

## Indicateurs Clés de Performance de Systèmes Énergétiques

nLine Inc, document produit en juin 2023

Ce document présente les indicateurs clés de performance (ICP)<sup>1</sup> fournis par nLine pour évaluer et quantifier la performance d'un approvisionnement en énergie, qu'il s'agisse d'un réseau national ou d'un mini ou micro-réseau local. Les ICP sont présentés dans le tableau ci-dessous, avant d'être discutés en détail par la suite. Chaque ICP est accompagné d'une *déclaration* qui illustre concrètement la définition de l'ICP, ainsi que de suggestions pour améliorer l'ICP.

<sup>1</sup> Un ICP est défini sur un ensemble de clients ainsi que sur une période donnée. Par exemple, nous pourrions obtenir un ICP défini pour tous les clients connectés au réseau d'Accra (Ghana) sur une année donnée, ou pour les clients alimentés par un micro-réseau donné sur un mois donné.

Nom de l'ICP	Définition	Catégorie
Indice de Durée moyenne d'Interruption du Système (SAIDI)	Un index système de la durée moyenne d'interruption de l'alimentation électrique [heures]	Fiabilité
Indice de Fréquence d'Interruption moyenne du Système (SAIFI)	Un indice système de la fréquence moyenne des interruptions d'alimentation [nombre d'interruptions]	Fiabilité
Tension moyenne	Tension moyenne délivrée au client [Vrms]	Qualité
Heures de sous-tension	Durée moyenne pendant laquelle le client subit une très basse tension [heures]	Qualité
Minutes de surtension	Durée moyenne pendant laquelle le client subit une tension très élevée [minutes]	Qualité
Fréquence moyenne	Fréquence électrique moyenne du réseau [Hz]	Qualité

Table 1: Résumé des ICP de la Qualité et de la Fiabilité de l'électricité fournis par nLine

nLine reconnaît que les ICP standards, qui permettent d'évaluer un approvisionnement en énergie, peuvent parfois être insuffisants pour évaluer les impacts de la performance de l'approvisionnement de manière exhaustive. Par exemple, la performance moyenne du système ne reflète pas la diversité et les inégalités des différentes expériences clientes, et les indicateurs de qualité de l'électricité ne quantifient pas les impacts spécifiques de ces ICP sur les infrastructures critiques. nLine propose et recommande de transformer ces ICP afin de répondre à ces besoins (plusieurs de ces transformations sont

répertoriées à la fin de ce document).

### Les ICP pour quantifier la fiabilité électrique

Les ICP de fiabilité quantifient la fréquence des coupures d'électricité subies par le client. Ils sont en grande partie utilisés par les fournisseurs d'électricité et par les régulateurs, et sont définis par la norme IEEE 1366.

#### Indice de Durée moyenne d'Interruption du Système (SAIDI)

L'index SAIDI représente le temps total moyen d'interruption subi par un client sur une période donnée. Calculer précisément cet index nécessite de connaître le temps total d'interruption subi par chaque client ; cette information n'est généralement pas disponible. À la place, nLine utilise des approches statistiques pour estimer l'index SAIDI à partir d'un échantillon représentatif des expériences des clients<sup>2</sup>. Dans les systèmes hors réseau, le SAIDI peut être exprimé comme un indicateur de « temps de fonctionnement » du système.

*En avril 2022, les clients du district d'Achimota, à Accra (Ghana), ont connu un SAIDI moyen de 19 heures durant le mois.*

AFIN D'AMÉLIORER LE SAIDI, il est nécessaire de réduire le nombre, ainsi que la durée, des coupures. Le remplacement des équipements de réseau vieillissants, l'élagage de la végétation autour des lignes vulnérables, et le maintien d'une alimentation électrique suffisante (afin d'éviter un délestage électrique), contribuent à réduire le nombre de coupures. Les équipements de commutation modernes et les outils de surveillance permettant d'identifier, de localiser, et de résoudre rapidement les pannes, réduisent la durée des coupures. Dans les micro-réseaux solaires, le SAIDI peut être amélioré grâce à une dimension adéquate des panneaux, du stockage, et du câblage.

#### Indice de Fréquence d'Interruption moyenne du Système (SAIFI)

L'index SAIFI correspond au nombre moyen de coupures subies par un client sur une période donnée. Comme pour le SAIDI, nLine estime le SAIFI à partir d'un échantillon représentatif. Le SAIFI, en complément du SAIDI, offre une vision plus globale de l'expérience des coupures chez le client. Par exemple, des coupures fréquentes et courtes peuvent passer inaperçues dans le SAIDI mais au contraire être soulignées dans le SAIFI, mettant en évidence leurs impacts

Pour  $N$  clients, l'index SAIDI sur la période  $T$  est défini comme :

$$SAIDI(N, T) = \frac{\sum_{i=1}^N O_{i,T}}{N}$$

où  $O_{i,T}$  est la durée totale des coupures subies par le client  $i$  sur la période  $T$ .

<sup>2</sup> [blog.nline.io/estimating-saidi](https://blog.nline.io/estimating-saidi)

Pour  $N$  clients, le SAIFI sur la période  $T$  est défini comme :

$$SAIFI(N, T) = \frac{\sum_{i=1}^N F_{i,T}}{N}$$

où  $F_{i,T}$  est le nombre de coupures subies par le client  $i$  sur la période  $T$ .

conséquents, notamment dans les installations industrielles ou médicales, où de brèves coupures peuvent interrompre un processus de fabrication ou une prestation médicale, entraînant des coûts importants et de graves conséquences humaines.

*En novembre 2021, une installation de soins de santé alimentée par un mini-réseau en République Démocratique du Congo a connu un SAIFI de 56 interruptions durant le mois.*

AFIN D'AMÉLIORER LE SAIFI, il est nécessaire de réduire le nombre d'occurrences des coupures. Pour cela, il est important d'assurer l'entretien régulier des équipements, de garantir un approvisionnement adéquat afin d'éviter tout délestage, et de protéger les infrastructures contre les impacts météorologiques. La conception adéquate du système de protection (commutateurs, fusibles, etc.) permet d'éviter les déclenchements intempestifs du circuit et garantit que le minimum de clients soit privé d'électricité lors de l'isolation des pannes ou des opérations de maintenance. Dans les micro-réseaux solaires, le SAIFI peut être amélioré grâce à une génération et un stockage adéquats, ainsi qu'en configurant des fusibles de manière appropriée.

### *Les ICP de qualité de l'électricité*

Les ICP de qualité de l'électricité quantifient la qualité de l'électricité lorsque celle-ci est fournie.

### *Les ICP de qualité de la tension*

Pour que l'électricité soit utile, la tension à laquelle celle-ci est fournie doit se situer dans une plage raisonnable. La plage idéale dépend du type de charge alimentée ; cependant, une norme largement acceptée est de maintenir la tension dans une marge de  $\pm 10\%$  de la valeur nominale (généralement 220-240 V sur le continent africain). Une tension en dehors de cette plage peut provoquer des déclenchements, des surchauffes, des dommages, et une réduction de la durée de vie des équipements et appareils. La norme EN 50160 et la norme ANSI C84.1 sont respectivement les normes européenne et nord-américaine pour la qualité de la tension de fourniture. nLine produit les trois ICP suivants pour évaluer la qualité de la tension.

#### **Tension moyenne**

est la tension moyenne sur une période et parmi les clients. Elle devrait être proche de la tension nominale.

*Au cours de la semaine du 4 juillet 2022, les clients du district de Dansoman à Accra, ont connu une tension moyenne de 225 volts.*

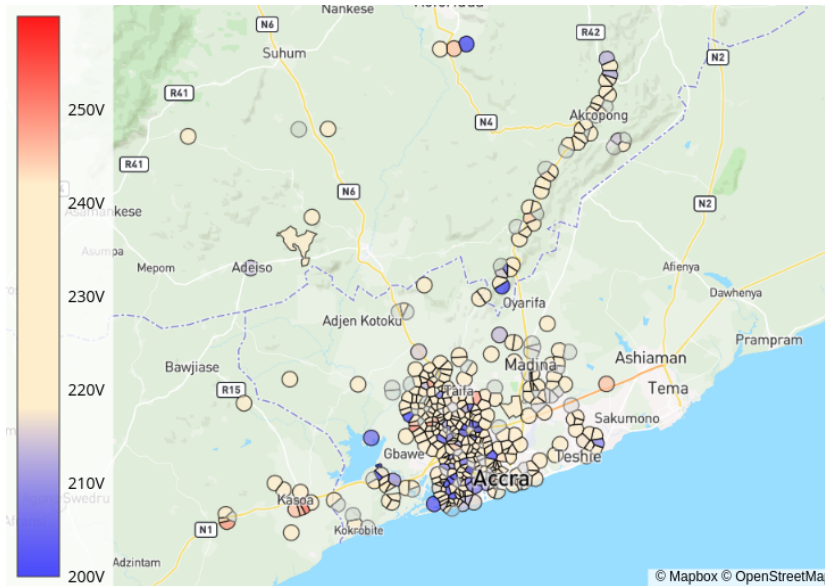


Figure 1: Un tableau de bord nLine visualisant la tension moyenne à travers la ville d'Accra (Ghana), pour une semaine en 2022.

### Heures de sous-tension

est le nombre total d'heures, sur une période donnée, où la tension est inférieure à 90% de la valeur nominale, moyenné entre les clients. Une sous-tension prolongée peut endommager les appareils des consommateurs, ralentir le chauffage et la cuisson électriques, et dégrader les infrastructures électriques du côté de la fourniture. La sous-tension est un problème courant dans les pays en développement, en raison d'infrastructures de réseau surchargées et sous-dimensionnées.

*Le 5 août 2022, une clinique de santé alimentée par un mini-réseau en République Démocratique du Congo a connu 15 heures de sous-tension.*

### Minutes de surtension

est le nombre total de minutes, sur une période donnée, où la tension dépasse 110% de la valeur nominale, moyenné entre les clients. Une surtension conséquente peut endommager les équipements ou provoquer des déclenchements. Les surtensions sont moins fréquentes que les sous-tensions, en particulier dans les grands réseaux.

*Le 1er août 2022, les foyers alimentés par un micro-réseau ont connu 5 minutes de surtension.*

AFIN D'AMÉLIORER LA QUALITÉ DE LA TENSION, les lignes et les équipements doivent être correctement dimensionnés pour éviter la surcharge et les chutes de tension trop importantes. Les équipements de régulation, tels que les batteries de condensateurs ou les régulateurs de tension, peuvent réduire les chutes de tension sur les lignes. Dans les micro-réseaux solaires, un onduleur performant et une batterie bien dimensionnée sont essentiels pour la qualité de la tension.

### *Les ICP de qualité de la fréquence*

Dans les réseaux synchrones, la fréquence du système indique l'équilibre global entre la demande et l'offre. La fréquence doit être strictement contrôlée autour de la valeur nominale (50 Hz) afin d'éviter toute instabilité, des dommages aux générateurs, et des impacts sur les charges sensibles. Dans de nombreux grands réseaux, la fréquence est maintenue dans une plage de  $\pm 0,5$  % autour de la valeur nominale. Dans les micro-réseaux, la fréquence dépend du contrôle des générateurs ou des onduleurs, et devrait idéalement rester dans une plage de  $\pm 5$  % de la valeur nominale pour éviter d'endommager les moteurs et les charges sensibles (voir la norme IEEE 1547). nLine produit les ICP suivants pour évaluer la qualité de la fréquence du réseau.

#### **Fréquence moyenne**

est la fréquence moyenne du système (la seule fréquence pour tous les clients alimentés par un réseau commun) sur une période donnée.

*Le 1er janvier 2022, la fréquence moyenne au Ghana était de 50,14 Hz.*

AFIN D'AMÉLIORER LA STABILITÉ DE LA FRÉQUENCE dans les réseaux synchrones, l'équilibre énergétique global doit être minutieusement et continuellement contrôlé. Cela relève du plus haut niveau de contrôle du réseau, impliquant les générateurs, les achats d'énergie ainsi que les marchés. Dans les micro-réseaux, s'assurer que les onduleurs et les générateurs sont correctement dimensionnés et dotés de régulateurs fonctionnels permet d'améliorer la stabilité de la fréquence.

### *Indicateurs de Performance Dérivés*

Les ICP de qualité et de fiabilité de l'électricité peuvent être transformés pour mieux refléter l'état d'un système énergétique. Ces indicateurs peuvent capturer l'étendue et l'égalité d'une métrique afin

de rendre compte de la diversité des expériences des clients, ou ils peuvent mesurer l'impact de la qualité et de la fiabilité de l'électricité sur des infrastructures critiques spécifiques. nLine capture de nombreux ICP dérivés pour des applications spécifiques. Nous donnons ci-dessous deux exemples.

### Coefficient de Gini

est l'égalité d'un ICP. Un coefficient de Gini plus élevé indique qu'une métrique est moins également répartie entre les individus ou groupes mesurés. Par exemple, un quartier ayant une bonne tension moyenne et un autre ayant une très mauvaise tension moyenne conduisent à un indice de Gini plus élevé pour l'ICP de la tension moyenne. Le coefficient de Gini peut également être utilisé pour comparer l'égalité relative entre différentes populations.

*En 2020, les résidents du district d'Achimota à Accra ont connu une inégalité de tension de 0.45, similaire à l'inégalité de revenu au Ghana (0.43).*

AFIN D'AMÉLIORER LE COEFFICIENT DE GINI, les efforts doivent être concentrés sur les individus, les sous-groupes ou les quartiers qui connaissent actuellement la pire fiabilité ou qualité de l'électricité.

Le coefficient de Gini est défini de 0 à 1, où 1 représente la plus grande inégalité. Il est défini comme suit :

$$G = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N |x_i - x_j|}{2N^2\bar{x}}$$

où  $x_i$  est la performance d'un système énergétique pour le groupe ou l'individu  $i$ , et il y a  $N$  groupes.

### Performance des Équipements

est une quantification de l'impact de la fiabilité et de la qualité de l'électricité sur des équipements spécifiques en fonction de leurs exigences. Cela prend en compte à la fois la réduction de l'efficacité et la probabilité d'une panne.

*Au cours de la semaine du 23 mai 2023, une clinique de santé alimentée par le réseau en Sierra Leone n'a jamais eu une tension suffisante pour alimenter un ordinateur, malgré une fourniture d'électricité pendant près de 12 heures par jour.*

AFIN D'AMÉLIORER LA PERFORMANCE DES ÉQUIPEMENTS, des stabilisateurs de tension locaux ou des transformateurs peuvent être ajoutés, ou la qualité de l'électricité fournie peut être améliorée.