

# Les différents types d'onduleurs

## Livre blanc n°1

Revision 6

par Neil Rasmussen

### > Résumé de l'étude

Il règne beaucoup de confusion sur le marché concernant les différents types d'onduleurs et leurs caractéristiques. Nous allons décrire chacun d'eux, expliquer les applications pratiques qui leur correspondent et dresser la liste de leurs avantages et inconvénients. Grâce à ces informations, il sera possible de choisir le type d'onduleur le mieux adapté à chaque situation.

### Table des matières

*cliquez sur une section pour y accéder directement*

Introduction	2
Types d'onduleurs	2
Récapitulatif des types d'onduleurs	7
Types d'onduleurs commercialisés	7
Conclusion	9
Ressources	10

## Introduction

La multitude de types d'onduleurs et de caractéristiques sème souvent la confusion dans le secteur des centres de données. Par exemple, on pense communément qu'il n'existe que deux types d'onduleurs, les onduleurs standby et les onduleurs on-line. Ces deux appellations très répandues ne suffisent pas à décrire les nombreux onduleurs disponibles. Lorsque les différents types d'onduleurs sont clairement identifiés, de nombreux malentendus sont dissipés. Le type d'onduleur désigne son principe de fonctionnement. Un grand nombre de fournisseurs fabriquent des modèles présentant des conceptions ou des types similaires, mais ayant des performances très différentes.

Ce document traite des conceptions les plus courantes et explique comment chaque type fonctionne. Vous pourrez ainsi identifier et comparer les systèmes.

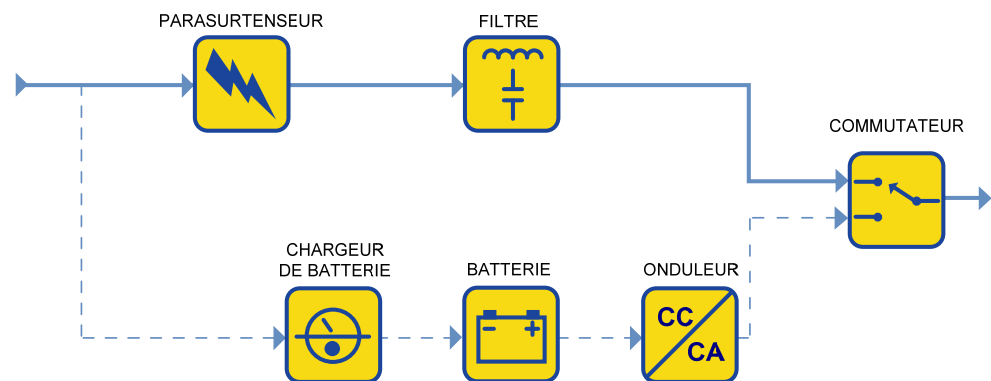
## Types d'onduleurs

Il existe plusieurs types de conceptions pour le déploiement des onduleurs, chacune présentant des caractéristiques de performances distinctes. Voici les conceptions les plus répandues :

- standby
- line interactive
- standby-ferro
- double conversion on-line
- delta conversion on-line

### L'onduleur standby

L'onduleur standby est le type le plus fréquemment utilisé pour les micro-ordinateurs. Dans le diagramme illustré à la **Figure 1**, le commutateur de transfert (Transfer Switch) est réglé pour utiliser l'entrée secteur filtrée comme source d'alimentation principale (ligne continue) et commuter sur la batterie / mutateur comme source d'alimentation de secours si la source principale fait défaut. Lorsque cela se produit, le commutateur de transfert (Transfer Switch) doit basculer l'équipement sur la source d'alimentation de secours batterie / mutateur (ligne en pointillé). Le mutateur (Inverter) ne se déclenche que lorsque l'alimentation fait défaut, d'où son nom « standby ». Cette conception se révèle très efficace, compacte et très abordable financièrement. Couplés à des filtres et à un surtenseur, ces systèmes filtrent correctement les parasites et suppriment les surtensions.



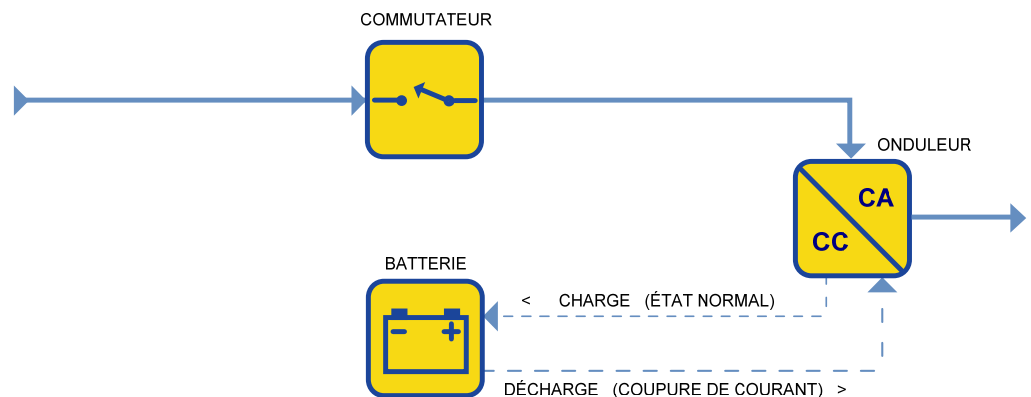
**Figure 1**  
Onduleur standby

## L'onduleur line interactive

L'onduleur line interactive, représenté à la **Figure 2**, est la solution la plus fréquemment utilisée pour les PME, les serveurs Web et serveurs de départements. Avec cette architecture, le convertisseur batterie / alimentation secteur (Mutateur) est toujours connecté à la sortie de l'onduleur. En inversant le fonctionnement lorsque la tension d'alimentation secteur est normale, on charge les batteries.

En cas de coupure d'alimentation, l'interrupteur de transfert se déclenche et l'alimentation de la batterie est transmise à la sortie de l'onduleur. Comme le mutateur est toujours opérationnel et raccordé à la sortie, cette conception assure un filtrage supplémentaire et réduit les transitoires de commutation contrairement à un onduleur standby.

De plus, la conception line interactive intègre généralement un transformateur régulateur. Il régule la tension en régulant les bornes du transformateur quand la tension d'entrée varie. La régulation de tension est un élément important en cas de faible tension, cela évite que l'onduleur ne passe sur batteries et n'éteigne la charge. Ce recours plus fréquent aux batteries risque de les user prématurément. Toutefois, le mutateur peut également être conçu pour qu'en cas de défaillance, l'alimentation circule toujours entre l'entrée et la sortie AC de l'onduleur, ce qui élimine le risque de point de défaillance unique (Single Point of Failure) et fournit deux voies d'alimentation indépendantes. Du fait de leur rendement, de leur encombrement réduit, de leur excellente fiabilité et de leur coût modique, allié à la capacité d'assurer une protection contre les tensions faibles ou élevées, c'est le type d'onduleur le plus répandu dans la gamme 0,5 - 5 kVA.



**Figure 2**

Onduleur line interactive

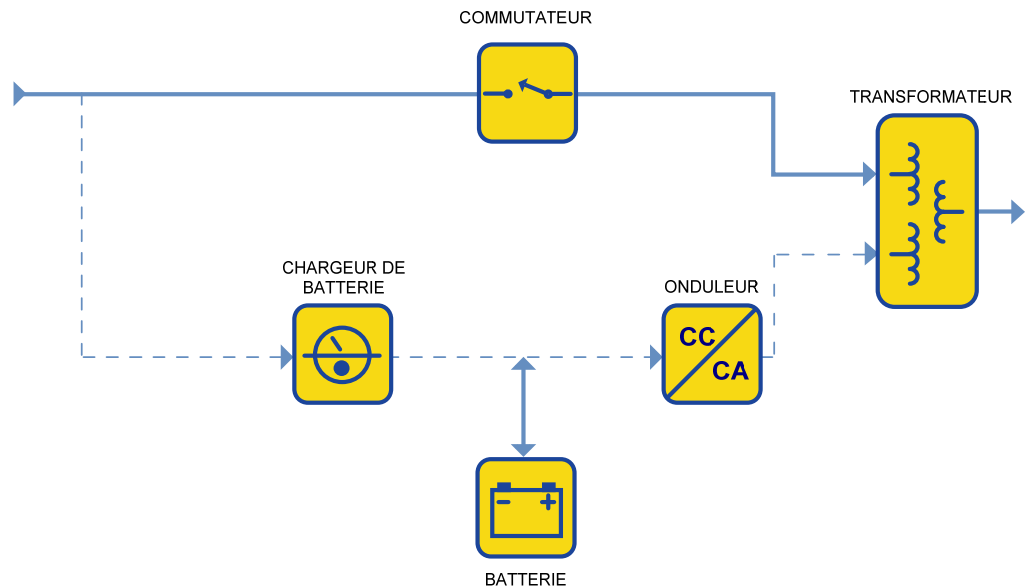
## L'onduleur standby-ferro

L'onduleur standby-ferro était autrefois l'onduleur le plus répandu dans la gamme 3 - 15 kVA. Sa conception repose sur un transformateur spécial de saturation qui possède trois enroulements (connexions électriques). La première connexion électrique provient de l'entrée secteur, passe par un commutateur et le transformateur pour parvenir jusqu'à la sortie. En cas de coupure d'alimentation, le commutateur s'ouvre et le mutateur prend le relais.

Dans une configuration standby-ferro, le mutateur est en réserve, puis il est mis sous tension en cas de coupure d'alimentation et lorsque le commutateur s'ouvre. Le transformateur dispose d'une capacité « ferro-résonante » spéciale qui fournit une régulation limitée de la tension et lisse l'onde de sortie. L'isolation contre les régimes transitoires de l'alimentation secteur assurée par le transformateur standby-ferro constitue un des meilleurs filtres existants. Toutefois, le transformateur standby-ferro proprement dit génère des transitoires et des distorsions de tension importantes qui sont parfois pires qu'un mauvais raccordement secteur. Même s'il s'agit d'un onduleur autonome au plan de la conception, l'onduleur standby-ferro dégage beaucoup de chaleur du fait du mauvais rendement de son transformateur standby-ferro. Ces transformateurs sont également plus imposants qu'un transformateur

classique. C'est pourquoi les onduleurs standby-ferro sont généralement volumineux et lourds.

Les onduleurs standby-ferro sont souvent représentés comme des onduleurs on-line, même s'ils sont équipés d'un commutateur. L'onduleur fonctionne comme dispositif de secours et il réalise un transfert en cas de coupure d'alimentation du secteur. La **Figure 3** illustre la technologie d'onduleur standby-ferro.



**Figure 3**

Onduleur standby-ferro

La fiabilité et l'excellent filtrage de ligne sont les atouts de cette solution. Toutefois, elle offre un rendement médiocre et se révèle instable lorsqu'on l'utilise avec certains groupes électrogènes et certains ordinateurs récents à facteur de puissance corrigé, ce qui explique la baisse de popularité de cette solution.

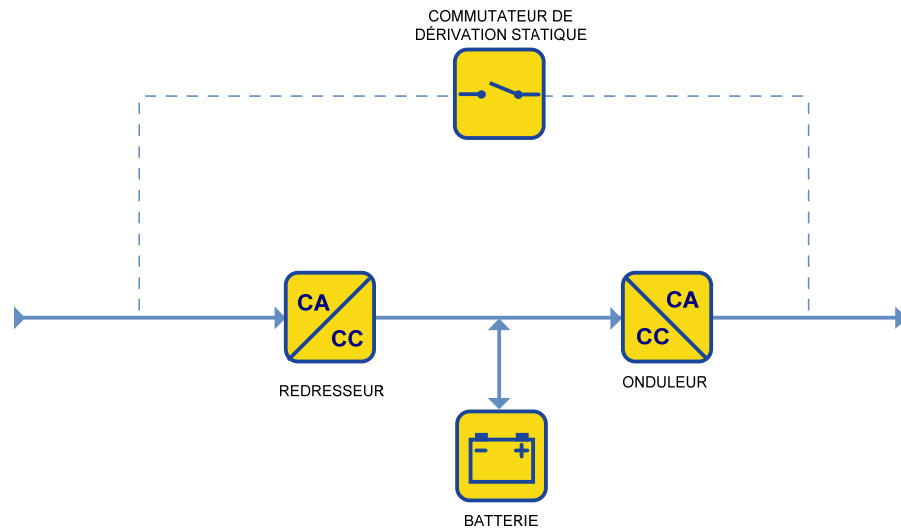
La principale raison du déclin des onduleurs standby-ferro tient au fait qu'ils sont intrinsèquement instables lorsqu'on les couple à un ordinateur récent. Tous les grands serveurs et routeurs utilisent des « alimentations à facteur de puissance corrigé » et reçoivent en entrée un courant sinusoïdal, comme une lampe à incandescence. Cette consommation fluide de courant se fait au moyen de condensateurs qui « précèdent » la tension administrée, alors que les onduleurs standby-ferro utilisent de gros transformateurs possédant des caractéristiques inductives, c'est-à-dire qu'elles suivent la tension. La combinaison de ces deux éléments constitue ce qu'on appelle un circuit « à réservoir » (tank circuit). L'introduction de la résonance dans un circuit « à réservoir » (tank circuit) peut entraîner des courants élevés qui compromettent le fonctionnement de l'équipement raccordé.

### L'onduleur on-line double conversion

Il s'agit du type d'onduleur le plus répandu pour les puissances supérieures à 10 kVA. Le diagramme de l'onduleur on-line double conversion, représenté à la **Figure 4**, est le même que l'onduleur standby, la seule différence tient au fait que le chemin principal de l'alimentation passe pas le mutateur.

**Figure 4**

Onduleur on-line double conversion



Sur un onduleur on-line double conversion, la coupure de courant ne déclenche pas le commutateur, car l'alimentation d'entrée charge les batteries qui fournissent du courant au mutateur (Inverter). Par conséquent, en cas de coupure, le temps de transfert est nul.

Le chargeur de batterie et le mutateur (Inverter) convertissent tous les deux l'ensemble de la charge, ce qui réduit le rendement et dégage davantage de chaleur.

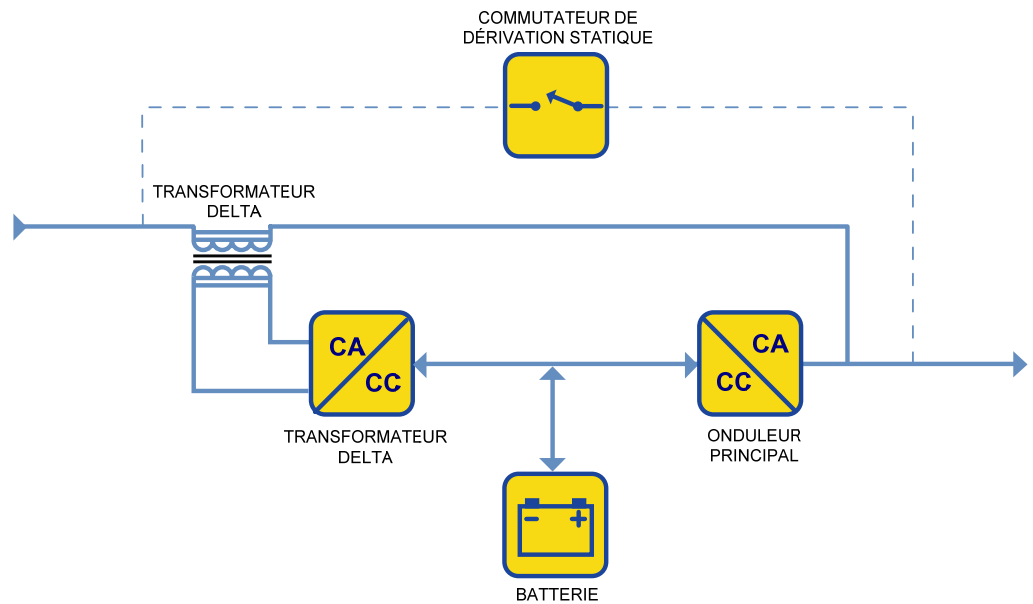
Cet onduleur assure un fonctionnement permanent quasiment idéal. Toutefois, l'usure constante des composants a une incidence plus importante sur la fiabilité que les autres solutions et l'énergie consommée du fait du rendement moyen représente une part significative du coût de l'onduleur calculé sur toute sa durée de vie. De plus, l'alimentation puisée par le gros chargeur de batterie est souvent non linéaire, ce qui peut poser des problèmes au niveau du câblage du bâtiment ou des groupes électrogènes de secours.

### L'onduleur on-line delta conversion

Cette conception d'onduleur, illustrée dans la **Figure 5**, est une technologie plus récente (10 ans) introduite pour remédier aux inconvénients de la conception on-line double conversion qui est proposée pour les puissances comprises entre 5 kVA et 1,6 MW. Comme avec un onduleur on-line double conversion, c'est l'onduleur delta conversion qui délivre toujours la tension pour l'équipement. Toutefois, le convertisseur delta contribue également à alimenter la sortie du mutateur. En cas de coupure ou de perturbation d'alimentation, cet onduleur fonctionne comme un onduleur on-line double conversion classique.

**Figure 5**

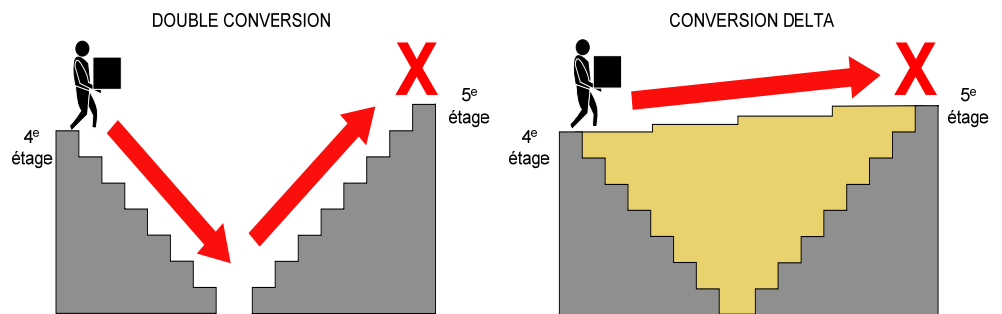
Onduleur on-line delta conversion



Pour bien comprendre le rendement énergétique de la solution delta, il suffit de voir l'énergie nécessaire pour livrer un colis du 4<sup>e</sup> au 5<sup>e</sup> étage d'un bâtiment, comme indiqué dans la **Figure 6**. La technologie de delta conversion économise de l'énergie en transportant le colis en parcourant directement la différence (delta) qui sépare le point de départ du point d'arrivée. L'onduleur on-line double conversion convertit l'alimentation vers la batterie, puis dans le sens inverse, alors que l'onduleur delta achemine des composants de la puissance de l'entrée vers la sortie.

**Figure 6**

Comparatif entre la double conversion et la delta conversion



Avec la solution à delta conversion, l'onduleur delta remplit une double mission. Tout d'abord, il régule la puissance électrique d'alimentation. Il reproduit ainsi une onde sinusoïdale, ce qui réduit les harmoniques rejetées vers le réseau électrique en amont. Cela garantit une compatibilité optimale entre le réseau électrique fournisseur de courant et le générateur, réduisant le dégagement de chaleur et l'usure du système de distribution de l'alimentation. La deuxième mission du convertisseur delta est de contrôler le courant d'alimentation pour réguler la charge de la batterie.

L'onduleur on-line delta conversion offre les mêmes caractéristiques de sortie qu'un onduleur on-line double conversion. Toutefois, les caractéristiques d'entrée sont souvent différentes. La technologie delta fournit une entrée avec facteur de puissance corrigé, contrôlé dynamiquement, sans recourir à des filtres externes comme on trouve couramment sur des solutions traditionnelles. Le principal atout est une réduction conséquente des pertes d'énergie. Cette régulation du courant d'alimentation fait que l'onduleur est compatible avec tous les groupes électrogènes, ce qui facilite le câblage et évite le recours à des groupes surdimensionnés. La

technologie on-line delta conversion est la seule technologie d'onduleur actuellement protégée par des brevets, c'est pourquoi peu de fabricants la proposent.

Quand les conditions sont stables, le convertisseur delta permet à l'onduleur de fournir une alimentation avec un rendement bien supérieur à celui d'une solution à double conversion.

## Récapitulatif des types d'onduleurs

Le tableau ci-dessous récapitule certaines caractéristiques des différents types d'onduleurs. Certains attributs d'un onduleur, comme le rendement, dépendent du type d'onduleur choisi. Comme le déploiement et la qualité de fabrication jouent un rôle déterminant sur des critères comme la fiabilité, il convient de prendre en compte ces facteurs en plus des attributs de conception.

**Tableau 1**  
*UPS Characteristics*

	Plages de tensions de fonctionnement (kVA)	Régulation de la tension	Coût par VA	Rendement	onduleur opérationnel en permanence
<b>standby</b>	0-0.5	Faible	Low	Très élevé	Non
<b>line interactive</b>	0.5-5	Dépend de la conception	Medium	Très élevé	Dépend de la conception
<b>standby-ferro</b>	3-15	Élevée	High	Faible - Moyen	Non
<b>on-line double conversion</b>	5-5000	Élevée	Medium	Faible - Moyen	Oui
<b>on-line delta conversion</b>	5-5000	Élevée	Medium	Élevé	Oui

## Types d'onduleurs commercialisés

Le marché des onduleurs a beaucoup évolué et propose un choix de conceptions plus larges. Du fait de leurs attributs, certains onduleurs conviennent mieux à certaines applications. C'est la raison pour laquelle la gamme de produits APC reflète cette diversité, comme l'indique le tableau ci-dessous :

**Tableau 2**  
UPS architecture  
characteristics

	Produits commercialisés	Avantages	Inconvénients	Conseils d'APC
<b>standby</b>	APC Back-UPS Tripp-Lite Internet Office	Coût intéressant, haut rendement, compact	Utilise les batteries en cas de baisses de tension. Inutilisable au dessus de 2 kVA	Meilleur prix pour les micro-ordinateurs personnels
<b>line interactive</b>	APC Smart-UPS Powerware 5125	Excellente fiabilité, haut rendement, bonne régulation de la tension	Inutilisable au dessus de 5 kVA	Type d'onduleur le plus populaire du fait de sa fiabilité, idéal pour les serveurs en rack et / ou distribués et / ou pour les environnements les plus rudes
<b>standby ferro</b>	Pas de produit APC dans cette technologie	Excellente régulation de la tension, très bonne fiabilité	Rendement faible, peu stable quand on l'associe à certaines charges et certains groupes électrogènes	Applications limitées en raison de son mauvais rendement et des problèmes d'instabilité. De plus, la conception en ligne N+1 offre une fiabilité bien supérieure
<b>on-line double conversion</b>	APC Symmetra Liebert NX	Excellente régulation de la tension, déploiement très simple en parallèle	Rendement faible, onéreux en dessous de 5 kVA	Bien adapté aux conceptions N+1
<b>on-line delta conversion</b>	APC Symmetra Megawatt	Excellente régulation de la tension, très bon rendement	Inutilisable en dessous de 5 kVA	Le rendement élevé réduit le coût de cycle de vie substantiel des grandes installations



## Conclusion

Plusieurs types d'onduleurs se prêtent à des utilisations différentes et aucun type d'onduleur n'est idéal pour toutes les applications. L'objectif de ce document est de faire le point sur les atouts et les inconvénients des différents types d'onduleurs commercialisés actuellement.

Les différences significatives des conceptions d'onduleurs offrent des avantages théoriques et pratiques qui se prêtent mieux à certaines utilisations. Toutefois, la qualité de base du déploiement et celle de la fabrication sont les deux critères qui importent le plus pour déterminer les performances d'une application d'un client.



### À propos de l'auteur

**Neil Rasmussen** est l'un des fondateurs d'American Power conversion et occupe le poste de CTO. A ce titre, il est responsable du plus important budget de R&D au monde exclusivement consacré à l'infrastructure des racks, des alimentations et du refroidissement des réseaux critiques. Les principaux centres de développement des produits APC sont situés dans le Massachusetts, le Missouri, au Danemark, à Rhode Island, à Taïwan et en Irlande. Neil dirige actuellement les efforts d'APC en vue d'établir des solutions modulaires et extensibles pour les centres de données.

Avant la fondation d'APC, en 1981, Neil Rasmussen a obtenu un Master en Electrical Engineering au MIT puis une thèse sur l'analyse de l'alimentation de 200 MW d'un réacteur à fusion Tokamak. De 1979 à 1981, il a travaillé aux Lincoln Laboratories du MIT sur les systèmes de stockage d'énergie à volant d'inertie et sur la génération électrique à partir de l'énergie solaire.



Consultez tous les  
livres blancs d'APC  
[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



Consultez tous  
les outils Trade-  
Off Tools d'APC  
[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## Contactez-nous

Pour des commentaires sur le contenu de ce livre blanc

Data Center Science Center, APC by Schneider Electric  
[DCSC@Schneider-Electric.com](mailto:DCSC@Schneider-Electric.com)

Si vous êtes client et que vous avez des questions relatives à votre projet de datacenter

Contactez votre représentant APC by Schneider Electric