

# ***Fiabilité des micro-onduleurs Enphase***

## Contenu

<b>Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>Courbe de défaillance</b> .....	<b>3</b>
<b>Échecs de la mortalité infantile</b> .....	<b>3</b>
<b>Usure</b> .....	<b>4</b>
<b>Estimation de l'usure</b> .....	<b>4</b>
<b>Premier test</b> .....	<b>5</b>
<b>Deuxième test</b> .....	<b>5</b>
<b>Temps moyen entre les défaillances (MTBF)</b> .....	<b>5</b>
<b>Disponibilité du système</b> .....	<b>6</b>
<b>Les micro-onduleurs Enphase ont un MTBF élevé</b> .....	<b>6</b>
<b>Composants</b> .....	<b>6</b>
<b>Empreinte thermique</b> .....	<b>7</b>
<b>Indice de protection</b> .....	<b>7</b>
<b>Encapsulage</b> .....	<b>7</b>
<b>Conclusion</b> .....	<b>7</b>
<b>Historique des révisions</b> .....	<b>8</b>

## Introduction

La génération actuelle de micro-onduleurs Enphase a un temps moyen entre les défaillances (MTBF) de plus de 600 ans pour la plateforme IQ. Le concept de MTBF est souvent confondu avec la durée de vie utile prévue d'un composant. Ce document décrit le MTBF en relation avec la durée de vie du produit, les défaillances de mortalité infantile, l'usure et les normes et techniques utilisées pour estimer ces défaillances.

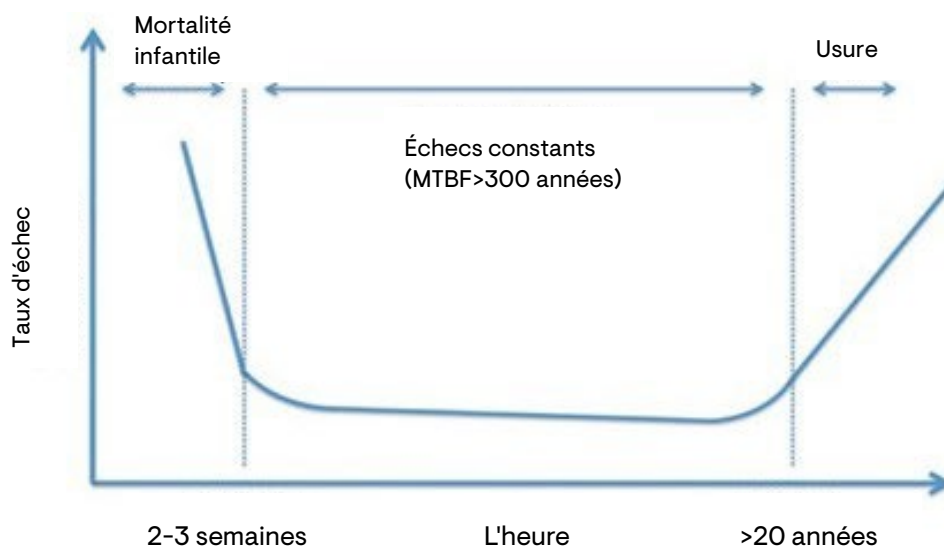
## Courbe de défaillance

Lorsqu'il est déployé en grand nombre, chaque produit présente une courbe caractéristique de taux de défaillance au cours de sa durée de vie, semblable à celle illustrée dans le graphique suivant. Cette courbe est connue sous le nom de "courbe en baignoire" en raison de sa forme caractéristique.

La courbe peut être divisée en trois segments différents en fonction des types de défaillances :

- Échecs précoces (connus dans l'industrie sous le nom d'échecs dus à la mortalité infantile)
- Échecs constants
- Usure

Le micro-onduleur Enphase présente également cette courbe de défaillance typique.



## Échecs de la mortalité infantile

Cette zone de la courbe représente la qualité du processus de fabrication, et ces défaillances se manifestent généralement très peu de temps après l'installation. La durée de cette période de mortalité infantile est déterminée par l'analyse des données de terrain. Dans le cas du micro-onduleur Enphase, la mortalité infantile se produit généralement dans les deux à trois semaines suivant l'installation.

Afin de minimiser la mortalité infantile, chaque micro-onduleur Enphase est soumis à des tests approfondis au cours de sa fabrication, notamment des inspections optiques visuelles, des tests en circuit, des tests fonctionnels et des tests de système. Enphase a développé des stations de test personnalisées pour soumettre chaque micro-onduleur à une norme de test de fabrication rigoureuse.

Enphase analyse chaque défaillance sur le terrain et applique des mesures correctives rapides à un processus de qualité de fabrication déjà strictement contrôlé. De cette manière, la mortalité infantile s'améliore continuellement.



FT-D (configuration manuelle)



FT-D (configuration manuelle)



GT-C et grille-pain

## Usure

Le mécanisme d'usure détermine la durée de vie utile de tout produit. L'usure entraîne un taux de défaillance croissant à la fin de la durée de vie utile d'un produit. Par conséquent, la durée de vie du produit est déterminée par le niveau des défaillances sur le terrain qui deviennent inacceptables pour l'utilisateur et l'opérateur du produit.

## Estimation de l'usure

Le micro-onduleur Enphase est conçu pour une durée de vie de plus de 25 ans. Le segment d'usure de la courbe représente la longévité de la construction et des choix de composants du produit pour l'environnement d'exploitation prévu. Il existe plusieurs méthodes pour déterminer le début de l'usure d'un produit.

- La méthode la plus courante consiste à observer les défaillances des générations précédentes de produits similaires sur la durée considérée et à utiliser ces données pour modéliser les mécanismes de défaillance du nouveau produit.

Cela n'est pas possible pour les produits entièrement nouveaux ayant une longue durée de vie, comme le micro-onduleur Enphase, dont la durée de vie prévue est supérieure à 25 ans.

- La deuxième méthode consiste à soumettre la nouvelle conception à une étude théorique en évaluant l'usure de chaque composant sur la base des données fournies par les vendeurs de composants.
- La troisième méthode, la plus pratique, consiste à soumettre le nouveau produit à un test de cycle de vie accéléré (HALT), qui simule l'ensemble de la durée de vie du produit sur une période extrêmement courte.

Enphase utilise la méthode HALT pour estimer l'usure. L'une des techniques utilisées consiste à soumettre les micro-onduleurs Enphase à un groupe de tests environnementaux extrêmement stressants, conformément à la norme d'essai IEC61215. Cette norme d'essai est utilisée par les fournisseurs de modules solaires pour déterminer la période d'usure des modules. Comme indiqué, deux tests clés ont été réalisés sur une période de 110 jours.

Au cours de ces tests, les micro-onduleurs fonctionnent à leur puissance nominale. Les unités sont soumises à des cycles d'alimentation AC/DC dans des conditions de stress environnemental. Une mise en garde s'impose : ces tests HALT ne simulent pas les effets des rayons UV sur l'appareil. Les effets des UV sur le micro-onduleur ne sont pas significatifs car le produit est installé sous le module et le câblage utilisé est résistant aux UV. Toutes les nouvelles conceptions Enphase sont soumises à ces tests IEC61215 afin d'estimer leur usure.

## Premier test

Le premier test, un test de chaleur humide, est réalisé sur 1500 heures (environ 62 jours), où les micro-onduleurs sont soumis à une température de 85°C (185°F) et à une humidité relative de 85%. Les micro-onduleurs fonctionnent pendant qu'ils sont exposés à ces conditions environnementales, et leurs performances sont contrôlées in situ pendant ce test.

## Deuxième test

Le second test, appelé test du cycle thermique, est réalisé sur 600 cycles au cours desquels les micro-onduleurs sont soumis à des cycles d'environnement thermique allant de 85°C (185°F)/85% HR à -40°C (-104°F). Les micro-onduleurs fonctionnent pendant qu'ils sont exposés à ces conditions environnementales, et leurs performances sont contrôlées in situ pendant ce test. Ce test dure environ 75 jours.

## Temps moyen entre les défaillances (MTBF)

Le MTBF n'est pas une indication de la durée de vie réelle d'un produit, mais une indication de la probabilité statistique qu'une unité tombe en panne dans des conditions de fonctionnement et d'environnement spécifiques au cours de la période définie par le MTBF.

Le MTBF est lié au taux de défaillance dans le segment de défaillance constante de la courbe en baignoire, entre les segments de mortalité infantile et d'usure. Ce segment de la courbe représente la fiabilité de la conception pour l'environnement opérationnel choisi. L'évaluation du MTBF pour les micro-onduleurs Enphase a été effectuée théoriquement selon les directives de la norme Telcordia SR332. Cette norme est appliquée pour déterminer le MTBF des équipements de télécommunications déployés dans des environnements extérieurs similaires à ceux dans lesquels l'onduleur Enphase est installé.

Comme l'indique la courbe en baignoire, si une unité déployée a survécu, la mortalité infantile ne garantit pas que toutes les unités déployées dureront jusqu'à l'apparition de l'usure. Comme l'indique la courbe, le taux de défaillance restera faible jusqu'à l'apparition de l'usure.

Il s'agit de défaillances statistiques aléatoires. Plus le MTBF est élevé, moins il y a de défaillances dues à des événements aléatoires. Enphase Energy a minimisé ces défaillances aléatoires grâce à la conception de l'emballage, à la gestion thermique et à l'intégration importante de la technologie des semi-conducteurs dans la conception du micro-onduleur.

Le concept de MTBF est souvent confondu avec la durée de vie utile prévue d'un composant, mais ces concepts sont différents. Par exemple, une batterie peut avoir une durée de vie utile de quatre heures et un MTBF de 100 000 heures. Ces chiffres indiquent que dans une population de 100 000 batteries, il y aura environ une défaillance de la batterie toutes les heures pendant sa durée de vie de quatre heures.<sup>1</sup>

Le MTBF du micro-onduleur Enphase, qui est supérieur à 600 ans, doit être comparé au MTBF d'autres appareils et équipements solaires courants :

Dispositif	MTBF
Onduleur central traditionnel ou string	10–15 ans
Lecteur de disque dans un ordinateur personnel	57 ans
Micro-onduleur Enphase	600 ans
Panneau/module solaire	>600 ans
Mémoire à semi-conducteurs (utilisée dans les ordinateurs)	800–1000 ans

Le MTBF du micro-onduleur Enphase est similaire à celui des modules solaires. Une société d'ingénierie de fiabilité respectée, qui teste la fiabilité pour des organisations telles que Boeing et l'armée américaine, a déterminé que le MTBF du micro-onduleur Enphase est supérieur à 300 ans.

## Disponibilité du système

Le système de micro-onduleurs Enphase élimine le point de défaillance unique résultant du déploiement d'un onduleur central ou d'un onduleur de chaîne. Comme tous les modules PV et les micro-onduleurs associés sont connectés en parallèle et que chacune de ces paires agit comme un producteur d'énergie indépendant, la défaillance d'un seul module ou micro-onduleur n'affecte pas les performances du reste des modules. Bien qu'il y ait plus d'onduleurs dans chaque installation qu'un seul onduleur central ou de branche, le MTBF élevé de chacun des micro-onduleurs, combiné à la connexion en parallèle, garantit un niveau très élevé de disponibilité du système. Dans les grands systèmes commerciaux, la simulation montre qu'il est possible d'atteindre une disponibilité du système supérieure à 99,8 %, contre 95 à 97 % pour un onduleur central ou un onduleur de branche.

## Les micro-onduleurs Enphase ont un MTBF élevé

L'architecture distribuée du système de micro-onduleurs Enphase est à la base de diverses caractéristiques de conception qui permettent une grande fiabilité:

### Composants

Contrairement aux onduleurs traditionnels qui traitent plusieurs kilowatts de puissance à des tensions d'entrée DC très élevées, les micro-onduleurs Enphase traitent de faibles quantités de puissance à de faibles tensions d'entrée DC, réduisant ainsi la tension des composants. En outre, le traitement de faibles quantités d'énergie permet un degré élevé d'intégration des semi-conducteurs, ce qui réduit considérablement le nombre de composants. Les composants à semi-conducteurs sont extrêmement fiables.

<sup>1</sup> Principes fondamentaux de la haute disponibilité - Sun Microsystems, Inc

## Empreinte thermique

Les micro-onduleurs Enphase ne traitent qu'une petite partie de la puissance de l'ensemble du réseau photovoltaïque. L'augmentation de la température interne d'un seul micro-onduleur est relativement faible. Cette réduction du cycle thermique et le refroidissement passif au lieu d'un ventilateur de refroidissement réduisent considérablement les contraintes sur les composants.

## Indice de protection

Le micro-onduleur Enphase est conforme à la norme NEMA 6 (équivalent à IP67), qui exige que l'appareil soit immergé sous un mètre d'eau et qu'il fonctionne pendant 24 heures. Les onduleurs traditionnels sont généralement conformes à la norme NEMA 3R (équivalent IP14), qui autorise l'intrusion de la poussière, de l'air extérieur, de l'eau et éventuellement d'insectes (c'est-à-dire que les onduleurs à montage sur socle non soumis à cette norme sont classés NEMA 3R). La classification NEMA 6 garantit que l'appareil est hermétiquement scellé contre les intrusions environnementales.

## Encapsulage

Le Enphase M190 Microinverter est un modèle en encapsulé. Cela signifie que la chambre interne du boîtier est remplie d'un composé d'encapsulation. Cela permet de prolonger la durée de vie de l'appareil en améliorant la dissipation de la chaleur et la protection des composants.

L'important est de vérifier les prévisions théoriques avec les taux de défaillance sur le terrain. Les micro-onduleurs Enphase peuvent transmettre leurs données de performance aux serveurs Enphase. Enphase surveille en permanence ces performances et les utilise pour corroborer les taux de défaillance sur le terrain avec les prévisions théoriques.

## Conclusion

Compte tenu de l'impact négatif des taux de défaillance historiquement élevés des onduleurs sur les installateurs et les clients de l'industrie solaire, Enphase a mis au point une nouvelle technologie de micro-onduleur d'une fiabilité inégalée. Enphase a considéré le MTBF comme l'une des mesures clés pour prédire la fiabilité. Enphase a mis en œuvre des méthodologies de test utilisées dans le secteur des télécommunications (dont les normes de disponibilité sont parmi les plus élevées au monde) et a investi massivement dans le développement d'un équipement de test spécialisé pour prendre en charge ces normes extra-rigoureuses.

Le résultat de cette fixation sur la fiabilité est une technologie d'onduleur qui présente une amélioration du MTBF d'un ordre de grandeur amélioré par rapport à la technologie d'onduleur existante. Cette amélioration a été rendue possible par l'intégration de la technologie des semi-conducteurs, par le contrôle de l'exposition des composants à l'environnement et par la gestion précise des éléments thermiques. Enphase continue de se concentrer sur l'amélioration de la fiabilité avec chaque génération successive d'onduleurs pour atteindre un MTBF de 600 ans, comparable à celui des modules photovoltaïques.

## Historique des révisions

Révision	Date	Description
TEB-00100-1.0	Mars 2024	Version initiale.