0	1					Essai B à IB
18	66	66	0	2					Essai B à IB
19	66	66	0	3					Essai B à IB
20	66	66	0	4					Essai B à IB
21	66	66	0	5					Essai B à IB
22	33	33	0	-5					Essai C à IB
23	33	33	0	-4					Essai C à IB
24	33	33	0	-3					Essai C à IB
25	33	33	0	-2					Essai C à IB
26	33	33	0	-1					Essai C à IB
27	33	33	0	1					Essai C à IB
28	33	33	0	2					Essai C à IB
29	33	33	0	3					Essai C à IB
30	33	33	0	4					Essai C à IB
31	33	33	0	5					Essai C à IB

1) P_{EUT} : Puissance de sortie de l'EUT.
 2) P_{AC} : Circulation de puissance active au niveau de S1 à la Figure 1. Puissance de l'EUT au réseau public par des moyens efficaces. La valeur nominale est la valeur de la condition d'essai de 0 %.
 3) Q_{AC} : Circulation de puissance réactive au niveau de S1 à la Figure 1. Puissance de l'EUT au réseau public par des moyens efficaces. La valeur nominale est la valeur de la condition d'essai de 0 %.
 4) BL: Condition d'équilibre. IB: Condition de déséquilibre.

Figure 29 – extrait de la norme CEI 62 116

VII.3.1.7 Amplitude bosse de tension suite coupure réseau

But : Lors de la perte du RPD, on observe juste avant la déconnexion totale de l'onduleur une hausse de la tension réseau qui est fonction du rapport entre la production photovoltaïque et la charge présente sur le réseau. L'objectif est de quantifier cette hausse.

Critères : $V_{max_crête} < 150 \% V_{nom_crête}$ (en 200 ms)

Procédures : Les essais sont réalisés à 3 niveaux de puissances : 100% $P_{AC,nom}$, 30% $P_{AC,nom}$, et 10% $P_{AC,nom}$ avec une charge nulle en sortie onduleur.

On coupe brusquement la partie AC de l'onduleur et on enregistre l'évolution de la tension AC à l'aide de l'oscilloscope.

Source :

Texte existant :

- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois

Résultats :

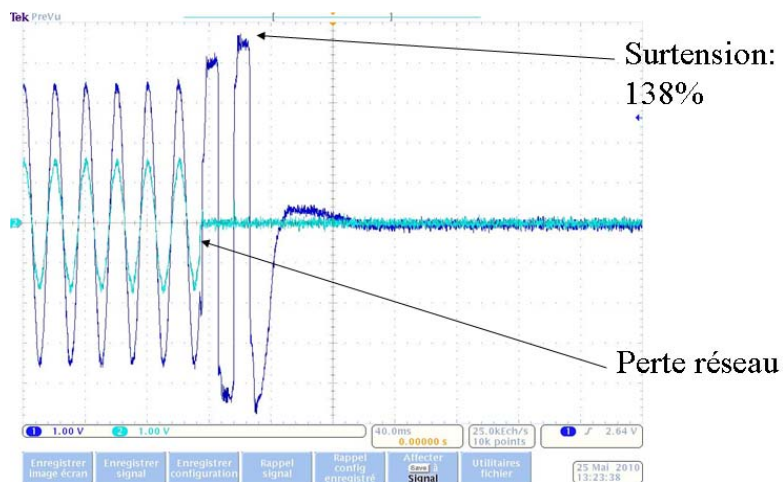


Figure 30 – exemple de surtension observée

On enregistrera les données suivantes et remplira le tableau suivant pour les 3 types de charge :

Puissance	Vmax_crête (V)	Durée de la surtension	Temps déconnexion onduleur
100 % P _{nom}			
30 % P _{nom}			
10 % P _{nom}			

VII.3.2 Qualité du signal de tension

VII.3.2.1 Facteur de puissance

But : Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active et la puissance apparente :

$$PF = P/S$$

Il est égal au cosinus du déphasage entre le courant et la tension lorsque le signal est sinusoïdal.

$$\lambda = \cos(\varphi) \text{ et } P = U \times I \times \cos(\varphi)$$

L'essai propose de calculer la valeur du facteur de puissance à différents niveaux de puissance et de tension.

Critères : FP > 0.9 dès que P > 50% P_{nom}

Procédures : Relever, à 3 niveaux de tension V_{DC,min}, V_{DC,nom} et V_{DC,max}, le facteur de puissance en fonction de la puissance délivrée (0, 20, 25, 50, 75 et 100 % P_{nom,AC}).

Source :

- Texte existant : CEI 61727
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois chaque mesure.

Résultats : On tracera la caractéristiques $FP=f_v(P)$ pour les 3 niveaux de tension.

	<u>0 %</u>	<u>20%</u>	<u>25%</u>	<u>50%</u>	<u>75%</u>	<u>100%</u>
$V_{DC,min}$						
$V_{DC,nom}$						
$V_{DC,max}$						

VII.3.2.2 Harmoniques de courant

But : Les courants (ou tensions) harmoniques sont des courants (ou tensions) « parasites ». Ils déforment l'onde de courant (ou de tension) et provoquent : l'augmentation de la valeur efficace du courant, la circulation d'un courant dans le neutre pouvant être supérieur au courant de phase, la saturation des transformateurs et des perturbations dans les réseaux à courants faibles ...

Les courants harmoniques sont dus au fonctionnement des convertisseurs

L'essai doit permettre de quantifier les composantes paires et impaires jusqu'à un rang élevé, et ce à trois niveaux de puissance.

Critères : Chaque harmonique individuelle doit être limitée aux pourcentages donnés par la norme IEC 61727 (cf. VI.2.2.2).

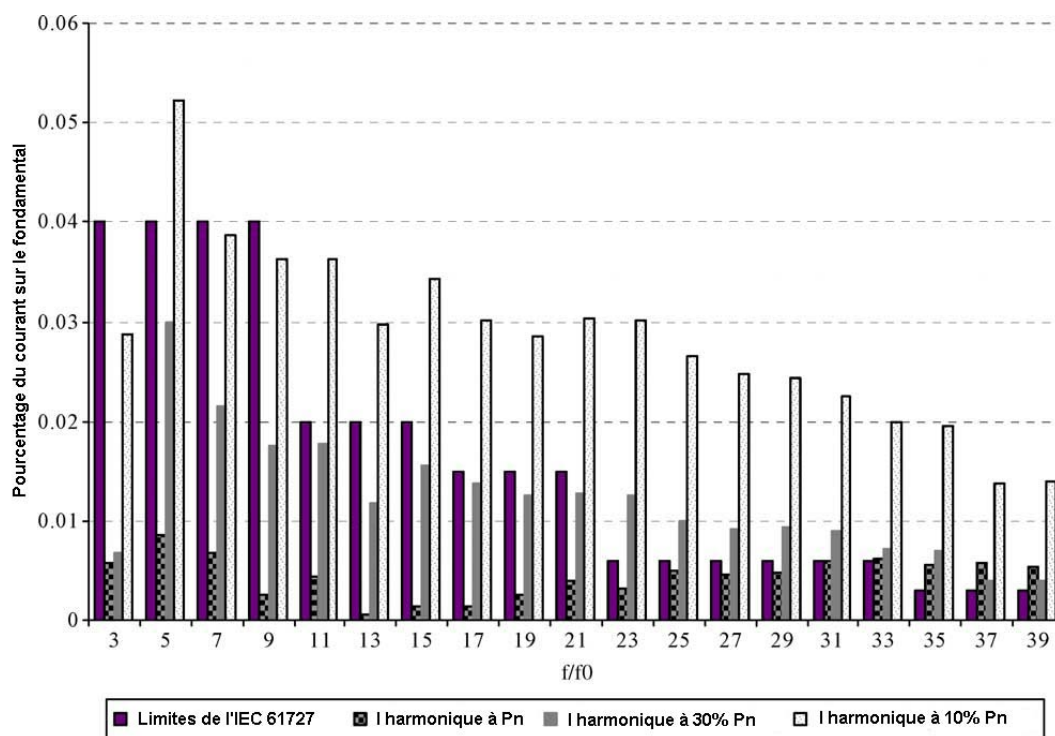
Procédures : Les paramètres nominaux du réseau (230V, 50Hz) sont établis à l'aide du simulateur réseau. L'analyseur de puissance effectue directement les mesures de la distorsion en courant pour chaque harmonique. Le simulateur PV est fixé à la tension nominale (V_{nom}) de l'onduleur. On effectue les mesures des harmoniques de courant pour 3 niveaux de puissance : $P_{DC,nom}$, 30% $P_{DC,nom}$, 10% $P_{DC,nom}$ (puissance délivrée par le simulateur photovoltaïque). On effectue la mesure des harmoniques de courant pendant une période de 10 secondes, afin de s'affranchir de la recherche du MPP, pour les 3 niveaux de puissances.

Source :

- Texte existant : IEC 61727
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 3 fois

Résultats : On obtient ainsi un tableau de valeurs des pourcentages de distorsion de chaque harmonique à différents niveaux de puissance. Elles sont représentées sous formes graphiques (cf. courbe ci-dessous).



VII.3.2.3 THD courant

But : Le taux de distorsion, encore appelé distorsion harmonique totale est défini comme le rapport de la valeur efficace globale des harmoniques (c'est-à-dire leur somme quadratique) à la valeur efficace de la composante fondamentale. Il peut s'appliquer soit au courant soit à la tension.

$$THD = \frac{\sqrt{H_2^2 + H_3^2 + \dots}}{F_1}$$

Cette grandeur permet d'évaluer à l'aide d'un nombre unique la perturbation d'un courant ou d'une tension en un point d'un réseau.

Critères : La norme IEC 61727 (2004) stipule que la distorsion harmonique totale en courant doit être inférieure à 5% de la valeur assignée de sortie de l'onduleur. Dans la pratique, cela est vérifié surtout à partir d'un certain niveau de puissance ; il est pris égal à 50% de $P_{nom,ac}$ ici.

Procédures : Les paramètres nominaux du réseau (230V, 50Hz) sont définis à l'aide du simulateur réseau. L'analyseur de puissance effectue directement le calcul du THD.

Source :

- Texte existant : IEC 61727 (pour la limite sur THD)
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit (pour le seuil de puissance)

Répétition : 3 fois

Résultats : On obtient ainsi un THD pour les différents niveaux de puissance (5% P_N , 10% P_N , 15% P_N , ... jusqu'à 110% P_N) et à tension nominale.

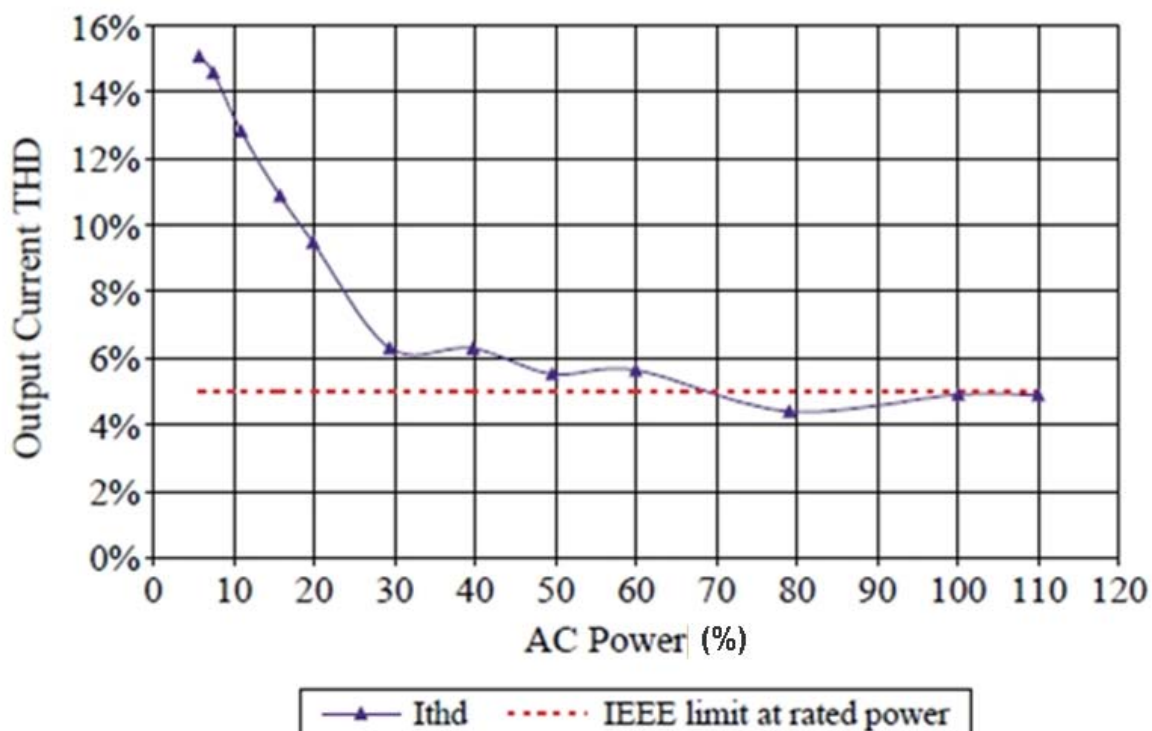


Figure 31 - Exemple de graphe donnant la THD en fonction de la puissance relative de l'onduleur

Noter le seuil de puissance à partir duquel THD < 5%.

VII.3.2.4 Injection d'un courant DC sur le réseau

But : Lorsque l'onduleur est connecté au réseau, il injecte non seulement du courant en phase avec la tension, mais on observe également une composante continue du courant. Le but de ce test est de quantifier l'intensité relative de cette composante.

Critères : Le système photovoltaïque ne doit pas injecter de courant continu d'une valeur supérieure à 0.5 % de celle du courant de sortie assigné de l'onduleur (cf. VI.2.2.4). Un dépassement du seuil doit conduire de plus à une déconnexion en moins de 200 ms.

Procédures : Une mesure du courant moyen injecté sur le réseau sera réalisée ($I_{AC,mean}$) avec l'analyseur de puissance.

La valeur du courant DC injecté est déterminée à différents niveaux de puissance (de 5% de $P_{DC,Nom}$ à 110% de $P_{DC,Nom}$) et à 3 niveaux de tension $V_{mpp,min}$, $V_{mpp,nom}$ et $V_{mpp,max}$.

Répétition : 3 fois

Résultats : on reporte le courant injecté en fonction de la puissance sur un graphe tel que le suivant :

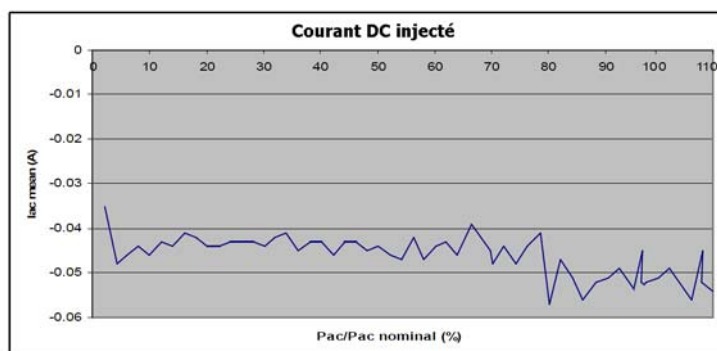


Figure 32 – exemple de graphe présentant le courant continu injecté

Et on détermine le courant relatif injecté.

VII.3.3 Sécurité

VII.3.3.1 Tension résiduelle (coté AC) suite coupure réseau

But : Le but de ce test est de mesurer la tension résiduelle, continue ou alternative, pouvant être présente aux bornes de sortie de l'onduleur (coté AC) après perte du réseau amont (on s'intéresse à une tension permanente résiduelle et non à la tension transitoire liée à la décharge des filtres EMC).

Critères : Par mesure de sécurité, il ne faut avoir aucune présence de tension résiduelle lorsque l'onduleur est déconnecté du réseau de production.

Procédures : La mesure s'effectue au moins 5 minutes après déconnexion du réseau afin de s'assurer de la décharge des filtres EMC.

Répétition : 3 fois.

Résultats : valeur de la tension résiduelle.

VII.3.3.2 Courant de fuite (coté DC)

But : Dans un onduleur non isolé, la connexion du réseau d'alimentation à la terre (c'est-à-dire neutre relié à la terre) fournit un chemin de retour pour le courant de fuite (risque en cas de contact fortuit d'une personne simultanément avec des parties sous tension du générateur et la terre).

La réglementation (cf. norme CEI 62109-2, guide C15-712) exige une protection par détection de courant résiduel (dispositif différentiel) ou RCD. L'objectif du test est d'évaluer l'intensité du courant de fuite.

Critères : Intensité inférieure à 30 mA.

Procédures :

- Utiliser le simulateur PV
- Déterminer résistance et capacité entre le simulateur et la terre,
- Mettre entre le simulateur et la terre une résistance et une capacité représentative d'un champ PV réel qui alimenterait l'onduleur testé (valeurs pour conditions humides à préciser pendant les essais),
- Mesurer le courant de fuite

Répétition : aucune.

Résultats : valeur du courant de fuite.

VII.3.3.3 Formes du signal de tension (coté DC)

But : Caractérisation des tensions sur les polarités DC par rapport à la terre

Critères : aucun

Procédures : Relever la forme et l'amplitude du signal sur chaque polarité DC à Pnom (composantes continue et alternative), sans transformateur d'isolement dans le circuit d'essai.

Répétition : aucune

Résultats : Graphes $V^+_{dc}=f(t)$ et $V^-_{dc}=f(t)$

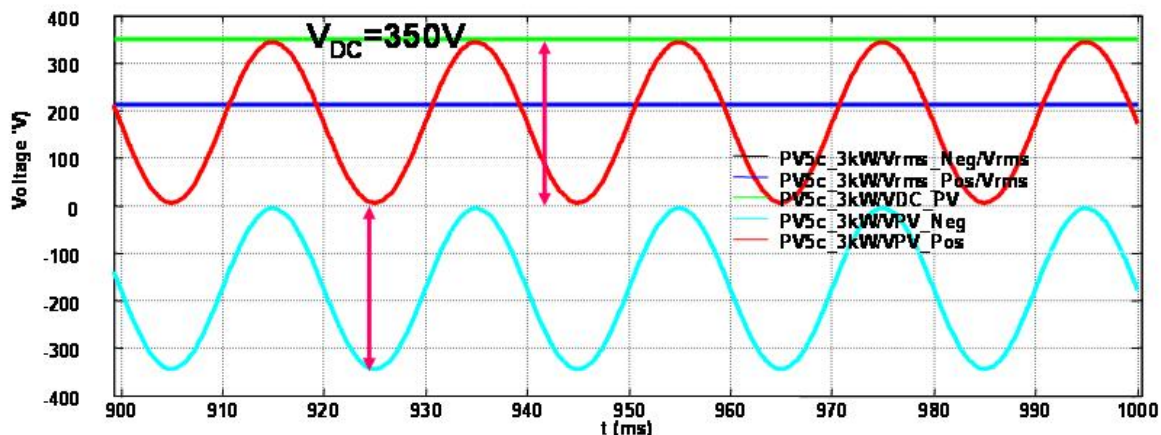


Figure 33 – Exemple de graphe $V_{dc}=f(t)$ (source IDEA)

VII.3.3.4 Défaut d'isolement

But : Les onduleurs utilisés avec des générateurs non mis à la terre doivent comporter un moyen pour mesurer la résistance d'isolement en courant continu entre l'entrée photovoltaïque (générateur) et la terre avant de commencer à fonctionner (cf. CEI 62109-2) Le test doit vérifier la détection du défaut d'isolement et la déconnexion de l'onduleur.

Critères : Si la résistance d'isolement est inférieure à $R = (V_{MAX_PV}/30 \text{ mA})$ ohms, l'onduleur doit indiquer un défaut.

Procédures : La norme CEI 62109-2 décrit la procédure à suivre (étape 1) ; l'étape 2 est adaptée pour générer un défaut pendant le fonctionnement de l'onduleur:

- Etape1 :
 - Raccorder l'onduleur à la source photovoltaïque et à celle de courant alternatif,
 - Régler la tension PV en dessous de la tension de fonctionnement minimale requise permettant à l'onduleur de se connecter,
 - Relier une résistance de 10 % inférieure à la limite ci-dessus entre la terre et chaque borne d'entrée PV de l'onduleur successivement,

- Porter la tension d'entrée PV à une valeur suffisamment élevée pour permettre à l'onduleur de commencer à injecter,
- Noter le temps mis par l'onduleur pour se déconnecter.
- Etape2 :
 - Raccorder l'onduleur à la source photovoltaïque et à celle de courant alternatif,
 - Porter la tension d'entrée PV à une valeur suffisamment élevée pour permettre à l'onduleur de commencer à injecter,
 - Relier une résistance de 10 % inférieure à la limite ci-dessus entre la terre et chaque borne d'entrée PV de l'onduleur successivement,
 - Noter le temps mis par l'onduleur pour se déconnecter.

Répétition : Faire 5 essais pour chaque étape.

Résultats : L'onduleur doit indiquer un défaut pour chaque étape. Retenir le temps le plus long pour se déconnecter.

VII.3.4 Nouvelles fonctionnalités

VII.3.4.1 Puissance réactive

But :

- T1 : Contrôler le niveau de puissance réactive lors du fonctionnement de l'onduleur.
- T2 : Et/ou (si la législation le permet), vérifier le fonctionnement de la commande du $\cos(\phi)$

Critères :

- T1 : Vérifier la non absorption de puissance réactive (dans le cadre législatif actuel),
- T2 : Ou, dans le cas d'une évolution éventuelle de la réglementation française n'interdisant plus cette absorption, vérifier la non limitation de l'absorption/production de réactif dans les plages spécifiées, et l'adéquation commande-résultat.

Procédures :

- T1 :
 - Faire l'analyse sur une journée complète (nuit et jour), en faisant varier la puissance produite entre min et max et mesurer la puissance réactive.
 - Programmer le simulateur PV pour avoir des niveaux d'éclairiments variés (faibles, forts et « perturbés » (pour reproduire le passage rapide de nuages),
- T2 :
 - Faire varier la commande en puissance réactive si cela est possible et permis : fixer la tension réseau (régulateur de tension réseau) et faire varier le réactif du min au max possible.
 - Relever en continu la mesure de la puissance réactive (et la tension AC s'il y a commande de la puissance réactive) et tracer le diagramme U-Q à différentes puissances (max, moyen et min).

Répétition : aucune.

Résultats :

- T1 : Puissance et énergie réactives absorbées lors du fonctionnement de l'onduleur sur la journée type,
- Ou (T2):

Commande de cos phi				
Puissance réactive mesurée				
Tension AC mesurée				

➤ Ou diagramme U-Q

VII.4 Autres tests

Certains tests requièrent un matériel sophistiqué et coûteux, et sont donc considérés ici comme optionnels même ils revêtent un caractère important.

VII.4.1 Aspects thermiques

VII.4.1.1 Caractéristiques à températures extrêmes

But : Quantifier les effets de la température sur les rendements, sur les valeurs de Pmax et Imax

Critères : aucun

Procédures : Mesures en chambre climatique pour les températures autres que 25 °C. Les mesures sont faites à 3 niveaux de température (Tmin, 0°C, 25°C et Tmax)¹

- P_{AC,max} : augmenter progressivement la puissance AC jusqu'à arrêt de l'onduleur ou réduction automatique ; enregistrer également I_{AC,max}
- Rendement(s) : calcul du rendement européen (cf. VII.2.2.3) à Vnom

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants ➔ choix Esprit
- Absence de textes ➔ proposition Esprit

Répétition : 1 fois

Résultats :

	P _{AC,max}	I _{AC,max}	Rendement européen
Tmin			
0 °C			
Tmax			

VII.4.1.2 Comportement à température élevée

But : Définir quel est le comportement de l'onduleur lorsque la température croît: arrêt ou réduction de la puissance.

Critères : aucun

¹ Les mesures à 25 °C sont celles réalisées dans les essais précédents. Les valeurs Tmin et Tmax sont celles indiquées par le fabricant de l'onduleur.

Procédures :

- Installer l'onduleur dans une chambre climatique,
- Faire fonctionner l'appareil à 110 % de $P_{nom, 25^{\circ}C}$,
- Faire croître la température par pas de $5^{\circ}C$ stabiliser pendant 30 minutes
- Noter la puissance en sortie onduleur

Source :

- Texte existant :
- Discordance entre les textes existants → choix Esprit
- Absence de textes → proposition Esprit

Répétition : 1 fois

Résultats : courbe $P_{max}=f(T^{\circ})$

VII.4.2 Fonction future : adaptation de puissance active

But : Vérifier/quantifier la limitation de la puissance active en fonction de la tension AC

Critères : non déconnexion sur l'intervalle $[V_{seuil} - V_{max}]$ avec décroissance P_{active} si $V > V_{seuil}$

Procédures :

- Faire fonctionner l'onduleur à puissance nominale, puis 50 % de P_{nom}
- Augmenter le niveau de tension AC au rythme de $+0,1 V/s$

Répétition : 2 fois

Résultats :

- Valeur de la tension V_{seuil} à partir de laquelle la puissance est réduite
- Diagrammes (P, V_{ac})

VIII. Bancs d'essais

Equipement requis pour les essais

- Simulateur réseau (ou simulateur temps réel + amplificateur de puissance)
- Simulateur PV (ou simulateur temps réel + source DC contrôlable)
- Analyseur de puissance, oscilloscope
- Autres :
 - Chambre climatique
 - Charges RLC

Les appareils doivent avoir des caractéristiques adaptées au matériel à tester (gamme de puissance, plage de variable des courants et tensions, ...).

IX. Références

- [1] S. Islam, A. Woyte, R. Belmans, PJM Heshes, PM Rooj, « Investigating performance, reliability and safety parameters of PV module inverter : test results and compliances with the standards », Renewable Energy 31 (2206) 1157-1181
- [2] UL1741, « standard for static inverters and charge controllers for use in PV systems”, draft
- [3] P. Strauss, « International White Book On The Grid Integration Of Static Converters”, DERLAB project, 2009
- [4] Arrêté du 23.04.2008 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique