

Comparaison technique entre les conceptions d'onduleurs On-line et Line-interactive

Par Jeffrey Samstad
Michael Hoff

Livre blanc n° 79

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Résumé de l'étude

Les systèmes d'onduleurs inférieurs à 5 000 VA sont disponibles en deux conceptions de base : Line-interactive et on-line Double Conversion. Ce document décrit les avantages et les inconvénients de chaque topologie et fait référence à quelques concepts couramment méconnus concernant les exigences des applications du monde réel.

Introduction

La plupart des facteurs qui influencent la décision d'achat de tel ou tel onduleur sont évidents et facilement compréhensibles : durée d'autonomie de la batterie, coût, taille, fabricant, nombre de sorties, possibilités d'administration, etc. Mais il existe également des facteurs moins évidents et moins faciles à comprendre. L'un des plus incompris, et pourtant le plus sujet à discussion, est la **topologie**. De la topologie (conception interne) d'un onduleur dépend son fonctionnement dans des environnements divers.

Le choix de la bonne topologie peut s'avérer compliqué au vu de certaines topologies qui sont prétendues supérieures et absolument nécessaires aux applications à missions critiques. Ces prétentions émanent généralement des fabricants qui tentent de vendre leur technologie dite « supérieure ». Il devient alors difficile de prendre une décision en connaissance de cause en se basant uniquement sur de telles prétentions. Le but de ce document est d'exposer de façon objective les avantages et les inconvénients des deux topologies courantes : **Line-interactive** et **on-line Double Conversion**.

Aux extrémités inférieure et supérieure du spectre de puissance, les mérites relatifs de ces deux topologies sont évidents.¹ Au delà de 5 000 VA, l'onduleur Line-interactive s'est historiquement montré peu pratique à cause de sa grande taille et de son coût élevé. À l'extrémité inférieure, en dessous de 750 VA, l'onduleur on-line Double Conversion est rarement considéré : les autres topologies (dont Line-interactive) sont plus pratiques pour les charges plus faibles.

L'opposition entre la technologie on-line Double Conversion et Line-interactive concerne généralement la gamme de puissance entre 750 VA et 5 000 VA. Ici, les avantages fonctionnels et économiques d'une topologie par rapport à l'autre ne sont pas si clairs et dépendent des particularités de l'installation. Alors que la technologie Line-interactive est devenue la topologie la plus couramment fabriquée et déployée dans cette gamme de puissance, les avancées des technologies des semi-conducteurs et des méthodes de fabrication ont fait baisser le coût de la technologie on-line Double Conversion par rapport à la technologie Line-interactive. Le choix entre les deux topologies est alors plus difficile à faire que par le passé. Pour sélectionner la meilleure technologie dans cette gamme « de chevauchement », il est nécessaire de comprendre le compromis associé à chaque topologie.

¹ À très haute puissance - 200 000 VA et plus - les mérites relatifs des onduleurs **On-line double conversion** par rapport à ceux des onduleurs **On-line Delta conversion** font l'objet de discussions différentes. Voir le Livre blanc APC N° 1, « Les différents types d'onduleurs » pour obtenir une comparaison entre ces deux topologies On-line.

Compréhension de l'application

Avant de prendre une quelconque décision à propos de la technologie d'onduleur, il est important de comprendre les exigences de l'équipement à protéger et l'environnement dans lequel l'onduleur sera installé. La connaissance de ces exigences de base est essentielle pour prendre une décision éclairée au moment de choisir la typologie d'onduleur la plus adaptée à l'application.

Équipement informatique et courant alternatif : l'alimentation en mode commuté (SMPS)

L'électricité est généralement distribuée sous forme de courant alternatif (c.a.) par le secteur et les générateurs de secours. La tension c.a. alterne entre le positif et le négatif (dans l'idéal, sous forme d'onde sinusoïdale parfaite), en passant par zéro volt deux fois par cycle. Cela n'est pas visible à l'œil nu, mais une ampoule branchée sur le secteur vacille 100 ou 120 fois par seconde (pour un cycle c.a. de 50 ou 60) lorsque la tension passe par le point zéro et change de polarité.

Comment les équipements informatiques utilisent-ils l'électricité du secteur pour alimenter leurs circuits de traitement ? « S'éteignent-ils » également 100 fois ou plus par seconde à chaque changement de polarité ? Il est évident qu'il y a un problème que l'équipement informatique doit résoudre. Tous les équipements modernes résolvent ce problème grâce à une alimentation en mode commuté (SMPS).² Une SMPS convertit d'abord la tension c.a. avec l'ensemble de ses composants non idéaux (pics de tension, distorsion, variations de fréquence, etc.) en courant plat c.c. (courant continu). Ce procédé charge un élément de stockage d'énergie, appelé **condensateur**, qui se situe entre l'entrée c.a. et le reste de l'alimentation. Ce condensateur est chargé par l'entrée c.a. en salves deux fois par cycle c.a. lorsque l'onde sinusoïdale est à son maximum (pics positif et négatif) et il se décharge à la vitesse requise par les circuits de traitement informatique en aval. Le condensateur est conçu pour absorber ces impulsions normales de courant alternatif ainsi que les pointes de puissance irrégulières, et ce de façon continue pendant toute sa durée de vie. Ainsi, à la différence de l'ampoule qui vacille, l'équipement informatique fonctionne sur un flux constant de courant continu et non sur le courant alternatif pulsé du réseau secteur.

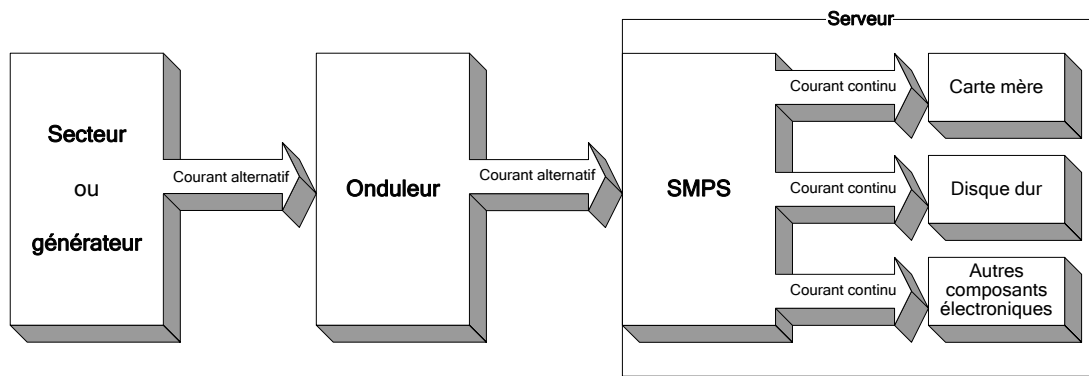
Mais cela ne s'arrête pas là. Les circuits microélectroniques requièrent des tensions c.c. très faibles (3,3 V, 5 V, 12 V, etc.), mais la tension du condensateur évoqué peut aller jusqu'à 400 V. La SMPS convertit également ce courant continu haute tension en sorties c.c. de faible tension strictement régulées.

² Le « mode commuté » se réfère à une fonction de circuits internes de l'alimentation qui n'a pas de rapport avec ce sujet.

En réduisant cette tension, la SMPS effectue une autre fonction importante : elle assure une **isolation galvanique**. L'isolation galvanique est une séparation physique dans le circuit qui a deux objectifs. Son premier objectif est la sécurité, c'est-à-dire la protection contre l'électrocution. Son second objectif est la protection contre les dégâts et les dysfonctionnements de l'équipement en raison du bruit ou de la tension de mode commun (basée sur la terre). Pour en savoir plus sur la mise à la terre et sur la tension de mode commun, consultez les livres blancs APC n° 9, « Common Mode Susceptibility of Computers » et n° 21, « Neutral Wire Facts and Mythology ».

La figure 1 montre l'exemple d'un élément d'équipement informatique (ici un serveur) protégé par un onduleur. Les composants internes du serveur, dont la SMPS, sont également représentés.

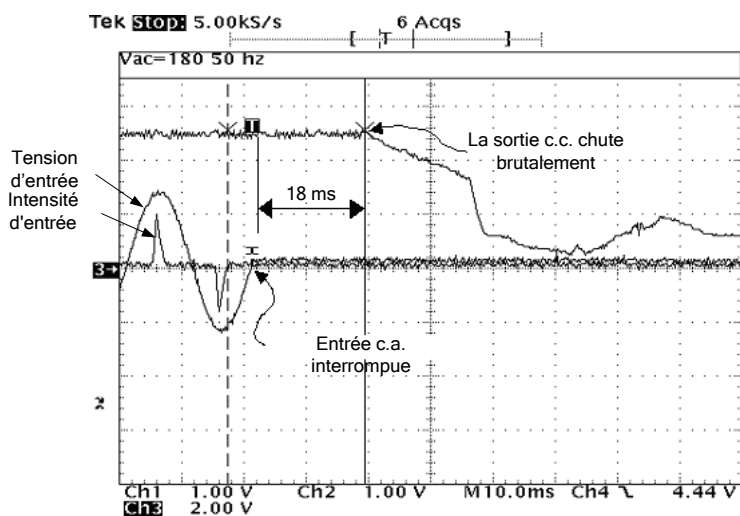
Figure 1 – Application type d'un onduleur : onduleur et serveur



De la même manière que la SMPS « chevauche » les intervalles entre les pics de l'onde sinusoïdale d'entrée c.a., elle surmonte également d'autres anomalies et brèves interruptions d'alimentation c.a. Il s'agit d'une fonction importante pour les constructeurs d'équipement informatique, car ils souhaitent que leur équipement fonctionne même en l'absence d'onduleur. Aucun fabricant d'équipement informatique ne souhaite mettre sa réputation en jeu en termes de qualité et de performances à cause d'une alimentation qui ne peut pas tolérer la moindre petite anomalie sur le secteur c.a. Cela se vérifie particulièrement pour l'équipement informatique et de réseau haut de gamme, qui est construit en général avec des alimentations de qualité supérieure.

Afin de démontrer cette capacité de chevauchement, une alimentation d'ordinateur type a été lourdement chargée, puis son entrée c.a. a été supprimée. La sortie d'alimentation a été surveillée afin de déterminer combien de temps la tension de sortie acceptable allait être assurée après la perte d'entrée c.a. Les résultats sont représentés dans la figure 2. Les formes d'ondes affichées correspondent à la tension d'entrée, à l'intensité d'entrée et à la tension de sortie c.c. de l'alimentation.

Figure 2 – Chevauchement de l'alimentation



Trace supérieure : sortie CC basse tension de l'alimentation

Traces centrales : courant et tension en entrée

Une fois le courant c.a. évacué, la sortie d'alimentation d'un ordinateur lourdement chargé chute brutalement, mais uniquement au bout d'un certain temps.

La *tension* d'entrée avant sa suppression est représentée par la courbe sinusoïdale sur la gauche de la figure 2. L'*intensité* d'entrée (crête située sous la courbe de tension lisse) se compose d'une brève impulsion au niveau du pic positif de la tension d'entrée et d'une autre brève impulsion au niveau du pic négatif. C'est uniquement lors de ces impulsions de courant que le condensateur de la SMPS est chargé. Le reste du temps, l'alimentation est extraite du condensateur afin d'être fournie aux circuits de traitement.³ La tension c.c. à la sortie de la SMPS est représentée par le tracé du haut sur la figure 2. Notez que la tension de sortie reste strictement régulée pendant 18 millisecondes après la suppression de l'entrée c.a. APC a testé diverses alimentations provenant de différents fabricants d'ordinateurs et d'autres équipements informatiques et a trouvé des résultats similaires. Si les alimentations sont chargées légèrement, le temps de chevauchement sera beaucoup plus long, car le condensateur sera déchargé plus lentement.

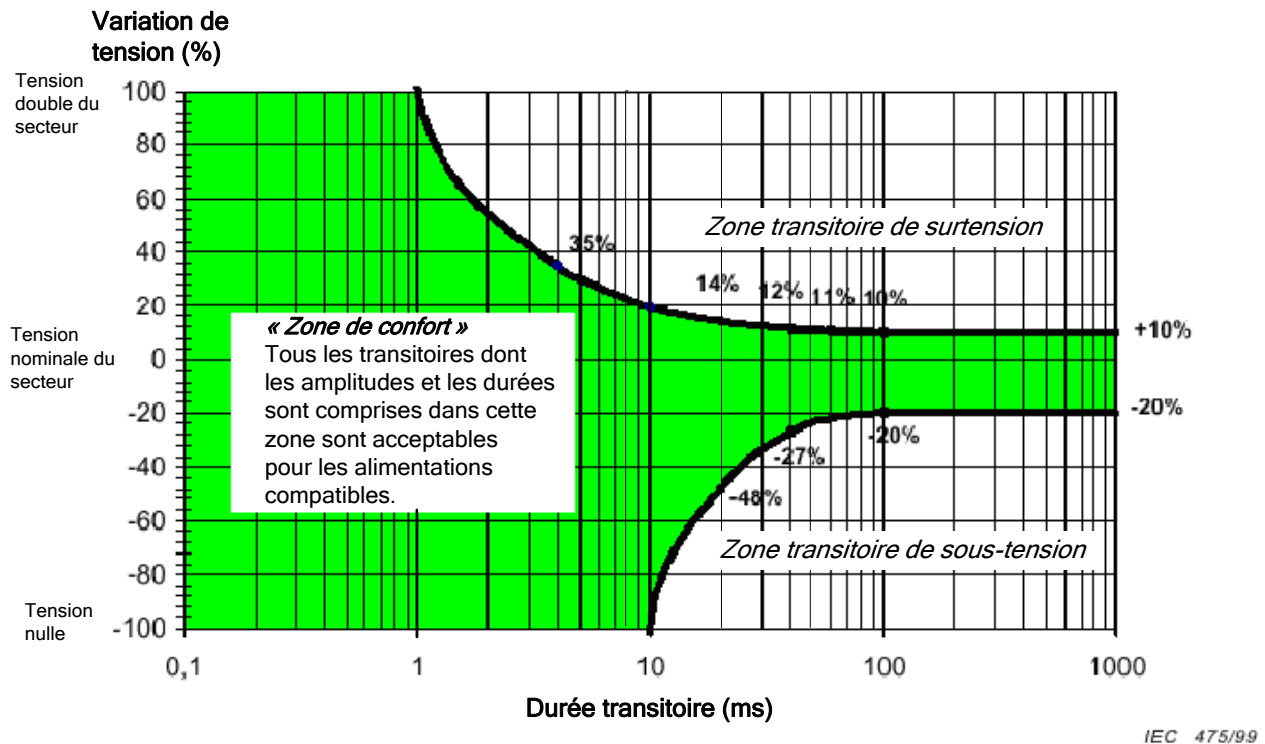
³ Certaines SMPS réalisent une correction du facteur de puissance (PFC) expliquée plus loin et extraient l'intensité d'entrée selon une onde sinusoïdale. Elles sont également équipées d'un condensateur haute tension qui effectue la même fonction de chevauchement.

Normes internationales pour la compatibilité des onduleurs avec les charges de SMPS

Nous avons vu qu'une SMPS doit surmonter de brèves interruptions de courant afin de pouvoir extraire le courant de la tension d'entrée c.a. sinusoïdale. Mais que signifie « brèves » ?

La figure 3 montre les spécifications de la norme internationale IEC 62040-3. Elle définit les limites de l'amplitude et de la durée des interruptions dans la tension de sortie de l'onduleur acceptables par une charge de SMPS. Comme le montre la forme de la « zone de confort » colorée, plus l'amplitude du transitoire est faible, plus sa durée de présence dans la sortie de l'onduleur est élevée. Notez que cette norme permet la présence *continue* d'une plage assez étendue de variations de tension (nominale de +10 % à -20 %). Autrement dit, la tension de sortie de l'onduleur peut varier au sein de cette plage pour une durée indéfinie, sans que cela nuise au fonctionnement de la SMPS ; la raison est que des normes similaires exigent pour les SMPS un chevauchement d'une plage d'anomalies de sortie encore plus grande que celle autorisée pour les sorties d'onduleur.⁴

Figure 3 – Selon la norme IEC 62040-3 : amplitude et durée des anomalies de tension c.a. acceptables pour la compatibilité avec les charges de SMPS.



Les interruptions de tension (« transitoires ») dont l'amplitude et la durée se trouvent dans la « zone de confort » verte sont acceptées dans les sorties d'onduleurs connectés à un équipement à SMPS, à l'exclusion de toutes les autres.

⁴ Les normes relatives à la SMPS, qui définissent l'éventail des anomalies acceptées par une SMPS sont les normes « ITI/CBEMA curve » et IEC 6100-1-11.

Selon la figure 3, les exigences de compatibilité pour un onduleur avec une tension nominale de sortie de 120 V AC sont les suivantes :

- Pour des durées jusqu'à 1 milliseconde, la tension de sortie de l'onduleur peut monter jusqu'à 240 V.
- Pour des durées jusqu'à 10 millisecondes, la tension de sortie de l'onduleur peut être de zéro !
- Pour des durées jusqu'à 100 millisecondes, des variations moins graves (que ce soit vers le haut ou vers le bas) peuvent être présentes. La durée acceptable dépend de la gravité de l'interruption.
- Pour des durées supérieures à 100 millisecondes (dont le fonctionnement en continu), la tension de sortie de l'onduleur doit se tenir entre 96 V et 132 V.

Dans la plupart des régions du monde, excepté dans les pays aux marchés émergents, l'alimentation électrique est relativement stable. Lors d'une journée type, on observe des variations de tension ne dépassant pas 5 % en dessus ou en dessous de la tension nominale (des variations tout à fait acceptables comme le montre la figure 3). Une SMPS peut extraire du courant d'une source c.a. avec ces caractéristiques, c'est pourquoi elle fournit la robustesse nécessaire pour créer une interface fiable avec la tension secteur type.

En résumé, les SMPS présentent les avantages suivants :

- Elles peuvent accepter des variations étendues de tension d'entrée et de fréquences sans baisses de performances.
- Elles sont munies d'une isolation galvanique intégrée entre leur entrée c.a. et leurs sorties c.c., ce qui élimine le besoin d'une isolation de mode commun en amont (du neutre à la terre).
- Elles peuvent accepter une quantité appréciable de distorsion de tension d'entrée sans que cela nuise à la vie ou à la fiabilité du service.
- Elles ont un temps de « chevauchement » intégré afin de tolérer les brèves interruptions d'alimentation.

Mythe et réalité

MYTHE : Les équipements critiques exigent un temps de transfert nul de l'onduleur. Ceci, par exemple, pour éviter le blocage et / ou la perte de paquets dans les commutateurs de réseau.

RÉALITÉ : Les SMPS sont des alimentations électriques que l'on trouve quasiment dans tous les équipements critiques. Elles doivent respecter un temps de « chevauchement » de 10 milli-secondes ou plus pour être conformes aux standards internationaux (voir la figure 3). Tout équipement électronique ne respectant pas un temps de chevauchement est généralement considéré comme inférieur quant à sa conception, ou très rare. Ce sont la plupart du temps des applications spécialisées (c'est-à-dire que ce ne sont ni des ordinateurs ni des équipements informatiques).

Comprendre les différentes options d'onduleurs

Le livre blanc APC n° 1, « Les différents types d'onduleurs », donne une description des 5 topologies d'onduleurs utilisés aujourd'hui, ainsi que leurs caractéristiques de performances. Ces typologies sont les suivantes :

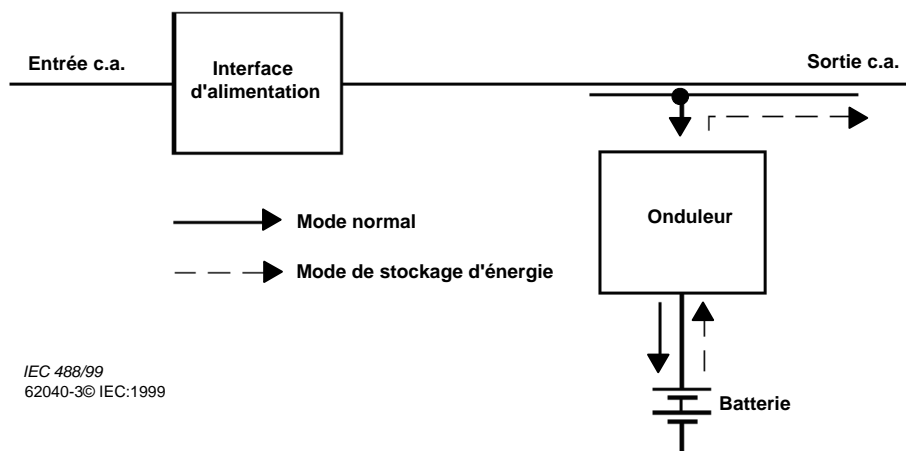
- Stand-by
- Line-interactive
- Standby-ferro
- On-line Double Conversion
- On-line Delta Conversion

Dans la gamme de puissance de 750 VA à 5 000 VA, presque tous les onduleurs vendus pour une utilisation dans des applications informatiques modernes sont soit de topologie Line-interactive, soit on-line Double Conversion. Les autres topologies sont peu communes dans cette gamme pour des raisons qui sortent du cadre de ce document.

Onduleur Line-interactive

Un onduleur **Line-interactive** conditionne et régule l'alimentation c.a. du secteur, en utilisant généralement un seul convertisseur d'alimentation principal. La figure 4 montre la description standard de cette topologie selon la norme IEC 62040-3.

*Figure 4 – Topologie d'onduleur Line-interactive, selon la norme IEC 62040-3
Diagramme représentant une interface d'alimentation et un unique bloc de conversion principal*



Lorsque l'entrée c.a. est présente, le bloc « interface d'alimentation » de la figure 4 filtre l'alimentation c.a., supprime les pics de tension, et fournit une régulation de tension suffisante pour un fonctionnement convenable avec l'ensemble des spécifications présentées plus haut. Ce procédé est le plus souvent mis en œuvre avec des composants de filtre passif et un transformateur régulateur. Le convertisseur d'alimentation principal (le bloc « onduleur ») redirige une partie de l'alimentation c.a. pour que les batteries restent pleinement chargées tandis que la tension c.a. on line est présente. Ceci nécessite généralement moins de 10 % de la puissance nominale de l'onduleur, afin que les composants restent frais dans ce mode de fonctionnement. Par exemple, le bloc d'un onduleur Line-interactive de 3000 Watts fonctionne seulement avec 300 Watts (1/10 de sa capacité) ou moins pendant le chargement de ses batteries. De nombreux composants dimensionnés pour un fonctionnement en pleine charge peuvent opérer juste au dessus de la température ambiante extérieure lorsque la tension c.a. est présente (le mode de fonctionnement le plus courant). Lorsque la tension de ligne c.a. chute hors de la gamme d'entrée de l'interface d'alimentation, l'onduleur alimente la sortie c.a. avec l'alimentation de la batterie. La gamme de tension d'entrée de l'interface d'alimentation se tient dans une fourchette fixe, généralement de -30 % à +15 % de la tension nominale. Par exemple, un onduleur Line-interactive à tension nominale de sortie de 120 V maintient sa sortie entre 107 V et 127 V tandis que l'entrée varie entre 84 V et 138 V.

Le fonctionnement d'un onduleur Line-interactive présente un fait subtil mais important : tandis qu'il conditionne la tension qui alimente la charge, il n'altère pas la forme de l'onde du courant consommé par la charge. Donc, si la charge est équipée d'une SMPS avec correction du facteur de puissance (PFC),⁵ l'onduleur Line-interactive ne déforme ni n'interfère avec cette correction. Si la charge de la SMPS n'est pas équipée d'une correction du facteur de puissance et extrait son courant par pics (comme le montre la figure 2), l'onduleur Line-interactive n'altérera ni ne « corrigera » cette forme d'onde.

En théorie, le petit nombre de composants et le fonctionnement frais du convertisseur d'alimentation (le bloc « onduleur » de la figure 4) sont deux éléments qui contribuent à une longue vie et une haute fiabilité. En pratique cependant, la fiabilité est généralement déterminée par d'autres facteurs décrits plus bas dans la section [Considérations sur la fiabilité](#).

Grâce à son faible coût et sa grande durée de vie, l'onduleur Line-interactive est utilisé avec succès dans des millions d'installations informatiques à travers le monde.

⁵ Un dispositif équipé d'une correction du facteur de puissance (PFC) extrait le courant de la sortie c.a. en suivant une onde sinusoïdale lisse et non par impulsions. La figure 2 illustre une sortie non équipée d'une PCF.

Éléments à prendre en compte (Line-interactive) :

Dans les pays en voie de développement ou dans les régions à défi d'infrastructure, où la tension de secteur de ligne est instable, fluctue beaucoup ou est très perturbée, un onduleur Line-interactive pourrait faire appel à la batterie une ou deux fois par jour, ou même plus fréquemment. En effet, la conception Line-interactive présente une certaine limite quant à sa capacité à conserver d'importantes fluctuations de tension et de lourdes perturbations provenant de la charge, à moins d'être déconnectée de l'alimentation secteur et de faire un transfert vers l'alimentation de la batterie. Même si l'onduleur en attente active fournit une tension de sortie contenue dans les limites de l'IEC (figure 3) aussi longtemps que la puissance de la batterie reste faible, l'utilisation fréquente de la batterie réduit sa capacité, ce qui réduit le temps de fonctionnement disponible en cas de coupure prolongée. De plus, même si les batteries ne sont pas déchargées jusqu'à épuisement, elles devront plus fréquemment être remplacées en cas d'utilisation fréquente.

Avantages de la topologie Line-interactive :

- Consommation d'électricité plus faible (fonctionnement moins coûteux). Plus efficace car une conversion de puissance moindre est mise en œuvre lorsque l'entrée secteur est présente.
- Fiabilité théorique plus élevée. Moins de composants et températures de fonctionnement plus faibles. (Voir plus loin la section [Considérations sur la fiabilité.](#))
- Moins de charge de chaleur sur les équipements. L'onduleur produit moins de chaleur.

Éléments à surveiller :

L'onduleur Line-interactive peut s'avérer un choix inapproprié pour des installations dans lesquelles :

- L'alimentation secteur est instable ou très perturbée, car l'alimentation des batteries serait trop fréquemment utilisée pour que l'onduleur respecte les spécifications.
- La correction du facteur de puissance (PFC) est nécessaire et l'équipement de charge ne met pas cette fonction en œuvre.

Mythe et réalité

MYTHE : Les onduleurs Line-interactive ne conditionnent pas l'alimentation. Des bruits et des surtensions se dégagent des alimentations électriques.

RÉALITÉ : Les appareils Line-interactive de haute qualité sont équipés d'un dispositif de suppression des bruits et des surtensions intégré afin qu'ils conservent des niveaux de sortie acceptables, pour que la fiabilité de la charge ne soit pas affectée.

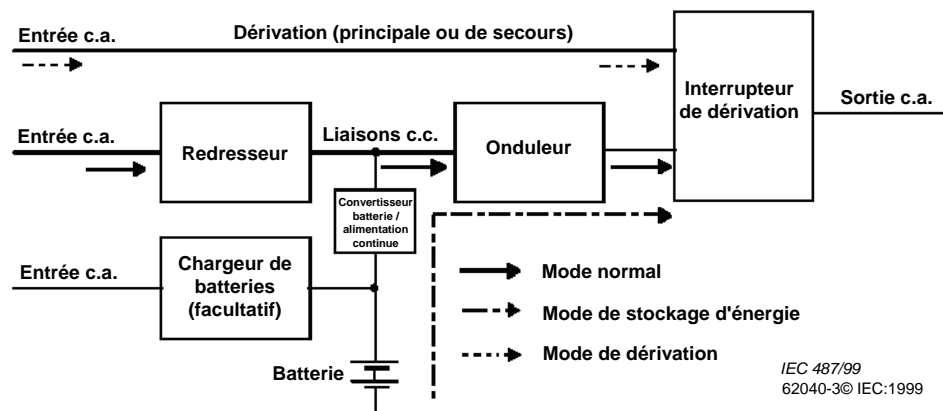
Onduleur on-line Double Conversion

Comme son nom l'indique, un **onduleur on-line Double Conversion** convertit l'alimentation deux fois. En premier lieu, le courant alternatif du secteur, avec toutes ses pointes de tension, perturbations et autres anomalies, est converti en courant continu. Ceci est très similaire au fonctionnement d'une SMPS dans un équipement informatique décrit plus haut. Tout comme la SMPS, un onduleur on-line Double Conversion utilise un condensateur pour stabiliser cette tension c.c. et pour stocker l'énergie extraite de l'entrée c.a. En second lieu, la tension c.c. est à son tour convertie en tension c.a. strictement régulée par l'onduleur. Cette sortie c.a. peut même avoir une fréquence différente de celle de l'entrée c.a., ce qui est impossible avec un onduleur Line-interactive. Toute la puissance fournie à l'équipement de charge passe par ce processus à double conversion lorsque l'entrée c.a. est présente.

Lorsque l'entrée c.a. sort du cadre d'une gamme spécifique, l'onduleur extrait la puissance de sa batterie de façon à ce que la sortie de l'onduleur ne soit pas modifiée. Dans de nombreuses conceptions on-line Double Conversion, la durée de cette transition à l'intérieur de l'onduleur entre l'entrée c.a. et la batterie est de plusieurs millisecondes. Là encore, c'est le condensateur de la « liaison c.c. » (voir la figure 5) qui fournit l'énergie stockée à l'onduleur pendant ces transitions. Ainsi, même en cas de brève interruption de l'alimentation fournie à la « liaison c.c. », la tension de sortie de l'onduleur reste stable et constante.

Dans les conceptions modernes, un circuit supplémentaire de chargement de batterie est presque toujours inclus dans la topologie. Un onduleur on-line Double Conversion suit donc généralement au moins trois étapes de conversion de l'alimentation. La figure 5 illustre cette topologie basée sur la norme IEC 62040-3.

*Figure 5 – Topologie d'onduleur on-line Double Conversion, selon la norme IEC 62040-3
Diagramme montrant quatre blocs de convertisseurs*



En plus d'effectuer une conversion du courant alternatif en courant continu, la section du redresseur fournit également une correction du facteur de puissance (PFC), c'est-à-dire qu'elle extrait le courant de la ligne c.a. en suivant une onde sinusoïdale lisse et non par impulsions (voir la figure 2 illustrant une alimentation d'entrée non équipée de PFC). La PFC « corrige » la forme de l'onde d'alimentation d'entrée, une quantité moindre de courant est donc extraite (incluant les réductions dans les hautes fréquences harmoniques). Ceci se produit même si l'équipement informatique alimenté par l'onduleur extrait le courant par impulsions (sans PFC). Voir le livre blanc APC n° 26 « Hazards of Harmonics and Neutral Overloads » pour obtenir plus d'informations sur la correction du facteur de puissance et sur les harmoniques neutres.

Pour un fonctionnement en pleine charge, la gamme de tensions d'entrée c.a. acceptables d'un onduleur on-line Double Conversion est similaire à celle d'un onduleur Line-interactive. Cependant, contrairement à la technologie Line-interactive, la technologie on-line Double Conversion peut fonctionner avec une tension d'entrée bien plus faible si l'onduleur n'est pas pleinement chargé. Pour un onduleur à double conversion type de 120 V, cela signifie qu'il pourrait être capable de fonctionner depuis l'alimentation c.a. à de très faibles charges, même si la tension d'entrée est à 50 % de la tension nominale (60 V). Bien que cet attribut de la topologie On-line soit intéressant, il est rarement utile (en dehors des démonstrations), car les perturbations étendues de cette amplitude sont extrêmement rares, et dans la pratique, à cause des conditions de charges, elles sont variables.

Un onduleur On-line, quelle que soit sa capacité de puissance, est généralement plus petit qu'un onduleur Line-interactive. Les composants qu'il contient, même s'ils sont plus nombreux (environ trois fois plus), sont plus réduits. Ceci est particulièrement vrai pour les unités de plus haute puissance, à partir de 2200 VA, et cela se vérifie toujours si on fait la comparaison avec un onduleur Line-interactive d'une durée d'autonomie extensible.

La topologie On-line comprend généralement un circuit de dérivation utilisé en cas de surcharge importante ou en cas de problème dans un des circuits à double conversion. Les transitions entre le circuit de dérivation et l'onduleur entraînent souvent une coupure de sortie pendant quelques millisecondes, tout comme les transitions entre un onduleur Line-interactive et une batterie. Par conséquent, de nombreuses unités On-line se reposent sur la SMPS pour surmonter ces perturbations jusqu'à la sortie de l'onduleur. Comme pour les unités Line-interactive, cela ne pose aucun problème tant que l'interruption de la sortie de l'onduleur reste dans le cadre des spécifications présentées dans la figure 3.

Éléments à prendre en compte (On-line Double Conversion)

Les étapes de conversion de l'alimentation On-line, connues pour fournir en continu une tension de sortie strictement régulée, peuvent supporter des charges au-delà de leur pleine puissance nominale. Leur coût est cependant associé à leurs performances accrues.

Un onduleur on-line Double Conversion contient beaucoup plus de composants qu'un onduleur type Line-interactive à cause de ses multiples étapes d'alimentation. Ces composants traitent en continu l'alimentation extraite par l'équipement de charge, donc leurs températures sont généralement plus élevées que celles des composants d'un onduleur Line-interactive lorsque l'alimentation d'entrée est présente. En théorie, le fonctionnement constant et les températures plus élevées réduisent la fiabilité des composants de l'onduleur. En pratique cependant, la fiabilité est généralement déterminée par d'autres facteurs décrits dans la section [Considérations sur la fiabilité](#).

Mythe et réalité

MYTHE : Les onduleurs On-line offrent une meilleure protection contre le bruit du mode commun (CM).

RÉALITÉ : Même s'il est possible d'intégrer une isolation galvanique dans les topologies On-line et Line-interactive, elles utilisent généralement toutes deux des composants passifs pour réduire la tension de CM. Aucune de ces deux topologies n'offre un avantage fondamental dans ce domaine. Les SMPS sont déjà équipées d'une isolation galvanique, l'isolation externe est donc inutile. Consultez les livres blancs APC n° 9 et n° 21 pour plus d'informations.

Un autre facteur à prendre en compte est l'énergie supplémentaire nécessaire au fonctionnement d'un onduleur On-line Double Conversion au fil du temps. Celui-ci fonctionne en continu avec une efficacité de 85 % à 92 %, selon sa conception particulière, contre 96 % à 98 % pour un onduleur Line-interactive. Par exemple, un onduleur de 1000 W efficace à 90 % consommera en pleine charge une puissance de 100 W de façon constante. Ceci se traduit par une dépense supplémentaire d'électricité d'environ 59 euros par an (en moyenne). En plus de ce coût d'électricité, la chaleur produite par ces 100 W doit être relâchée dans l'environnement. Ceci implique des coûts supplémentaires de refroidissement, qui sont variables en fonction de l'efficacité du système de refroidissement particulier. Ceci peut paraître peu, mais si l'on considère l'ensemble des pertes des nombreux onduleurs présents dans l'entreprise, ou même la consommation d'énergie totale de la vie d'un seul onduleur, c'est un facteur qui devient significatif en ce qui concerne le coût total de possession de l'onduleur. En comparaison, un onduleur Line-interactive à charge similaire entraînera un coût énergétique trois fois plus bas par alimentation de charge.

Avantages de l'onduleur on-line Double Conversion :

- Fonctionne moins souvent sur batterie lorsque la tension d'entrée est très perturbée ou largement fluctuante
- Correction du facteur de puissance (PFC) fournie quel que soit le type de charge
- Plus compact et plus léger, en particulier pour des niveaux de puissance élevés
- Peut réguler la fréquence de sortie, et même réaliser une « conversion » de puissance de 50 Hz à 60 Hz (et vice versa)

On pourrait dire que la tension de sortie c.a. strictement régulée est un *avantage* de la topologie On-line. Cependant, une SMPS ne nécessite pas de tension c.a. strictement régulée, car elle-même fournit une régulation de la tension, comme décrit plus haut dans ce document.

Éléments à surveiller :

- La technologie on-line Double Conversion contient plus de composants qui fonctionnent en continu à des températures plus élevées et, toutes choses égales par ailleurs, ont une durée de vie moindre que les pièces similaires de la technologie Line-interactive.
- La technologie on-line Double Conversion consomme plus d'électricité que la technologie Line-interactive car elle convertit et reconvertit constamment l'alimentation de l'entrée vers la sortie lorsque l'entrée c.a. est présente.
- La technologie on-line Double Conversion génère plus de chaleur, laquelle est relâchée dans l'environnement informatique. Cette chaleur doit être efficacement éliminée afin de réduire les effets nocifs sur la durée de vie des autres systèmes, et même des batteries de l'onduleur.

Mythe et réalité

MYTHE : Une régulation plus stricte de la tension améliore les performances et la fiabilité des équipements informatiques.

RÉALITÉ : Toutes les SMPS convertissent la tension d'entrée c.a. (avec ses pics et ses déformations) en courant continu stable. Le c.c. est alors utilisé pour générer une sortie c.c. bien régulée pour toutes les charges des équipements informatiques. Les conditions de la ligne d'entrée et leur gamme de puissance nominale n'affectent pas la qualité des sorties de SMPS ni la performance des équipements informatiques. Sinon, pourquoi les SMPS se verraient-elles imprimer cette gamme sur leur châssis ?

Considérations sur la fiabilité

Certains aspects de la conception de ces deux topologies influencent en théorie leur durée de vie et leur fiabilité. Pour la technologie Line-interactive, le petit nombre de composants et l'opération rafraîchie de l'étape principale de l'alimentation ont tendance à *augmenter* la durée de vie et la fiabilité. Pour la technologie on-line Double Conversion, le fonctionnement en continu et les températures plus élevées ont tendance à les *diminuer*.

En pratique cependant, la fiabilité est généralement déterminée par la façon dont le fabricant conçoit et construit l'onduleur, et par la qualité des composants utilisés, quelle que soit la topologie. La qualité dépend du fournisseur, on trouve par conséquent des conceptions on-line Double Conversion de grande qualité, et des conceptions Line-interactive de faible qualité, et vice versa.

Récapitulatif de la comparaison

Le tableau suivant récapitule les avantages et inconvénients importants des deux topologies d'onduleurs, Line-interactive et on-line Double Conversion.

Tableau 1 – Comparaison des topologies Line-interactive et on-line Double Conversion

TOPOLOGIE	Fiabilité	Coût total de possession	Entrée	Sortie	Taille / Poids
Line-interactive	<p>+</p> <p>Moins de composants</p> <p>Température de fonctionnement plus basse</p>	<p>+</p> <p>Coût initial moindre (moins de composants)</p> <p>Coût de fonctionnement moindre (moins d'électricité)</p>	<p>-</p> <p>Pas de PFC</p> <p>Une tension extrêmement déformée peut nécessiter un usage fréquent de la batterie</p>	<p>+ / -</p> <p>La fréquence de sortie varie à l'intérieur d'une plage configurable</p>	<p>-</p> <p>Généralement plus grand / plus lourd</p>
On-line Double Conversion	<p>-</p> <p>Nombreux composants</p> <p>Température de fonctionnement plus élevée</p>	<p>-</p> <p>Coût initial plus élevé (plus de composants)</p> <p>Coût de fonctionnement plus élevé (électricité et refroidissement)</p>	<p>+</p> <p>PFC</p> <p>Accepte les déformations extrêmes de tension sans avoir recours à la batterie</p>	<p>+</p> <p>Sortie fixée sur une fréquence configurable</p>	<p>+</p> <p>Généralement plus petit / plus léger, en particulier pour des niveaux de puissance plus élevés</p>

Conclusions

Dans la gamme de puissance entre 750 VA et 5 000 VA, les deux types d'onduleurs protègent de façon adéquate les équipements informatiques des perturbations de l'alimentation. Le choix d'une topologie repose alors principalement sur les spécificités de l'application du client.

Le coût initial, les dépenses de fonctionnement, la génération de chaleur et la fiabilité sont les éléments principaux à prendre en compte pour toute application, c'est pourquoi le choix par défaut pourrait être la technologie Line-interactive. Cette typologie est en fait devenue un facteur d'efficacité et de fiabilité des environnements informatiques types.

Dans certaines circonstances, cependant, la technologie on-line Double Conversion peut être un choix plus judicieux. En particulier, pour les zones géographiques où l'alimentation secteur est très déformée et / ou présente des variations de tension extrêmes, un onduleur on-line Double Conversion a moins recours à la batterie pour maintenir une sortie appropriée. Un usage moins fréquent de la batterie préserve sa capacité à traiter les coupures prolongées ainsi que sa durée de vie. De plus, la réduction des coûts associés au remplacement d'une batterie peut compenser l'avantage du coût d'acquisition et de fonctionnement plus bas d'un onduleur Line-interactive. D'autres situations moins courantes pouvant bénéficier d'un onduleur on-line Double Conversion sont celles qui nécessitent une correction du facteur de puissance (PFC), une taille physique moindre, une conversion de fréquence, comme certains types d'équipements médicaux ou d'instrumentation.

A propos des auteurs :

Jeffrey Samstad est ingénieur en chef de la ligne de produit Smart-UPS RT chez APC. Titulaire d'un diplôme en génie électrique, il dirige depuis 14 ans des équipes de concepteurs d'onduleurs et travaille sur de nombreuses architectures d'onduleurs.

Michael Hoff est titulaire d'une maîtrise en génie électrique et systèmes d'alimentation, obtenu à l'université Northeastern. Il dirige un groupe de recherche en nouvelles technologies pour American Power Conversion. Durant ses 16 années passées chez APC, il a développé des alimentations ininterrompues et des architectures d'onduleurs, et a dirigé des projets de développement de produits, des équipes, et des groupes aux États-Unis et à l'étranger.