

## Fiabilité des micro-onduleurs Enphase

The overriding philosophy at Enphase Energy is that quality and reliability cannot be tested into any product – they must be part of every aspect of the business.

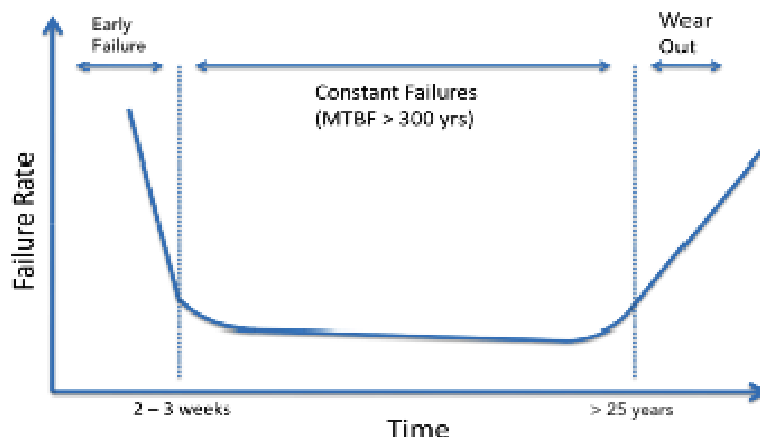
Paul Nahi, CEO

### Récapitulatif

L'actuelle génération des micro-onduleurs Enphase a un temps moyen entre défaillances (Mean Time Between Failures - MTBF) de plus de 300 ans. Le concept de MTBF est souvent confondu avec la durée de vie utile espérée des composants. Ce document décrit le MTBF relatif à la durée de vie utile du produit, aux défaillances précoces et à l'usure normale ainsi que les normes et techniques utilisées dans l'estimation de ces défaillances.

### Introduction

Tous les produits déployés en grand nombre présentent une courbe du taux de défaillance caractéristique, tout au long de leur durée de vie utile, similaire à celle représentée ci-dessous. Cette courbe est dite « en baignoire » à cause de sa forme caractéristique. La courbe peut être divisée en trois segments différents en fonction du type de défaillance : défaillance précoce, défaillance constante ou usure normale. Le micro-onduleur Enphase présente également cette courbe de défaillance caractéristique.



## Défaillances précoces

Cette zone de la courbe représente la qualité du procédé de fabrication. Ces défaillances se manifestent généralement très peu de temps après l'installation. La durée de la période dans laquelle ces défaillances précoces peuvent survenir est déterminée en analysant les données d'exploitation. En ce qui concerne le micro-onduleur Enphase, nous avons constaté que lorsqu'une défaillance précoce survient, elle se manifeste généralement dans les deux ou trois semaines suivant l'installation.

Afin de garantir un risque de défaillance précoce minimum, chaque micro-onduleur Enphase est soumis à des essais intensifs durant sa fabrication, qui comprennent des inspections visuelles optiques, des essais fonctionnels et des essais système. Au lieu d'utiliser des équipements classiques pour ces essais, Enphase a développé des stations d'essais sur mesure afin de soumettre chaque micro-onduleur à des normes d'essai de fabrication rigoureuses.

Enphase analyse chaque défaillance d'exploitation et applique rapidement une mesure corrective aux procédures qualité de fabrication déjà rigoureusement contrôlées. Les défaillances précoces sont ainsi de mieux en mieux évitées.



## Usure normale :

C'est le mécanisme d'usure normale qui détermine la durée de vie utile de tout produit. L'usure normale induit un taux de défaillance en augmentation à la fin de la durée de vie utile du produit. La durée de vie du produit est donc déterminée par le niveau de défaillances d'exploitation inadmissible pour l'utilisateur et pour l'exploitant.

## Estimation de l'usure normale

Le micro-onduleur Enphase a été conçu pour avoir une durée de vie utile de plus de 20 ans. Le segment Usure normale de la courbe représente la longévité de la conception et des composants choisis pour le produit, dans l'environnement d'exploitation désigné. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer le début de l'usure normale sur un produit. La méthode la plus évidente est d'observer les défaillances sur les produits similaires de la précédente génération, sur la même période, et d'utiliser les données sur ces défaillances pour établir un modèle des mécanismes de défaillance des nouveaux produits.

Cependant, pour ces tout nouveaux produits conçus pour avoir une durée de vie utile très longue, comme un micro-onduleur Enphase dont la durée de vie utile est de plus de 20 ans, cette méthode s'avère peu pratique. La seconde méthode consiste à soumettre le nouveau produit à une étude théorique en évaluant l'usure normale de chaque composant en se fondant sur les données transmises par les fournisseurs de ces composants. La troisième méthode, la plus pratique, est de soumettre le nouveau produit à un test de vie accéléré, simulant la vie utile entière du produit dans une période de temps très courte.

Enphase utilise la méthode du Test de vie accélérée (TVA) pour estimer l'usure normale. Une des techniques utilisées est de soumettre les micro-onduleurs Enphase à un ensemble d'essais extrêmement difficiles, comme indiqué dans la norme d'essais IEC61215. Il s'agit de la même norme d'essai utilisée par les fournisseurs de modules photovoltaïques pour déterminer la période d'usure normale des modules. Trois essais principaux sont effectués sur une période de 110 jours comme indiqué ci-dessous.

Durant les trois essais, les micro-onduleurs fonctionnent sur puissance nominale. Tous les essais sont effectués sur la même unité et de façon séquentielle. Une restriction cependant : ces essais TVA ne simulent pas les effets des rayons UV sur le périphérique. Selon Enphase, les effets des UV sur le micro-onduleur ne sont pas significatifs, car le produit est installé sous le module et les câbles utilisés sont résistants aux UV. Tous les nouveaux produits Enphase sont soumis à ces essais IEC61215 pour estimer l'usure normale.

### Premier essai

Le premier essai se déroule sur une période de 10 jours au cours de laquelle le produit est manœuvré dans une échelle de température allant de - 45 °C (- 49 °F) à + 85 °C (185 °F) à 85 % d'humidité relative. Durant la partie à basse température du cycle, le produit est soumis à un gel complet.

### Deuxième essai

Le deuxième essai se déroule sur une période de 50 jours au cours desquels le produit est manœuvré dans une échelle de température allant de - 45 °C (- 49°F) à + 85°C (185°F).

### Troisième essai

Le troisième essai se déroule également sur une période de 50 jours au cours desquels le produit est soumis à une température constante de 85 °C (185 °F).

## Temps moyen entre défaillances (MTBF)

Le MTBF ne constitue pas une indication de la durée de vie réelle du produit, mais plutôt une indication de la probabilité statistique qu'une unité connaisse une défaillance dans des conditions d'exploitation et un environnement spécifique, sur une période définie par le MTBF.

Le MTBF est, quant à lui, lié au taux de défaillance de la partie Défaillance constante de la courbe en baignoire, située entre le segment Défaillances précoces et le segment Usure normale. Cette partie de la courbe représente la fiabilité de la conception dans l'environnement d'exploitation choisi. L'évaluation du MTBF des micro-onduleurs Enphase a été effectuée de façon théorique conformément aux instructions de la norme Telcordia SR332 . Il s'agit de la norme appliquée pour déterminer le MTBF des équipements de télécommunication déployés à l'extérieur et similaires à ceux sur lesquels sont installés les onduleurs Enphase.

Le MTBF de plus de 300 ans du micro-onduleur Enphase peut, par exemple, être utilisé pour effectuer des comparaisons avec les MTBF d'autres périphériques et équipements solaires courants.

Périphérique	MTBF
Onduleur classique	10-15 ans
Lecteur de disque d'un ordinateur PC	57 ans
Micro-onduleur Enphase	>300 ans
Module/panneau photovoltaïque	>600 ans
mémoire à semi-conducteurs (utilisée dans les ordinateurs)	800 - 1 000 ans

La société Relax, une entreprise d'ingénierie de fiabilité ayant pignon sur rue qui réalise des essais pour des entreprises telles que Boeing et l'armée des États-Unis, a évalué le MTBF d'un micro-onduleur Enphase à plus de 300 ans.

Comme on peut l'observer sur la courbe en baignoire, le fait qu'une unité déployée survive à une défaillance précoce ne garantit pas que toutes les unités exploitées fonctionnent jusqu'au début de l'usure normale. On peut en effet voir sur la courbe qu'un faible taux de défaillance existe jusqu'au début de l'usure normale. Il s'agit du taux statistique de défaillance aléatoire. Les MTBF élevés indiquent un faible nombre de défaillances potentielles dues à des événements aléatoires. Enphase Energy a pu minimiser ces risques de défaillance aléatoire en améliorant la conception des emballages et la gestion thermique et en intégrant dans la fabrication du micro-onduleur une technologie semi-conductrice essentielle.

Le concept du MTBF (temps moyen entre défaillances) est souvent confondu avec celui de la durée de vie utile espérée du composant. En réalité, ce sont deux notions différentes. Par exemple, une batterie peut avoir une durée de vie utile de quatre heures et avoir un MTBF de 100 000 heures. Ces chiffres signifient que, pour 100 000 batteries, il subviendra environ une défaillance de batterie chaque heure, durant les quatre heures de durée de vie.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Notions fondamentales sur la disponibilité élevée – Sun Microsystems, Inc.

## Disponibilité du système

L'un des principaux avantages du système de micro-onduleurs Enphase est qu'il élimine le point unique de défaillance dû au déploiement d'un onduleur classique. Tous les modules photovoltaïques et les micro-onduleurs qui y sont associés étant connectés parallèlement et chaque paire produisant de l'énergie de façon indépendante, une défaillance sur un seul module ou micro-onduleur n'affecte pas la performance des autres modules. Bien qu'il y ait davantage d'onduleurs dans une installation donnée, en comparaison avec un onduleur classique unique, le MTBF élevé de chacun des micro-onduleurs, associé à une connexion parallèle, garantit un très haut niveau de disponibilité du système. En ce qui concerne les grands systèmes commerciaux, il a été prouvé grâce à des simulations que la disponibilité du système peut être supérieure à 99,8 pour cent, contre 95 à 97 pour cent pour un onduleur classique.

## Pourquoi les micro-onduleurs Enphase ont un MTBF si élevé ?

L'architecture distribuée du système de micro-onduleurs Enphase constitue une base pour différents modèles de conception permettant une haute fiabilité.

<b>Composants</b>	<p>Contrairement aux onduleurs classiques, qui traitent de nombreux kilowatts d'énergie avec une tension DC d'entrée très élevée, les micro-onduleurs Enphase traitent de petites quantités d'énergie avec une tension DC d'entrée basse, réduisant ainsi l'impact sur les composants. De plus, le traitement de petites quantités d'énergie permet un haut degré d'intégration des semi-conducteurs, réduisant ainsi radicalement le nombre de composants. Les composants semi-conducteurs sont extrêmement fiables.</p>
<b>Empreinte thermique</b>	<p>Les micro-onduleurs ne traitant qu'une petite partie de l'énergie de l'ensemble du réseau photovoltaïque, l'augmentation de la température interne de chaque micro-onduleur est faible, elle se situe entre 5 °C et 15 °C. Cette réduction du cyclage thermique ainsi que l'utilisation d'un système de refroidissement passif en remplacement du ventilateur réduisent de façon significative l'impact sur les composants.</p>
<b>Évaluation du coffret</b>	<p>En Amérique du Nord, le micro-onduleur Enphase atteint la norme NEMA 6. L'essai d'évaluation de la norme NEMA 6 consiste à plonger l'unité dans un mètre d'eau. Elle doit alors fonctionner dans ces conditions durant 24 heures. Les onduleurs classiques atteignent généralement la norme NEMA 3R, qui tolère l'infiltration de poussière, d'air extérieur, d'eau et éventuellement d'insectes (les transformateurs sur socle atteignent la norme NEMA3R) Une évaluation NEMA6 garantit que le périphérique est hermétiquement protégé contre toute infiltration d'éléments extérieurs.</p> <p>En Europe, la norme NEMA 6 équivaut à l'IP67 et la NEMA3R à l'IP14.</p>
<b>Encapsulation</b>	<p>Les micro-onduleurs Enphase sont encapsulés. Cela signifie que la chambre intérieure du coffret est remplie avec un composant encapsulant. Cela permet d'allonger la durée de vie du périphérique grâce à une dissipation de chaleur plus efficace et une meilleure protection du composant.</p>

La différence entre les prédictions théoriques et les taux de défaillance d'exploitation constitue une métrique importante à vérifier. Un des avantages du système Enphase est que chaque micro-onduleur peut transmettre ses données de performance aux serveurs Enphase. Enphase contrôle constamment cette

performance et l'utilise pour corroborer les taux de défaillance d'exploitation avec les prédictions théoriques.

## **Conclusion**

Compte tenu de l'impact négatif des antécédents de taux élevés de défaillances des onduleurs sur les installateurs et les clients de l'industrie solaire, Enphase savait que, pour avoir du succès, la nouvelle technologie de micro-onduleur devait être plus fiable que jamais. Enphase a choisit le MTBF comme l'une des principales mesures d'estimation de la fiabilité. La société a également choisi d'utiliser des méthodologies d'essais conduits dans l'industrie des télécommunications (soumise aux normes de disponibilité les plus exigeantes au monde) et de faire d'importants investissements pour le développement d'équipements pour des essais spécialisés, afin de maintenir ces normes extrêmement rigoureuses.

Grâce à l'attention particulière qui a été portée à la fiabilité, l'ordre de grandeur du MTBF de la technologie d'onduleurs a été amélioré par rapport à celui des technologies d'onduleurs précédentes. Cette amélioration a été rendue possible grâce à l'intégration d'une technologie des semi-conducteurs, au contrôle de l'exposition des composants à l'environnement et à la gestion rigoureuse des éléments thermiques. Enphase porte, comme toujours, toute son attention sur les exigences de fiabilité pour chaque nouvelle génération d'onduleurs, avec l'objectif d'atteindre un MTBF de 600 ans, comparable aux modules photovoltaïques.