



ATMOCE

Créer un monde meilleur grâce aux EnR

# La fiabilité des micro-onduleurs ATMOCE

---

Livre blanc

# Table des matières

## Résumé

### Introduction

#### L'importance de la fiabilité des systèmes solaires

- Production optimale d'énergie
- Réduction des coûts de maintenance
- Longévité du système solaire
- Amélioration de la surveillance et du suivi des performances
- Satisfaction et confiance des clients

#### Philosophie de conception des micro-onduleurs ATMOCE

- Conçu pour durer
- Encapsulation pour une sécurité renforcée
- La qualité avant tout
- Les détails font la différence

#### Système de gestion de la qualité (SGQ)

- Sélection de la topologie
- Sélection du matériel entrant
- Inspection IQC des matériaux entrants et échantillonnage ORT
- Équipement de test automatique (ATE)
- Tests fonctionnels (FT)
- Essais de rodage
- Système d'échantillonnage ORT

#### Soutien de la base théorique

- SR-332 Standard
- Modèle de durée de vie des cycles de température et modèle de durée de vie accélérée de Norris-Landzberg
- Modèle de durée de vie à la chaleur humide (Double 85) et modèle accéléré PECK

#### Les tests de R&D garantissent 25 ans de fiabilité

- Courbe de défaillance
- Temps moyen entre deux défaillances
- Validation accélérée de la fiabilité en R&D
- Accélérer les tests de durée de vie et de fiabilité
- Fiabilité dans des conditions extrêmes

## Conclusion

## Résumé

Dans le domaine grandissant de l'énergie solaire, la fiabilité des micro-onduleurs est essentielle pour assurer une production d'énergie constante et minimiser les temps d'arrêt du système. Alors que la demande de solutions performantes augmente, les micro-onduleurs ATMOCE se distinguent en répondant aux normes industrielles les plus strictes en matière de durabilité et d'efficacité.

## Introduction

La fiabilité des micro-onduleurs est essentielle pour établir un bon système d'énergie solaire. Avec l'expansion rapide des installations solaires résidentielles, la demande de solutions fiables et performantes, capables de résister à diverses conditions environnementales et d'offrir une longue durée de vie, a considérablement augmenté.

Ce livre blanc examine la fiabilité des micro-onduleurs ATMOCE, qui ont été conçus pour répondre aux normes industrielles les plus strictes en matière de durabilité et d'efficacité. Il détaille les méthodologies de test rigoureuses et les systèmes de gestion de la qualité utilisés pour valider leurs performances, en explorant comment ces pratiques différencient les micro-onduleurs ATMOCE sur un marché concurrentiel.

En outre, ce document se penche sur les philosophies de conception innovantes et les fonctions de protection avancées qui rendent les micro-onduleurs ATMOCE particulièrement bien adaptés aux conditions extrêmes, garantissant une conversion d'énergie fiable et optimisant le retour sur investissement pour les propriétaires.

## L'importance de la fiabilité des systèmes solaires

Les micro-onduleurs jouent un rôle crucial dans les systèmes d'énergie solaire en convertissant le courant continu (CC) généré par les panneaux solaires individuels en courant alternatif (CA) destiné aux habitations.

La fiabilité de ces micro-onduleurs est essentielle pour plusieurs raisons :

1. **Production d'énergie optimisée** : des micro-onduleurs fiables permettent que chaque panneau solaire fonctionne au maximum de son potentiel. Comme les micro-onduleurs fonctionnent indépendamment de chaque panneau, la défaillance d'un micro-onduleur n'affecte que le panneau correspondant, et non l'ensemble du système. Cette optimisation de la production énergétique est cruciale pour l'efficacité globale du système solaire, en particulier dans les installations où les panneaux peuvent être ombragés ou orientés différemment.
2. **Réduction des coûts de maintenance** : des micro-onduleurs fiables réduisent la fréquence de la maintenance et des réparations. Étant donné que les panneaux solaires sont souvent installés sur les toits ou dans d'autres endroits difficiles d'accès, l'entretien des onduleurs défectueux peut être long et coûteux. Un taux de fiabilité élevé signifie moins de pannes, ce qui se traduit par des coûts de maintenance réduits et moins d'interruptions dans le fonctionnement du système solaire.



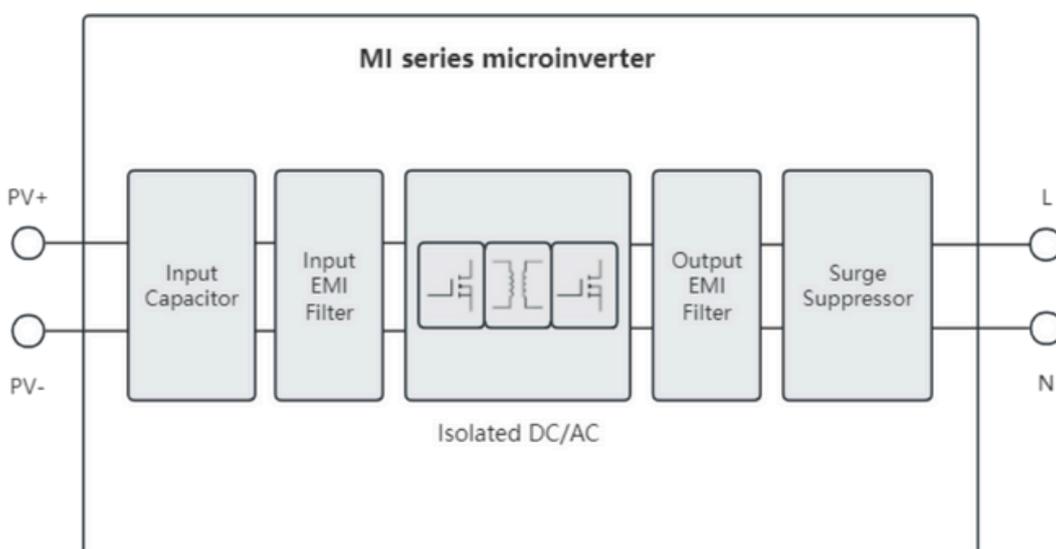
3. **Longévité du système solaire** : la durée de vie globale d'un système solaire est directement influencée par la fiabilité de ses composants, en particulier les micro-onduleurs. Les micro- onduleurs fiables sont conçus pour supporter des conditions environnementales difficiles, telles que des températures extrêmes, l'humidité, la chaleur et la poussière. Cette durabilité garantit que le système solaire puisse fonctionner de manière efficace pendant de nombreuses années, ce qui permet au propriétaire du système de bénéficier d'un meilleur retour sur investissement.
4. **Amélioration de la surveillance et du suivi des performances** : de nombreux micro-onduleurs fiables sont équipés de fonctions de surveillance qui permettent aux utilisateurs de suivre les performances de chaque panneau. Ce niveau de surveillance détaillé permet d'identifier et de résoudre rapidement les problèmes, d'optimiser les performances du système et de s'assurer qu'il fonctionne toujours bien.
5. **Satisfaction et confiance des clients** : pour les utilisateurs résidentiels et commerciaux, la capacité des micro-onduleurs a un impact direct sur leur satisfaction et leur confiance d'un système solaire. Un système fiable garantit une production d'énergie constante, ce qui réduit les inquiétudes concernant les pannes potentielles ou les pertes d'énergie. Cette fiabilité renforce la confiance dans la technologie et encourage l'adoption de l'énergie solaire.

La fiabilité des micro-onduleurs est la pierre angulaire de tout système d'énergie solaire réussi. Elle n'affecte pas seulement l'efficacité et la longévité du système, mais joue également un rôle crucial sur la gestion des coûts, la sécurité et l'amélioration de la satisfaction des utilisateurs. Investir dans des micro-onduleurs de haute fiabilité est essentiel pour bénéficier des avantages de l'énergie solaire et garantir une solution énergétique à la fois durable et rentable.

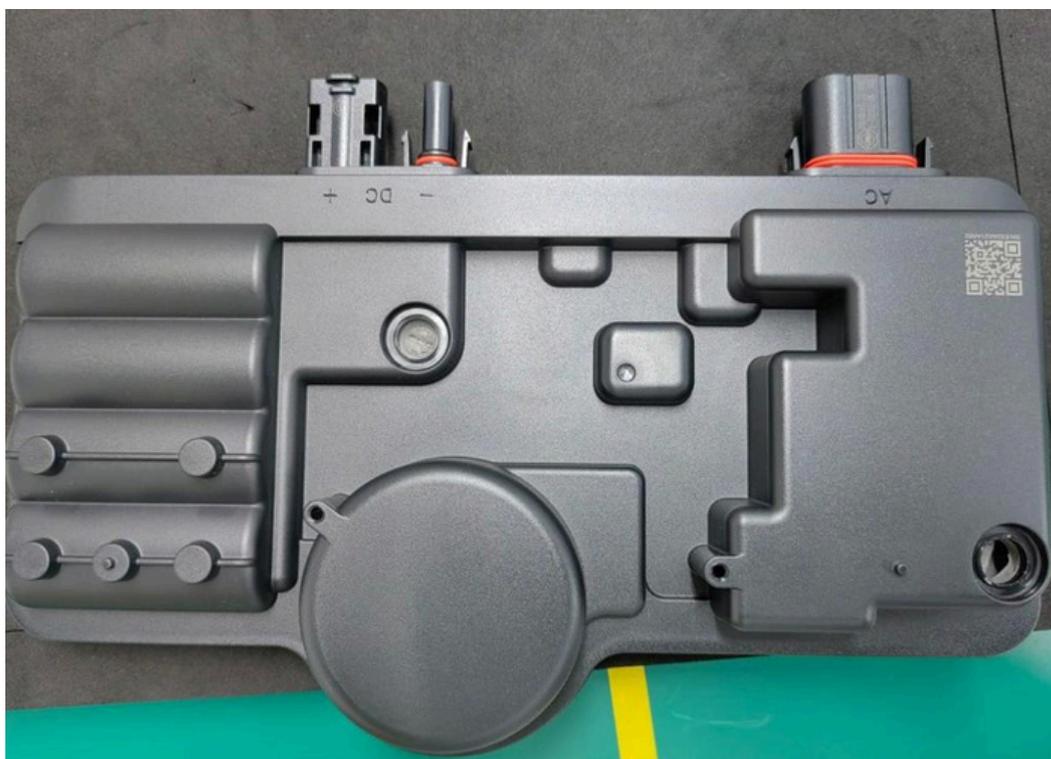
## Philosophie de conception des micro-onduleurs ATMOCE

1. **Construit pour durer** : ATMOCE garantit la qualité de ses produits en s'approvisionnant en composants auprès de grandes marques mondiales. Les principaux composants proviennent de fabricants de renommée internationale tels que Infineon, TI, Renesas, Murata et LEM. Cet engagement en faveur de composants de haute qualité, combiné à une conception méticuleuse, garantit la fiabilité des produits et répond aux normes les plus strictes. La collaboration avec ces marques de premier plan garantit l'excellence et la durabilité des micro-onduleurs d'ATMOCE.
2. **Encapsulation pour la sécurité** : les micro-onduleurs ATMOCE sont entièrement encapsulés afin de garantir des conditions de fonctionnement optimales pour les composants :

*Conception du transformateur* : en tant que composant critique pour l'isolation entre les côtés primaire et secondaire, ATMOCE utilise à la fois l'isolation spatiale et des fils isolés à double couche pour une meilleure protection.



*Conception à encapsulation totale* : l'unité entière est encapsulée pour garantir les normes de sécurité d'isolation des côtés primaire et secondaire. Cette conception empêche les dysfonctionnements du module de provoquer des incendies, des explosions ou de blesser des personnes, et donc renforce la sécurité globale du produit. Le boîtier est en oxyde de polyphénylène (PPO), qui offre une meilleure résistance à la corrosion que les boîtiers métalliques. En outre, l'ensemble de l'unité répond à des exigences d'isolation renforcées pour plus de sécurité.



### 3. **La qualité avant tout :**

Inducteurs de mode commun : ATMOCE privilégie la qualité en investissant dans des inducteurs de mode commun plus coûteux. Les conceptions structurelles sont optimisées et des moules à fil plat sont utilisés pour éviter des problèmes tels que le décollement de la couche de fil, qui peut entraîner des performances médiocres, voire des courts-circuits et des incendies. Cette approche garantit un fonctionnement fiable et sûr des micro-onduleurs.

*Emballage des MOSFET* : ATMOCE utilise un emballage TOLL (Tape and Reel) au lieu d'un emballage QFN (Quad Flat No-lead) pour les MOSFET. Ce choix améliore la dissipation thermique et réduit la température de fonctionnement des composants, ce qui contribue à la fiabilité des performances et garantit une durée de vie de 25 ans aux micro-onduleurs.

*Les détails déterminent le succès* : couverture complète de l'AMDE, du déclassement et de la tolérance. Analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE) : ATMOCE effectue une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (FMEA) afin de simuler diverses défaillances potentielles et de mettre en œuvre des mesures correctives, en traitant efficacement les risques dès le début effectue une analyse des modes de défaillance et de leurs effets (FMEA) afin de simuler diverses défaillances potentielles et de mettre en œuvre des mesures correctives, en traitant les risques de manière efficace dès la conception du produit.

*Conception de la tolérance* : chaque circuit fonctionnel est conçu en tenant compte des tolérances afin de garantir que le produit réponde aux normes de qualité dans tous les scénarios opérationnels, et en tenant compte de la fluctuations dans des conditions réelles.

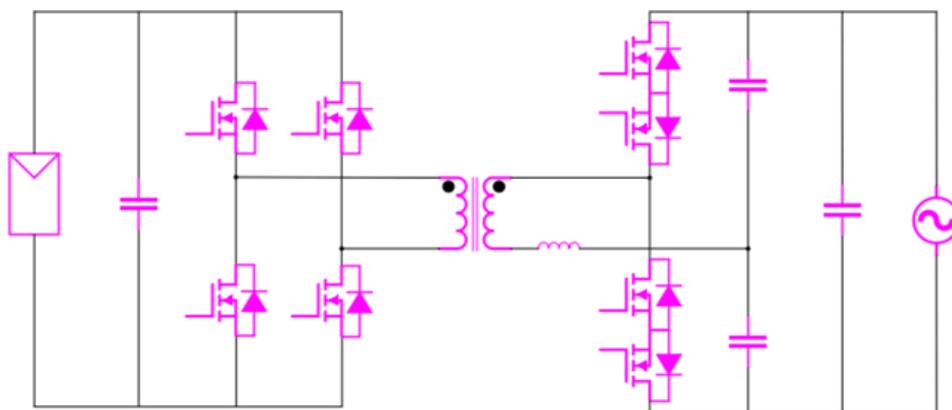
## **Systeme de gestion de la qualité (SGQ)**

Pour vérifier la fiabilité des micro-onduleurs ATMOCE, un procédure de contrôle de la qualité et de test est mis en œuvre à travers les étapes suivantes : 1. Sélection de la topologie La sélection d'une topologie de circuit appropriée est fondamentale pour garantir la fiabilité du micro-onduleur. Il existe trois générations de micro-onduleurs.

*Technologie de première génération* : conception Flyback avec un rendement plus faible et une fonctionnalité de puissance réactive limitée.

*Technologie de deuxième génération* : LLC + H4 avec un rendement plus faible en raison de la conversion d'énergie en deux étapes. La capacité de puissance réactive est fondamentalement prise en charge.

*Technologie de troisième génération* : DAB (Dual active bridge) basé sur un cycloconvertisseur, qui atteint un rendement élevé et inclut une fonctionnalité de puissance réactive, ce qui représente une avancée significative en termes de performance et d'adaptabilité au réseau.



ATMOCE a choisi la technologie de troisième génération pour plusieurs raisons.

*Circuit mono-étagé à haut rendement* : utilise une conception à un étage pour obtenir un rendement élevé dans la conversion de l'énergie.

*Peu de composants, faible coût, faible taux de défaillance* : la réduction du nombre de composants permet de diminuer les coûts de fabrication et de minimiser le risque de défaillance, ce qui contribue à réduire le coût global du système et à en améliorer la fiabilité.

*Fonctionnement entièrement à commutation douce pour une plus grande efficacité* : utilise des techniques de commutation douce dans tout le système pour améliorer l'efficacité davantage et réduire les pertes d'énergie.

*Contrôle flexible de la puissance active et réactive* : capable de s'adapter à diverses conditions de réseau grâce à un contrôle polyvalent de la puissance active et réactive, assurant la compatibilité avec différents types de réseaux électriques.

## **2. Sélection du matériel entrant**

La fiabilité des micro-onduleurs dépend fortement de la qualité des composants utilisés. Lors des phases de conception et de production, les micro-onduleurs ATMOCE font l'objet d'une sélection rigoureuse des matériaux :

*Sélection des fournisseurs* : ATMOCE sélectionne des fournisseurs qui ont fait l'objet d'une évaluation stricte afin de s'assurer que leurs composants répondent aux spécifications requises. Un contrôle de la qualité à la sortie (OQC) renforcé et des essais de fiabilité, y compris les rayons X, l'analyse physique destructive (DPA), l'ondulation à haute température sous charge et d'autres essais, sont menés pour garantir la qualité des matériaux.

*Mécanisme d'alerte précoce en cas de fluctuation de la qualité* : un mécanisme d'alerte précoce en cas de fluctuation de la qualité est mis en place, les limites des paramètres critiques étant fixées sur la base de seuils supérieurs et inférieurs à 3 sigma.

*Contrôle flexible de la puissance active et réactive* : capable de s'adapter à diverses conditions de réseau en fournissant un contrôle polyvalent de la puissance active et réactive, assurant la compatibilité avec différents types de réseaux électriques.

## **3. Inspection IQC des matériaux entrants et échantillonnage ORT**

ATMOCE effectue une inspection IQC à 100 % pour les matériaux de micro-onduleurs entrants, avec des tests de fiabilité améliorés et un DPA pour les matériaux critiques. Des essais de fiabilité continus (ORT) sont effectués sur les matériaux entrants afin de vérifier leur fiabilité :

*Sélection des échantillons et essais* : prélèvement aléatoire d'échantillons dans chaque lot de matériaux entrants et soumission de ceux-ci à des cycles de température, à des tests d'humidité, à des tests de contrainte mécanique, etc. afin de confirmer leur performance dans des conditions extrêmes.

*Analyse des données* : analyser les résultats de l'ORT pour apporter les ajustements nécessaires à la sélection des composants ou des fournisseurs, afin de garantir l'utilisation des matériaux les plus fiables.

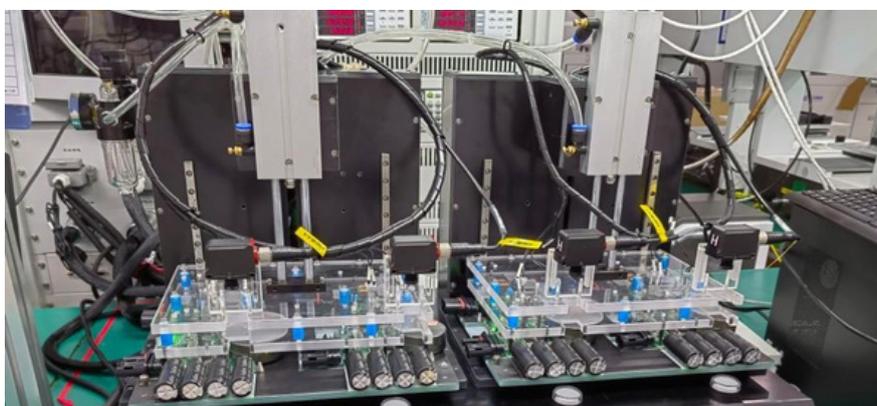
#### 4. **Équipement de test automatique (ATE)**

Pendant la production, les micro-onduleurs ATMOCE sont testés à l'aide d'un équipement de test automatique (ATE) afin d'intercepter et de prévenir les défaillances des circuits imprimés :

*Essais fonctionnels* : vérifier que les performances électriques, les fonctions de communication et les opérations de base de chaque micro-onduleur sont conformes aux exigences de conception.

*Détection des défauts* : les procédures d'essai de haute précision du système ATE sont utilisées pour identifier et rejeter rapidement les produits potentiellement défectueux.

Chaque carte PCBA traitée et formée est soumise à des tests ATE stricts afin d'intercepter les produits défectueux causés par des anomalies de processus.



ATE

## 5. Tests fonctionnels (FT) Le CE est effectué sur la ligne de production afin de garantir la fonctionnalité de chaque produit :

*Vérification complète* : elle comprend des essais de fonctionnement du matériel, des tests du logiciel et des évaluations des performances dans différentes conditions de charge et de réseau.

*Contrôle de cohérence* : permet de s'assurer que tous les micro-onduleurs offrent des performances constantes dans différents environnements d'exploitation.

*Inspection finale* : chaque micro-onduleur fait l'objet d'une inspection finale avant d'être expédié afin de s'assurer que toutes les fonctions répondent aux normes requises.

## 6. Essais de rodage

Le test de déverminage est une étape cruciale dans la validation de la fiabilité à long terme des micro-onduleurs. ATMOCE utilise également les tests de déverminage pour intercepter et prévenir les défaillances des circuits imprimés :

*Test de vieillissement* : chaque unité subit un test de vieillissement afin d'intercepter les défaillances précoces, ce qui garantit que les produits sont robustes et fiables avant de quitter l'usine.

*Filtrage des défaillances* : les tests de rodage filtrent les unités qui ne fonctionnent pas de manière optimale, garantissant ainsi que seuls les micro-onduleurs les plus fiables arrivent sur le marché.



Équipement de déverminage

## **7. Système d'échantillonnage ORT Enfin, les micro-onduleurs ATMOCE sont soumis à un échantillonnage ORT avant d'être expédiés :**

*Essais sur l'ensemble du système* : réalisation de tests ORT sur des unités complètes sélectionnées de manière aléatoire, simulant des contraintes environnementales à long terme telles que les variations de température, l'humidité et les surtensions.

*Vérification de la fiabilité* : confirmation supplémentaire de la fiabilité des micro-onduleurs qui passent les tests ORT du système, garantissant qu'ils peuvent résister à l'épreuve du temps et de l'environnement dans les applications des clients. Le taux d'échantillonnage ORT est de 0,2 %.

Grâce à ces étapes rigoureuses de test et de validation, les micro-onduleurs ATMOCE sont conçus pour garantir une grande fiabilité dans diverses conditions extrêmes, offrant ainsi aux utilisateurs une alimentation stable et sur le long terme.

## Soutien de la base théorique

1. **SR-332 Standard** : la norme SR-332 est une méthode largement utilisée pour prédire la fiabilité des équipements électroniques. Elle est particulièrement appliquée aux équipements de télécommunications, aux produits électroniques et à d'autres domaines pour estimer le temps moyen entre les défaillances (MTBF) dans des conditions de fonctionnement spécifiques. ATMOCE utilise cette méthodologie pour vérifier la fiabilité des micro- onduleurs en analysant les courbes de défaillance et en appliquant ces connaissances pour améliorer les processus de conception et de production.

2. **Modèle de durée de vie des cycles de température et modèle de durée de vie accélérée** de Norris-Landzberg ATMOCE utilise le Temperature Cycling Life Model et le Norris- Landzberg Accelerated Life Model comme base théorique pour la fiabilité de ses micro-onduleurs :

Modèle de durée de vie en fonction des cycles de température :

$$AF = \left( \frac{f_{use}}{f_{acc}} \right)^{-m} \left( \frac{\Delta T_{use}}{\Delta T_{acc}} \right)^{-n} e^{\frac{Ea}{k} \left( \frac{1}{T_{max,use}} - \frac{1}{T_{max,acc}} \right)}$$

Il simule les variations de température subies par les micro-onduleurs en fonctionnement réel, ce qui permet de prévoir leurs performances et leur durée de vie à long terme. Il évalue la fatigue mécanique et la dégradation des matériaux causée par le stress thermique, garantissant la stabilité du produit dans des environnements aux températures fluctuantes.

*Modèle de durée de vie accélérée de Norris-Landzberg* : ce modèle utilise des tests de stress accélérés (tels que des températures élevées et des vibrations) combinés à des données statistiques pour prédire la fiabilité à long terme des micro-onduleurs dans des conditions réelles. Il permet d'identifier les mécanismes de défaillance potentiels, d'optimiser la conception et de s'assurer que le produit répond à une exigence de fiabilité de 25 ans.

En combinant ces deux modèles, ATMOCE valide la durabilité de ses micro-onduleurs, ce qui permet de garantir des performances stables dans diverses conditions environnementales.

**3. Modèle de durée de vie à la chaleur humide (Double 85) et modèle accéléré PECK.** Modèle de durée de vie à la chaleur humide (Double 85) :

$$A_T = \text{Exp} \left\{ \frac{E_a}{K_B} \left[ \frac{1}{T_{Use}} - \frac{1}{T_{Stress}} \right] \right\}$$

$$A_H = \left( \frac{R_{Stree}}{R_{Use}} \right)^m$$

$$A_{TH} = A_T A_H$$

$$L_n(t_f) = C + \frac{E_a}{K_B T} - m \text{Ln}(R)$$

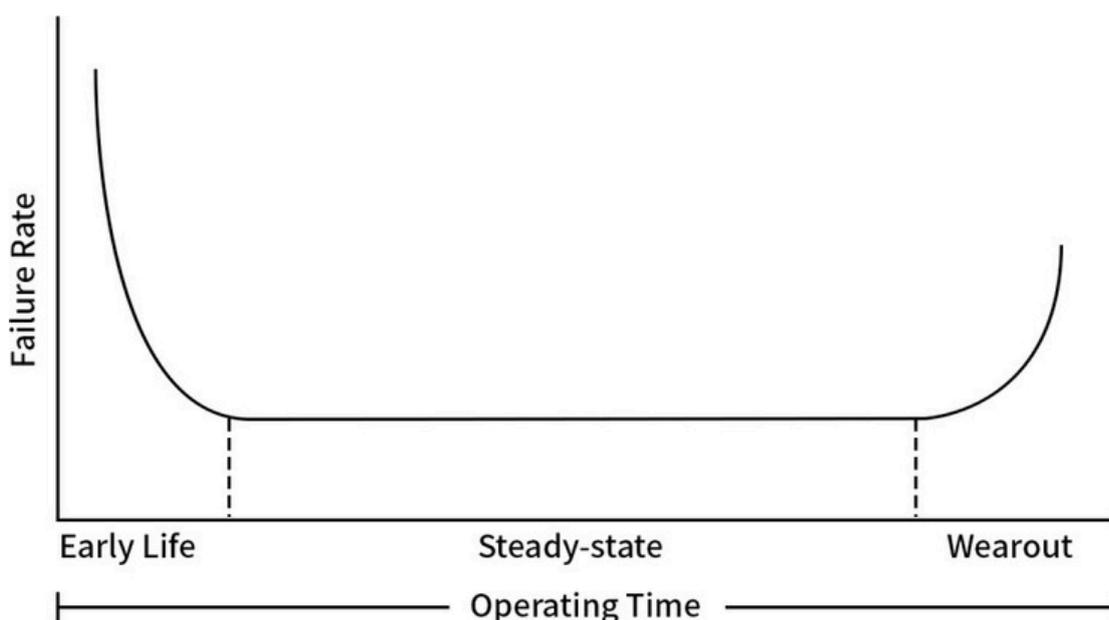
Ce modèle effectue des tests de vieillissement accéléré dans des conditions de température de 85°C et d'humidité relative de 85% pour simuler la durée de vie du micro-onduleur dans des environnements à température et humidité élevées. Il évalue la résistance de l'appareil à l'humidité et à la corrosion, garantissant ainsi des performances stables sur de longues périodes dans des applications réelles.

*Modèle accéléré PECK* : ce modèle se concentre sur les effets des variations d'humidité et de température sur la durée de vie des composants électroniques, en particulier sur les matériaux exposés à l'humidité. Grâce à des essais accélérés dans différentes conditions d'humidité, ce modèle prédit les performances à long terme des micro-onduleurs, garantissant ainsi leur fiabilité dans diverses conditions environnementales.

Les micro-onduleurs ATMOCE ont montré des performances exceptionnelles en matière de cycles thermiques, dépassant les 1000 cycles, ce qui correspond à une durée de vie de 93 ans. En outre, 2000 heures de chaleur humide correspondent à une durée de vie estimée à 35 ans dans des conditions d'utilisation typiques du monde réel. En combinant ces deux modèles, ATMOCE évalue de manière approfondie les performances de ses micro-onduleurs dans diverses conditions, garantissant ainsi une fiabilité et une durabilité élevées du produit, ce qui le rend idéal pour une utilisation prolongée dans des applications réelles.

## Les tests de R&D garantissent 25 ans de fiabilité

### 1. Courbe de défaillance



Les défaillances précoces sont principalement détectées par le contrôle des matériaux à la réception, les tests ATE sur la ligne de production, les tests de déverminage et les tests fonctionnels.

## **2. Temps moyen entre les défaillances**

Un temps moyen entre les défaillances (MTBF) supérieur à 600 ans indique une période de défaillance stable. Selon la méthode de calcul de la fiabilité de la norme SR-332, qui tient compte de facteurs tels que la qualité des composants entrants, la température de fonctionnement, les contraintes électriques, les conditions environnementales et les résultats des essais, le taux de défaillance global est d'environ 123 FIT (défaillances par milliard d'heures). Cela correspond à un MTBF de plus de 8 millions d'heures, soit plus de 900 ans à raison de 10 heures de fonctionnement par jour.

Sur la base de cette valeur FIT théorique, le taux de défaillance moyen estimé est inférieur à 500 pièces par million (PPM) par an.

## **3. Validation accélérée de la fiabilité en R&D**

*Essais complets d'adaptabilité à l'environnement* : ATMOCE effectue des essais approfondis d'adaptabilité à l'environnement sur la base des normes IEC 60068 et de scénarios d'application pratiques. Ces essais comprennent des simulations de conditions extrêmes telles que les températures élevées et basses, les cycles thermiques, la chaleur humide, le brouillard salin, la formation de moisissures, le vieillissement dû aux UV, la pluie à haute température et les conditions de givrage.

## Test de fiabilité (Reliability Stress Testing)

*HALT (Highly Accelerated Life Test)* : s'appuie sur les exigences de la norme IEC 60068 en ajoutant des tests de contrainte à haute température et à pleine charge pour découvrir les points faibles dans des conditions extrêmes, en identifiant les risques liés aux températures élevées.

*Essais de vibration en mer, sur terre et dans l'air* : améliore les essais de vibration basés sur les normes d'emballage en ajoutant des essais de vibration en mer, sur terre et dans l'air pour les unités nues. Cette approche permet de mettre en évidence les faiblesses des connexions et les défauts de conception des grands composants.

*Cycle thermique TS* : utilise des tests de cyclage thermique rapide à double chambre pour identifier et solliciter les points de défaillance des joints de soudure.

*Essais combinés de chaleur humide et de cycles thermiques* : simule les contraintes combinées de la chaleur humide et du cyclage thermique sur la base de scénarios d'application afin d'évaluer les effets sur l'équipement sous test (EUT).

*Test de condensation* : assure que la condensation à l'intérieur de l'unité n'entraîne pas un fonctionnement anormal de l'onduleur.

### 4. Accélérer les tests de durée de vie et de fiabilité

*Test de durée de vie des cycles de température* : plus de 1000 cycles.

*Test de durée de vie à la chaleur humide (Double 85)* : 2000+ heures.

*Essai de cyclage en puissance à haute température et à haute humidité* : plus de 50 000 cycles.

*Test de durée de vie avec cycles d'alimentation répétés* : plus de 100 000 cycles de mise en marche et d'arrêt.

*Test de résistance à la corrosion* : 720 heures d'exposition à la corrosion.



## Laboratoire

Ces tests garantissent que les micro-onduleurs ATMOCE répondent aux normes de fiabilité et de performance à long terme requises pour une durée de vie de 25 ans.

### 5. Fiabilité dans des conditions extrêmes

*Emplacement A* : températures extrêmement basses atteignant  $-50^{\circ}\text{C}$ . Les micro-onduleurs sont soumis à un test de stabilité de 8 mois pour vérifier leur fiabilité et leur performance dans des conditions de froid extrême.



*Site B* : températures extrêmement élevées avec des mois d'été dépassant régulièrement 40°C (104°F). Ce site est utilisé pour tester les performances des micro-onduleurs dans des conditions de chaleur intense.



*Lieu C* : situé près de la côte, avec des températures élevées, une forte humidité et un brouillard salin important. Les températures estivales varient souvent entre 28°C et 35°C (82°F et 95°F), avec des niveaux d'humidité qui peuvent rendre la chaleur encore plus intense. Il est également sujet à de fréquentes tempêtes tropicales et à des typhons en raison de sa proximité avec la mer, qui peuvent apporter de fortes pluies et des températures temporairement plus fraîches. Cet environnement met à l'épreuve la résistance à la corrosion et la stabilité à long terme des micro-onduleurs dans des conditions climatiques marines difficiles.



*Lieu D* : altitude élevée, faible pression atmosphérique et rayonnement UV élevé. Les hivers y sont froids, avec des températures qui descendent souvent en dessous de zéro, surtout la nuit. Les micro-onduleurs sont testés pour leur fiabilité et leur durabilité à haute altitude, à basse pression et sous exposition intense aux UV.



*Lieu E* : caractérisé par un climat désertique sec et chaud typique, avec une faible humidité relative, de fréquentes tempêtes de sable, de grandes variations de température entre le jour et la nuit, et un fort rayonnement. Les étés sont chauds et secs, avec des températures diurnes dépassant souvent 35°C (95°F) en juillet et août. En raison de sa situation désertique, l'humidité est faible et les précipitations minimales, avec moins de 40 millimètres de pluie par an. Cet environnement permet de tester la résistance des micro- onduleurs à la poussière et au sable, ainsi que leurs performances dans des conditions de température élevée.



Malgré les conditions environnementales extrêmes, les micro-onduleurs d'Atmoce ont fonctionné sans interruption pendant plus d'un an, démontrant ainsi la fiabilité exceptionnelle du produit. Cette performance à long terme dans des conditions difficiles est un témoignage précieux de sa durabilité et de sa qualité d'ingénierie.

## Conclusion

Les micro-onduleurs ATMOCE offrent une fiabilité supérieure à celle des onduleurs traditionnels grâce à leur fonctionnement indépendant, leur tolérance aux pannes, leur gestion thermique efficace, leur adaptabilité à l'environnement, leur surveillance en temps réel, leurs coûts de maintenance réduits et la minimisation des temps d'arrêt du système. Ces caractéristiques les rendent particulièrement adaptés aux conditions environnementales complexes et difficiles.

Conçus avec des fonctions de protection avancées et soumis à des protocoles de test rigoureux, les micro-onduleurs ATMOCE respectent les normes de qualité les plus strictes afin de garantir leur durabilité et leur efficacité à long terme. En incorporant des modèles de durée de vie à la pointe de l'industrie, tels qu'avec le modèle de durée de vie des cycles de température, le modèle de durée de vie accéléré de Norris-Landzberg, le modèle de durée de vie de la chaleur humide et le modèle accéléré de PECK, ATMOCE garantit des performances fiables dans diverses conditions. Ces processus de validation complets donnent aux clients la confiance dans leur investissement, car ATMOCE continue d'innover et de jouer un rôle de premier plan dans l'avancement de la production d'énergie durable à l'échelle mondiale.



# ATMOCE



Créer un monde meilleur grâce aux énergies renouvelables

Mail : [equipe\\_fr@atmoce.com](mailto:equipe_fr@atmoce.com)

Hotline : +33 1 89 71 73 67



ATMOCE France



[atmoce\\_fr](https://www.instagram.com/atmoce_fr)