

# Stratégies de refroidissement pour racks et serveurs lames de très haute densité

## Livre Blanc 46

Révision 7

par Neil Rasmussen

### > Résumé Général

Il est possible d'atteindre une puissance de 10 kW par rack ou plus en déployant certains équipements informatiques haute densité, tels que des serveurs lames. Cela pose alors de sérieuses difficultés de refroidissement pour les environnements de datacenters, sachant que la consommation électrique moyenne du secteur est inférieure à 2 kW par rack. Ce document décrit cinq stratégies permettant de déployer des racks de très haute densité, ainsi que des solutions pratiques pour des datacenters nouveaux ou existants.

### Table Des Matières

*Cliquez sur une section pour y accéder directement*

Introduction	2
Définition claire de la densité de puissance dans un datacenter	2
Besoins d'alimentation et de refroidissement des baies haute densité	6
Cinq stratégies pour le déploiement de baies et de serveurs lames de haute densité	10
L'intérêt de la concentration	15
Conclusion	19
Ressources	19

## Introduction

La puissance consommée par l'équipement d'une simple baie informatique peut considérablement varier. En moyenne, elle est d'environ 1,7 kW dans les datacenters, mais la puissance maximale pouvant être obtenue en remplissant une baie avec des serveurs haute densité, tels que des serveurs lames, est de plus de 20 kW. De telles charges dépassent largement les capacités théoriques d'alimentation et de refroidissement des datacenters standard.

Les techniciens des datacenters ont une expérience très limitée en matière de baies informatiques pouvant gérer plus de 10 kW, mais les récentes tendances suggèrent que bon nombre d'entre eux seront confrontés à la nécessité d'installer et de fournir des systèmes d'alimentation et de refroidissement pour racks de haute densité, que ce soit par racks individuels ou groupés.

La solution la plus simple serait de proposer un datacenter capable de fournir 20 kW de puissance et de refroidissement redondants pour chaque baie. Malheureusement, dans la plupart des cas, ceci n'est ni techniquement possible, ni économiquement rentable. Faire de mauvais choix lors de la spécification d'un datacenter destiné à fonctionner à haute densité peut augmenter inutilement et considérablement les coûts du cycle de vie d'une infrastructure physique. L'objet de ce document est de présenter des stratégies pratiques et efficaces permettant de déployer des baies et des serveurs lames haute densité.

Nous nous pencherons tout d'abord sur le concept de densité de puissance. Nous examinerons ensuite les valeurs réelles de densité de puissance pour des datacenters actuels et futurs. Les approches pratiques permettant d'atteindre des hautes densités seront ensuite présentées, ainsi que leurs limites et leurs avantages. Enfin, des stratégies logiques et pratiques de déploiement de solutions informatiques haute densité seront proposées.

## Définition claire de la densité de puissance dans un datacenter

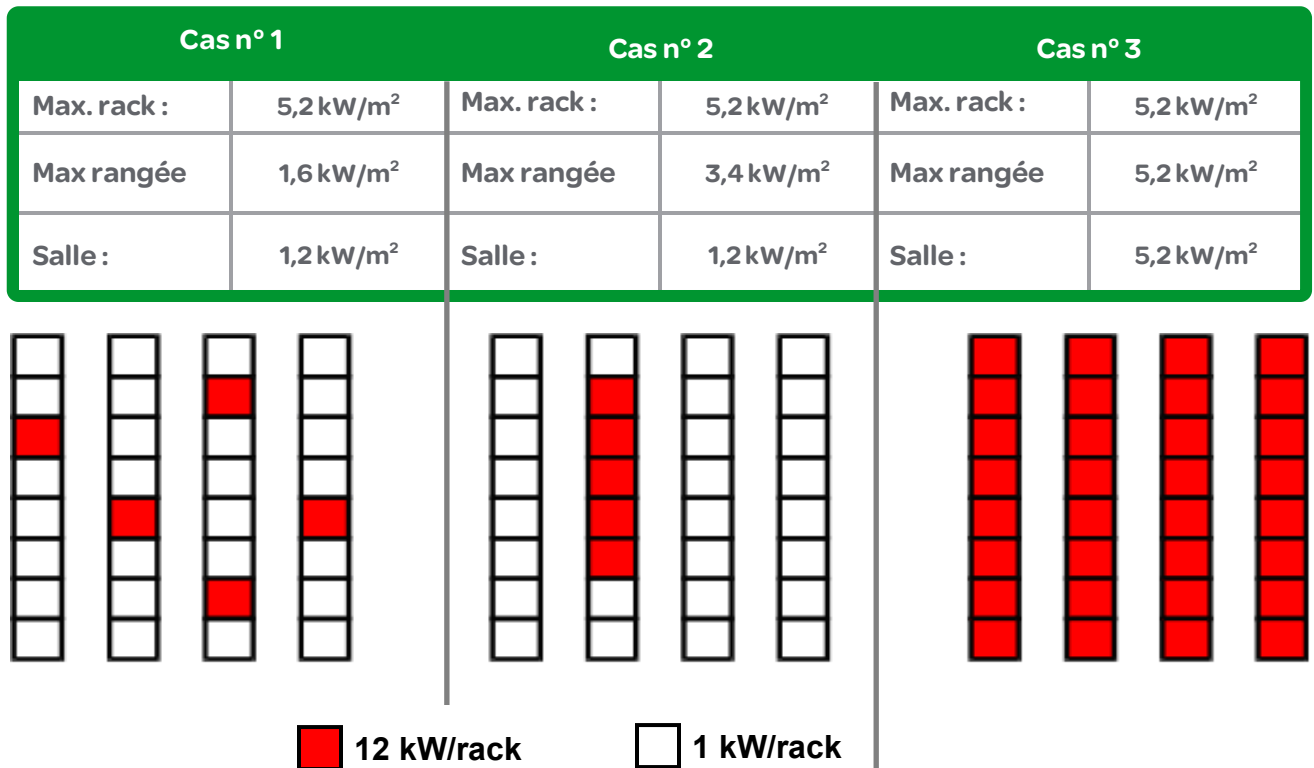
De graves malentendus peuvent survenir lorsque l'on décrit la « densité de puissance » car la signification de ce terme est ambiguë. La densité de puissance est souvent exprimée en watts par m<sup>2</sup> ou en watts par baie. Cette description simple est suffisante lorsque la puissance consommée par toutes les baies est la même. Cependant, dans un datacenter réel, la puissance par baie informatique varie considérablement. Dans la pratique, les densités de puissance mesurées au niveau du rack, de la rangée et de la salle peuvent énormément varier. Cette variation de la densité de puissance mesurée au niveau de la baie, de la rangée et de la salle influe fortement sur la structure du système d'alimentation et de façon encore plus nette sur la structure du système de refroidissement.

Les différences de densité de puissance mesurées au niveau du rack, de la rangée et de la salle sont présentées dans la **figure 1**<sup>1</sup>. Dans ce schéma, des baies de 12 kW sont installées dans une salle type. Dans l'un des cas, 15 % des baies de la salle nécessitent 12 kW et le reste 1 kW. Dans le deuxième cas, le même pourcentage de baies utilisent 12 kW, mais elles sont rassemblées dans une même rangée. Dans le troisième cas, toutes les baies de la rangée utilisent 12 kW. Dans chacun des cas, la densité de puissance maximale est la même, 12 kW par rack, ce qui correspond à 5,2 kW/m<sup>2</sup>. Pourtant, les densités de puissance de la rangée et de la salle varient considérablement d'un cas à l'autre.

<sup>1</sup> Les densités de rack et de rangée dans la **Figure 1** utilisent une surface au sol des racks équivalente à 2,3 m<sup>2</sup>. Les équivalents couramment utilisés de surface au sol des racks varient entre 2,3 et 2,8 m<sup>2</sup>. Pour en savoir plus sur la représentation de la densité d'alimentation, reportez-vous au livre blanc n° 120, *Les étapes de spécification de la densité d'alimentation des datacenters*.

**Figure 1**

Densité de puissance en watts par unité de surface, par rack, par rangée et par salle pour trois configurations de salle différentes



Les différences entre les densités de puissance de racks, des rangées et des salles illustrées dans la **figure 1** sont représentatives de diverses installations existantes. Ces différences affectent sérieusement la conception des infrastructures d'alimentation et de refroidissement. Le régime final d'un système d'alimentation ou d'un système de refroidissement est simplement la somme globale de la puissance consommée par les charges. Ceci permet de déterminer facilement la taille totale des onduleurs et des climatiseurs de salles informatiques. Le problème principal lié à la variation et aux valeurs maximales de densité de puissance dépend de la distribution de l'alimentation et de l'air au sein du datacenter.

Notez que les descriptions de densité ci-dessus sont exprimées en termes de surface totale au sol, incluant les espaces tels que les allées qu'il convient d'ajouter à l'encombrement au sol des baies informatiques. Il s'agit de la méthode la plus fréquemment utilisée pour décrire la densité et nous utiliserons cette terminologie tout au long de ce document. Cependant, d'autres sources d'information, surtout en provenance des fabricants informatiques, décrivent la densité en watts par unité de surface, la surface étant limitée à l'encombrement au sol des baies informatiques. De tels chiffres de densité basés sur l'encombrement au sol de l'équipement doivent être corrigés à la baisse d'environ 75 %.

### Capacité réelle de la densité de puissance des datacenters actuels

Schneider Electric et d'autres entreprises ont mené des sondages auprès de concepteurs et d'opérateurs de datacenters afin de déterminer les densités de puissance de fonctionnement actuelles, ainsi que les limites de conception des grandes salles réseau et des datacenters nouveaux et existants. Le **tableau 1** présente les résultats de l'enquête menée entre 2002

et 2003 auprès de sources variées : entreprises, techniciens de support, ingénieurs et consultants. La valeur trouvée pour la densité de puissance globale par baie correspond étroitement aux valeurs obtenues lors de récents sondages menés par l'Université de Californie à Berkeley.

**Tableau 1**

Résultat d'une enquête sur la densité de puissance initialement prévue et actuelle des datacenters

Caractéristiques	Moyenne des datacenters	90 % des datacenters sont < à	Exemple maximal trouvé
Densité de puissance à la conception	0,38 kW/m <sup>2</sup>	0,65 kW/m <sup>2</sup>	2,15 kW/m <sup>2</sup>
Densité de puissance réelle en fonctionnement	0,27 kW/m <sup>2</sup>	0,43 kW/m <sup>2</sup>	1,61 kW/m <sup>2</sup>
Densité de puissance par baie à la conception	1,1 kW/baie	1,8 kW/baie	6 kW/baie
Densité de puissance globale réelle par baie	1,7 kW/baie	2 kW/baie	4 kW/baie
Puissance moyenne réelle par baie dans les rangées de baies de plus haute densité des datacenters	2 kW/baie	3 kW/baie	7 kW/baie
Baie de datacenter de plus forte puissance réelle	3 kW	6 kW	12 kW

Remarque : les baies comprennent des baies pour racks et des baies pour équipement, telles que les unités de stockage à accès direct et les macro-ordinateurs. Les équipements de taille supérieure aux baies de racks sont comptabilisés comme représentant plusieurs baies de racks de même encombrement au sol.

Ces données indiquent que la densité de puissance de conception pour des datacenters est en moyenne de 0,377 kW/m<sup>2</sup>, correspondant à 1,1 kW par baie si l'on considère une baie de 0,32 m<sup>2</sup>. Il est possible d'obtenir une puissance réelle moyenne par baie supérieure à la valeur de conception car la densité théorique par baie de 0,38 kW/m<sup>2</sup> est rarement atteinte. Ceci est surtout dû au fait que les datacenters ne sont pas entièrement remplis de baies. Par exemple, un datacenter ayant une densité de puissance de conception par baie de 1,1 kW pour des baies de 2,79 m<sup>2</sup> peut engendrer une densité de puissance par rack de 2, 2 kW par baie si les baies n'utilisent que la moitié de l'encombrement au sol disponible.

Notez que ces données concernent uniquement des environnements en production. Des densités électriques moyennes et maximales quelque peu supérieures ont été obtenues pour des environnements de développement et de test.

La **figure 2** représente la distribution de la fréquence de la consommation électrique par rack basée sur des données provenant de sondages.<sup>2</sup> Ceci fournit des indications supplémentaires sur les sources de densité de puissance. Chaque barre ou colonne représente le pourcentage

<sup>2</sup> Ces données sont plus difficiles à obtenir que les données du **tableau 1**, car les instruments de mesure de la puissance par rack ne sont pas présents dans la plupart des datacenters. Dans de nombreux cas, les données ont dû être estimées à partir des données de puissance réelle pour un groupe de racks, que l'on a réparties proportionnellement entre les baies à l'aide des données de consommation précises de fournisseurs que Schneider Electric détient et utilise dans ses outils de définition de taille d'onduleurs.

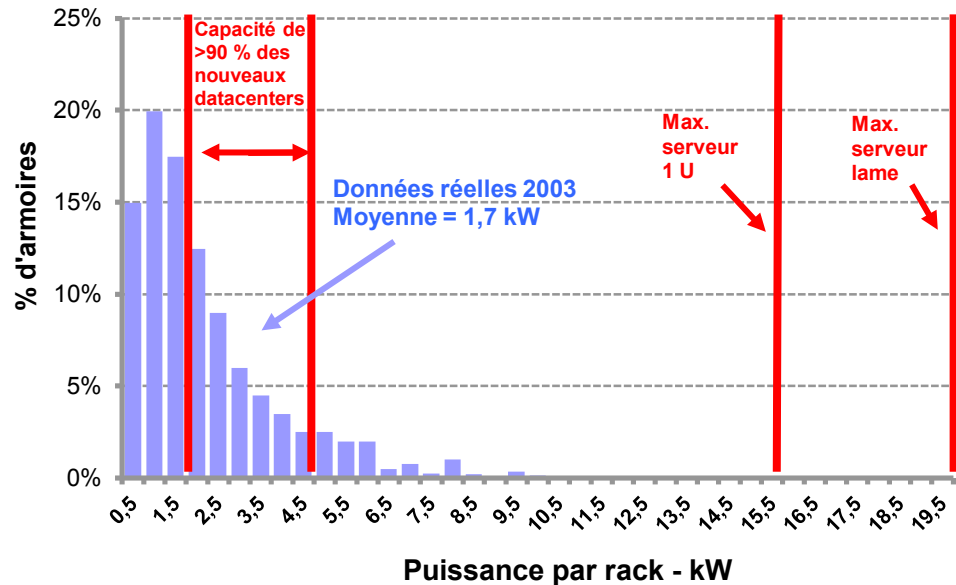
de racks ayant une consommation électrique comprise dans une fourchette de 500 watts précédant la valeur de kW indiquée au bas de la colonne. Par exemple, la barre 1,5 kW représente les baies utilisant une puissance électrique de 1 kW à 1,5 kW.

Remarquez que dans la **figure 2**, un nombre important de baies de datacenters standard utilisent moins de 500 W. Ces baies comprennent des panneaux de raccordement et des racks contenant des bypass et des serveurs de faible densité. La plupart de ces racks incluent également un important espace vertical ouvert non utilisé.

Remarquez en outre dans la **figure 2** que le nombre de baies nécessitant une puissance supérieure à 2 kW diminue spectaculairement et qu'aucune baie nécessitant plus de 8 kW n'a été trouvée.

**Figure 2**

*Distribution de la fréquence de la consommation électrique réelle des racks, montrant la relation avec les configurations de rack maximales possibles*



Dans la **figure 2**, plusieurs lignes de référence sont superposées aux valeurs de consommation électrique réelle par baie. La première paire de lignes de référence indique la fourchette de densité de puissance moyenne pour laquelle les nouveaux datacenters sont conçus, d'après un sondage effectué auprès d'ingénieurs consultants.

Les deux lignes suivantes représentent les densités de puissance pouvant être obtenues en remplissant des baies informatiques avec les serveurs de plus haute densité maximale existant à ce jour, les serveurs 1U et les serveurs lames. Ces valeurs dépassent largement les valeurs de conception des nouveaux datacenters et les valeurs réelles des datacenters existants. Bien que les serveurs lames puissent présenter des puissances par rack supérieures à celles des serveurs 1U, il est important de noter qu'à ces densités de puissance, les serveurs lames fournissent environ deux fois plus de serveurs que les serveurs 1U, ce qui suppose que l'utilisation électrique des serveurs lames est environ 40 % inférieure à celle des serveurs 1U classiques.

On peut déduire de ces données les observations suivantes :

- La plupart des baies de datacenters fonctionnent à une puissance inférieure à la valeur de conception de ces datacenters.
- L'équipement informatique de haute densité n'est en réalité pas installé à la densité maximale pouvant être atteinte.
- Les valeurs de densité de puissance fréquemment mentionnées dans la presse ne sont atteintes par pratiquement aucun des datacenters actuels ou attendus dans un avenir proche.

Dans le cadre de ce document, le terme « haute densité » fera référence aux baies de plus de 3 kW, cette valeur correspondant à la limite supérieure de la fourchette de capacité moyenne de refroidissement des datacenters actuels.

## Besoins d'alimentation et de refroidissement des baies haute densité

Une baie de très haute densité sera, par exemple, une installation de serveurs lames composée de six machines serveurs lames de 7U dans un rack de 42U, chaque châssis de lame consommant 3 kW pour un besoin total de 18 kW. Ceci signifie que la baie doit recevoir 18 kW en alimentation et 18 kW en refroidissement. Un système de ce type sera normalement considéré comme un système vital et il sera nécessaire d'assurer la redondance de l'alimentation et du refroidissement d'un tel système.

### Besoins électriques

D'un point de vue électrique, ce système de serveurs lames à six châssis nécessiterait probablement de circuits d'alimentation de 30 A à 208 V ou 230 V, dans le cas d'une configuration type à quatre fils pour chaque châssis redondant. Le câblage associé à ce circuit serait encombrant et nécessiterait normalement d'être placé au dessus des racks pour éviter de bloquer la diffusion de l'air dans le faux-plancher (si un faux-plancher est utilisé). Ce serait d'autant plus le cas si plusieurs baies de ce type se trouvaient à proximité les unes des autres. En revanche, si un faux-plancher était utilisé, la profondeur du faux-plancher pourrait être augmentée pour recevoir le câblage. Dans les deux cas, un câblage supplémentaire important devrait être installé, ce qui serait compliqué et onéreux dans le cas d'un datacenter opérationnel. Ces méthodes permettent de fournir une alimentation redondante à un rack de très haute densité.

### Besoins de refroidissement

Refroidir une baie de très haute densité est un défi bien plus épineux que de l'alimenter en électricité. Le système de serveurs lames décrit ci-dessus nécessiterait environ 1,180 l/s d'air froid en admission (valeur basée sur la valeur commune d'une augmentation de la température de l'air rejeté de 11 °C) et rejetterait la même quantité d'air réchauffé à l'arrière de la baie. Cet équipement consommerait ce volume d'air, que le système de refroidissement puisse ou non le fournir. Si la salle n'était pas capable de fournir cette quantité d'air froid à la baie, cette dernière utiliserait son propre air chaud rejeté (ou l'air rejeté de l'équipement voisin) et finirait par surchauffer. Quatre éléments clés doivent être pris en compte pour atteindre les performances de refroidissement souhaitées :

- Fourniture de 1 180 l/s d'air froid à la baie
- Évacuation de 1 180 l/s d'air chaud rejeté d'une baie
- Éloignement de l'air chaud rejeté loin de l'admission d'air de l'équipement
- Mise en œuvre de toutes ces fonctions de manière redondante et ininterrompue

Chacune de ces fonctions est très difficile à obtenir. Ces difficultés sont présentées dans les sections suivantes.

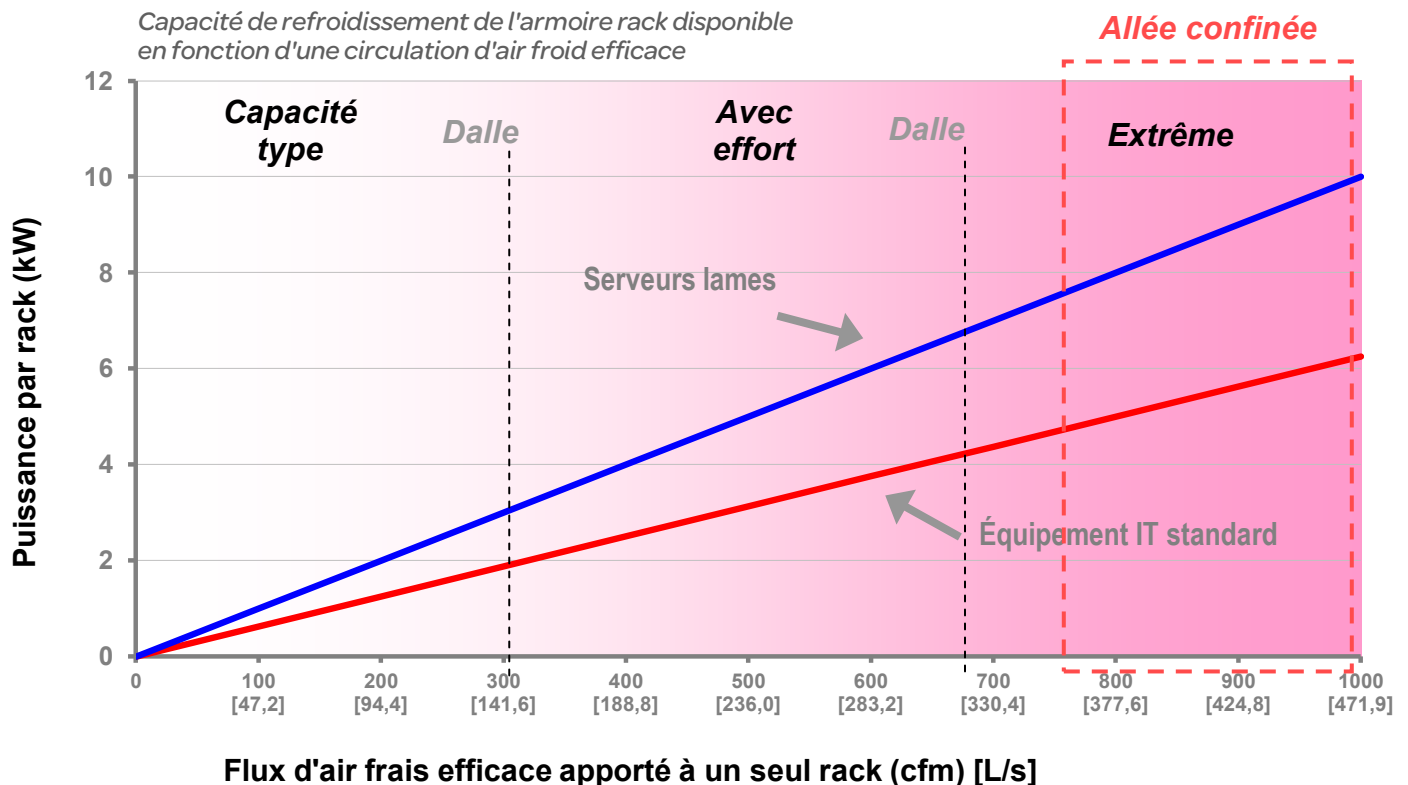
### Fourniture de 1 180 l/s d'air froid à la baie

Un datacenter standard utilisant un faux-plancher dispose d'une dalle d'aération pour chaque baie. Une dalle d'aération est capable en moyenne de fournir environ 142 l/s d'air froid à une baie. Ceci signifie qu'une baie de 18 kW nécessite 8 dalles d'aération, c'est-à-dire 8 fois plus que la valeur normale. La largeur des allées ainsi que l'espacement des racks devraient alors être significativement augmentés afin de pouvoir installer 8 dalles d'aération par baie. Ceci n'est pas possible dans un datacenter standard.

La **figure 3** montre la capacité de refroidissement de l'armoire rack en fonction d'une circulation d'air froid efficace. Un flux d'air efficace tient compte des fuites d'air froid à travers le plancher technique, qui représentent généralement 25 % de l'air total fourni par les unités de refroidissement. Alors que la capacité de refroidissement par rack augmente avec celle de la circulation de l'air, la figure montre que des capacités de refroidissement par rack plus élevées deviennent plus difficiles à atteindre. Le confinement des allées froides peut augmenter la capacité de refroidissement jusqu'à environ 10 kW/rack. Notez que la capacité de refroidissement du plancher technique est supérieure pour des serveurs lames par rapport à des équipements informatiques standard. Cela est dû au fait que les serveurs lames nécessitent, en moyenne, 40 % moins de flux d'air que les équipements informatiques standard à puissance équivalente.

**Figure 3**

Capacité de refroidissement de l'armoire rack disponible en fonction d'une circulation d'air froid efficace



La **figure 3** montre que faire circuler de l'air vers un rack unique à plus 142 l/s nécessite un faux-plancher spécialement étudié. Il faut aussi installer une climatisation centrale de salle informatique et maîtriser les fuites d'air, ainsi que les obstacles à la circulation de l'air existant sous le plancher (tuyaux, conduites, câbles...). Faire circuler de l'air à plus 236 l/s nécessite l'utilisation de dalles spéciales ayant la forme de grilles métalliques ouvertes. Ces grilles peuvent fournir jusqu'à 330 l/s par dalle dans un datacenter standard. Cependant, leur utilisation modifie considérablement les courbes de pression du sous-plancher et influe sur la circulation de l'air dans les régions voisines. Ces effets peuvent avoir une influence sur

l'uniformité et la prévisibilité de la capacité de refroidissement et limiter celle-ci de manière indésirable et imprévisible.

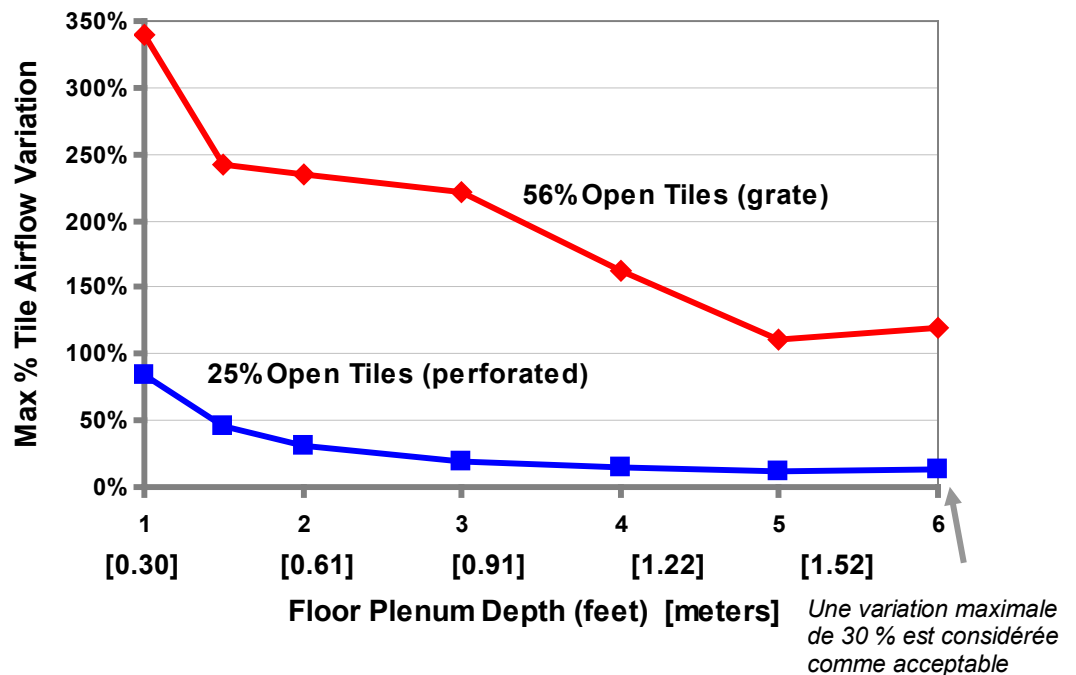
Il est souvent suggéré qu'augmenter la profondeur du faux-plancher permet de corriger divers problèmes, notamment l'uniformité de la capacité de refroidissement. Pour étudier la question, Schneider Electric a utilisé des analyses de dynamique de calcul des fluides (CFD) pour simuler les effets des modifications de profondeur du faux-plancher dans les conceptions standard. Certains des résultats importants de ces recherches sont présentés dans la **figure 4**. Ces courbes montrent que la capacité de refroidissement varie en fonction de la profondeur du faux-plancher. De façon prévisible, la variation de la capacité de refroidissement par dalle diminue à mesure que la profondeur du faux-plancher augmente.

Néanmoins, les résultats présentent deux surprises. Premièrement, la courbe est relativement peu affectée par l'amplitude de la circulation d'air. En d'autres termes, la variation de la capacité de refroidissement de la dalle dépend de la topographie de conception du plancher, alors qu'elle dépend relativement peu de l'amplitude de la circulation d'air. Le second résultat étonnant est que la variation du flux d'air devient très prononcée en cas d'utilisation de dalles grillagées. Par exemple, avec un faux-plancher haut de 0,61 m, la variation peut être de l'ordre de 30 % pour une dalle perforée standard, mais de 230 % pour une dalle de type grillagé. En réalité, dans le cas de la dalle grillagée, la circulation de l'air peut s'inverser dans certains cas et les dalles aspirent l'air vers le bas au lieu de le fournir aux équipements informatiques.


Les variations de circulation de l'air à travers la dalle sont indésirables, mais une moyenne et un partage de la circulation d'air se produisent effectivement dans le datacenter ; pour cette raison, des variations de circulation d'air par dalle de 30 % doivent être considérées comme acceptables. En revanche, les variations considérables apparaissant pour les dalles grillagées dans la **figure 4** ne sont pas acceptables, puisqu'une partie des emplacements de racks reçoit une capacité de refroidissement insuffisante. On remarquera en outre que l'augmentation de la profondeur du faux-plancher est bénéfique, mais qu'elle ne suffit pas à corriger le problème pour des faux-planchers d'une profondeur réaliste. Donc, bien que l'utilisation occasionnelle d'une dalle grillagée puisse s'avérer judicieuse, ces courbes suggèrent que l'utilisation de ce type de dalles ne constitue pas une solution efficace pour augmenter la capacité de la densité de puissance d'un datacenter.

**Figure 4**

Variations de circulation d'air en fonction de la profondeur du faux-plancher, pour deux types de dalle différents





 Lien vers les ressources  
Livre blanc 135

*Confinement de l'allée  
chaude / Confinement de  
l'allée froide*

Même lorsqu'une conception de refroidissement « extrême » est mise en œuvre, la **figure 3** montre qu'il faudrait 3 à 4 dalles grillagées pour refroidir une armoire rack hypothétique de 18 kW. Or, l'agencement standard d'un datacenter ne prévoit qu'une seule dalle d'aération par armoire rack. L'association de ces données avec les résultats de la variation de la circulation d'air de la **figure 4** indique que **l'agencement classique d'un datacenter prévoyant une dalle d'aération par rack ne permet tout simplement pas de refroidir des racks dépassant environ 6 kW chacun dans une zone précise**. Cette valeur peut aller jusqu'à 10 kW par rack sur une zone précise en cas d'utilisation d'un système de confinement des allées chaudes ou froides. Pour plus d'informations sur le confinement, reportez-vous au Livre blanc n° 135, *Confinement des allées chaudes / Confinement des allées froides*.

## Évacuation de 1 180 l/s d'air chaud rejeté d'une baie

Il existe trois manières de renvoyer l'air au système de refroidissement : par la salle, par un conduit ou par le plénum du plafond. Idéalement, l'air chaud rejeté par l'équipement doit être repris par le système de refroidissement sans qu'il puisse se mélanger à l'air alentour et sans être capté par l'équipement. Ceci implique un trajet de retour direct et sans obstacle. Pour référence, pour transporter 1 180 l/s dans un conduit circulaire de 30 cm, l'air doit circuler à 56 km/h. Un haut plafond ouvert avec un retour d'air de masse situé sur un point central élevé constitue l'un des moyens d'y parvenir. Cependant, de nombreux datacenters dépendent de canalisations de retour ou d'un plénum de plafond suspendu pour renvoyer l'air, et bon nombre s'appuient sur un retour d'air en masse par la salle, sous le plafond et à moins d'un mètre du toit des baies. Ces cas constituent des défis techniques de conception.

L'existence d'une capacité de retour d'air pour une armoire rack informatique donnée est aussi limitée que l'approvisionnement en air. Comme dans le cas de l'apport en air, fournir plus de 189 l/s de capacité de retour d'air par rack sur une surface étendue nécessite des installations spécialisées afin que le système dispose des performances et de la redondance requises.

## Éloignement de l'air chaud rejeté loin de l'admission d'air de l'équipement

Le trajet le plus court d'approvisionnement en air de l'équipement électronique est le chemin de recyclage depuis la sortie même de l'équipement. Un élément essentiel de la conception de datacenters est que les trajets d'approvisionnement en air froid et de retour d'air chaud l'emportent sur cet itinéraire de recyclage indésirable. Cela devient particulièrement difficile dans des environnements de haute densité, car la vitesse élevée de la circulation de l'air doit excéder la résistance des systèmes de distribution et de retour d'air. Le recyclage au sein du rack peut être efficacement assuré par des panneaux-caches, décrits plus loin dans ce document. Cette solution et d'autres types de recyclage sont traités plus en détail dans le livre blanc 49, *Erreurs compromettant les performances de refroidissement des datacenters et des salles réseaux et pouvant être évitées*

 Lien vers les ressources  
Livre blanc 49

*Erreurs compromettant  
les performances de  
refroidissement des  
datacenters et des salles  
réseaux et pouvant être  
évitées*

## Mise en œuvre de toutes ces fonctions de manière redondante et ininterrompue

Dans un datacenter de haute disponibilité, les charges doivent continuer à opérer pendant les interruptions de fonctionnement prévues ou imprévues des unités de climatisation des salles informatiques. Ceci signifie que le refroidissement doit être redondant et disponible lorsque l'une des unités de climatisation ne fonctionne pas. Dans les conceptions de datacenters classiques, plusieurs unités de climatisation alimentent un faux-plancher ou un plénum de plafond commun qui doivent rassembler les évacuations de toutes les unités de climatisation et fournir une pression uniforme dans tout le plénum de circulation de l'air.

Le système est conçu pour répondre aux exigences de circulation d'air et de refroidissement lorsqu'une unité de ventilation ne fonctionne pas.

Lorsque la densité de puissance de fonctionnement de datacenters classiques est augmentée, la circulation de l'air dans les zones de plénum augmente et les hypothèses fondamentales relatives au fonctionnement du système de plénum partagé commencent à faillir. L'interruption d'une unité de climatisation peut radicalement altérer les vitesses de circulation locale de l'air dans le plénum. La circulation de l'air au niveau d'une dalle individuelle peut même s'inverser, aspirant l'air dans le sol du fait de l'effet Venturi. Le fonctionnement du système de refroidissement dans des conditions déficientes devient moins prévisible à mesure que la densité de puissance augmente. Pour cette raison, les installations de haute densité sont souvent simulées à l'aide de méthodes de simulations numériques (dynamique de calcul des fluides - CFD) afin d'établir la présence de la redondance.

Le concept de refroidissement ininterrompu est également remis en question dans un environnement de haute densité. Le système de refroidissement d'un datacenter classique reçoit une alimentation électrique de secours d'un générateur de secours et non pas d'un onduleur. Le délai de démarrage d'un générateur est acceptable dans les datacenters moyens car la perte de refroidissement et d'approvisionnement en air pendant les 5 à 20 secondes nécessaires au démarrage du générateur n'engendre qu'une augmentation de la température de 1 °C. En revanche, dans le cas de l'installation de charges de haute densité de l'ordre de 18 kW par rack, l'augmentation approximative de la température de l'air atteint les valeurs inacceptables de 8 à 30 °C pendant le délai type de démarrage d'un générateur. Ainsi, dans le cas d'installations de haute densité, il devient nécessaire de faire fonctionner en permanence les ventilateurs du système de climatisation, les pompes et, dans certains cas, les unités mêmes de climatisation afin d'assurer un refroidissement ininterrompu. Cette obligation de refroidir l'onduleur est un facteur de coût élevé et freine fortement le déploiement d'environnements informatiques de haute densité.

## Cinq stratégies pour le déploiement de baies et de serveurs lames haute densité

Il existe cinq stratégies de base pour déployer des baies et des serveurs lames haute densité :

1. Répartition de la charge. Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale des armoires et répartir la charge de certaines armoires qui dépassent la valeur moyenne de conception en répartissant l'équipement parmi les différentes armoires racks.
2. Emprunt de capacités de refroidissement basé sur des règles. Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale des baies et utiliser des règles pour permettre aux racks haute densité d'emprunter la capacité de refroidissement sous-utilisée des racks voisins.
3. Refroidissement supplémentaire. Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale des baies et utiliser un équipement de refroidissement supplémentaire, en fonction des besoins, pour refroidir les racks d'une densité supérieure à la valeur moyenne de conception.
4. Zones de haute densité dédiées. Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale des baies, aménager une zone spéciale limitée dans la salle disposant d'une capacité de refroidissement élevée et limiter l'emplacement des baies haute densité à cette zone.
5. Refroidissement d'une salle dédiée. Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir chaque rack à la densité maximale des baies.


Chacune de ces approches est présentée ci-dessous avec ses avantages et inconvénients.

## Première méthode : répartition de la charge.

*Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale potentielle des baies et répartir la charge de certaines baies qui dépassent la valeur moyenne de conception en répartissant les équipements entre les différentes armoires racks.*

C'est la solution la plus répandue permettant d'ajouter des équipements de haute densité dans les datacenters actuels. Heureusement, il n'est pas nécessaire d'installer les serveurs 1U et les serveurs lames en les serrant dans la même baie. Ils peuvent être répartis sur plusieurs racks. En répartissant les équipements sur plusieurs racks, aucun rack n'est jamais tenu de dépasser la valeur de densité de puissance de conception et les performances de refroidissement sont donc prévisibles.

Notez que répartir l'équipement sur plusieurs racks permet de laisser un large espace vertical inutilisé au sein des racks. Cet espace doit être rempli de panneaux d'obturation afin d'éviter la dégradation des performances de refroidissement, tel que l'explique le livre blanc n° 44, *Optimisation des performances de refroidissement d'un rack à l'aide de panneaux-caches*. La **figure 5** montre un exemple de panneau-cache modulaire emboîtable conçu pour étanchéifier les racks.

 Lien vers les ressources  
**Livre blanc 44**

*Optimisation des performances de refroidissement d'un rack à l'aide de panneaux-caches*

### Figure 5

*Exemple d'un panneau-cache modulaire emboîtable pour rack conçu pour un déploiement en masse dans les datacenters afin de contrôler la circulation d'air (APC n° AR8136BLK)*



*Détail du procédé d'emboîtement*



La nécessité de répartir les équipements de haute densité sur plusieurs racks est souvent ressentie pour d'autres raisons que le refroidissement. L'approvisionnement adéquat des racks en câbles de données ou d'alimentation peut ne pas être possible ni pratique. Dans le cas de serveurs 1U, le volume du câblage à l'arrière de la baie peut même gravement bloquer l'air ou même empêcher la fermeture des portes arrière.

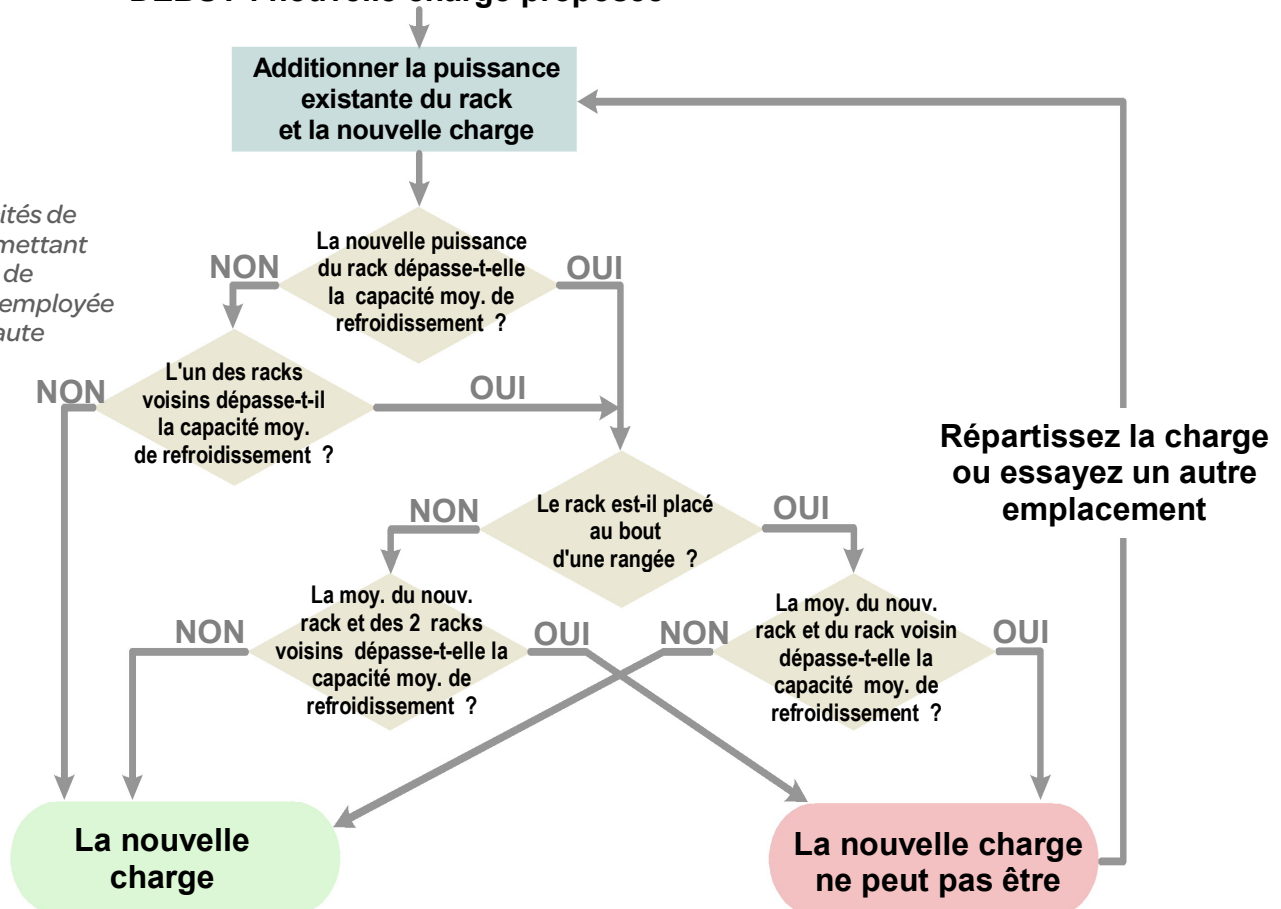
## Deuxième méthode : emprunt de capacités de refroidissement basé sur des règles

*Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale des baies et utiliser des règles pour permettre aux racks de haute densité d'emprunter la capacité de refroidissement sous-utilisée des racks voisins.*

Cette solution, qui ne coûte rien, est souvent utilisée, mais rarement présentée. Cette approche bénéficie du fait que certains racks utilisent moins de puissance que la valeur moyenne de conception. Le refroidissement et la capacité de retour provenant des baies sous-utilisées sont disponibles pour les baies voisines. Une simple règle comme « ne pas placer les racks haute densité les uns près des autres » peut donner de bons résultats, mais des règles plus sophistiquées peuvent être mises en place et assurer aux baies un refroidissement fiable et prévisible deux fois plus important que la valeur moyenne de conception. Ces règles peuvent être établies officiellement et leur application être vérifiée en effectuant le suivi de la consommation électrique au niveau du rack. Cette fonction peut être automatisée à l'aide d'un système de gestion tel qu'ISX Manager de Schneider Electric. L'automatisation de cette fonction devient essentielle à mesure que sont rajoutés de nouveaux équipements informatiques dont la consommation électrique varie dans le temps.

Un exemple de règle réelle, pouvant être appliquée dans le cadre de cette méthode, est présenté dans la **figure 6**. Cette règle pourra être appliquée au déploiement de nouveaux équipements afin de déterminer s'ils peuvent être déployés en respectant la capacité du système de refroidissement. Selon cette règle, la capacité de refroidissement qui n'est pas utilisée par les baies immédiatement voisines est disponible pour refroidir un équipement de rack ; cela à la densité de puissance maximale d'une baie d'excéder la puissance de refroidissement moyenne de la salle d'un facteur pouvant atteindre 3. Dans les datacenters standard, ceci peut être une manière très efficace de mettre en place des baies de haute densité, car il existe souvent des baies contigües n'utilisant pas la capacité de refroidissement moyenne.

**DÉBUT : nouvelle charge proposée**



**Figure 6**


Exemple de règles « d'emprunt de capacités de refroidissement » permettant d'utiliser une capacité de refroidissement sous-employée par des armoires de haute densité voisines

### Troisième méthode : refroidissement supplémentaire

*Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale des baies et utiliser un équipement de refroidissement supplémentaire, en fonction des besoins, pour refroidir les racks d'une densité supérieure à la valeur moyenne de conception.*

Cette solution nécessite généralement que l'installation soit planifiée à l'avance afin de pouvoir utiliser l'équipement de refroidissement supplémentaire lorsque et où il est nécessaire. Lorsqu'une salle a été aménagée de cette manière, plusieurs techniques peuvent être utilisées afin de fournir un refroidissement supplémentaire aux racks. Il s'agit des techniques suivantes :

- Installation de dalles spéciales (grillagées) ou de ventilateurs afin d'augmenter la fourniture d'air frais du système de climatisation à une armoire.
- Installation de conduits de retour spéciaux ou de ventilateurs afin de récupérer l'air chaud rejeté d'une baie et de le renvoyer au système de climatisation.
- Installation de racks spéciaux ou de dispositifs de refroidissement montés sur racks ayant la capacité de fournir le refroidissement requis directement au rack.

 Lien vers les ressources  
Livre blanc 55

Architecture pour la  
distribution d'air dans les  
installations critiques

Ces méthodes font l'objet du livre blanc n° 55, *Architecture pour la distribution d'air dans les installations critiques*. Ces méthodes ne sont disponibles que depuis peu et ne sont pas encore largement déployées dans les datacenters existants. Pourtant, elles offrent une plus grande souplesse et, grâce à une planification adéquate, il n'est pas nécessaire de les acheter ni de les installer avant d'en avoir besoin.

### Quatrième méthode : zone de haute densité dédiée

*Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir à une valeur moyenne inférieure à la valeur maximale des baies, aménager une zone spéciale limitée dans la salle disposant d'une capacité de refroidissement élevée et limiter l'emplacement des baies de haute densité à cette zone.*

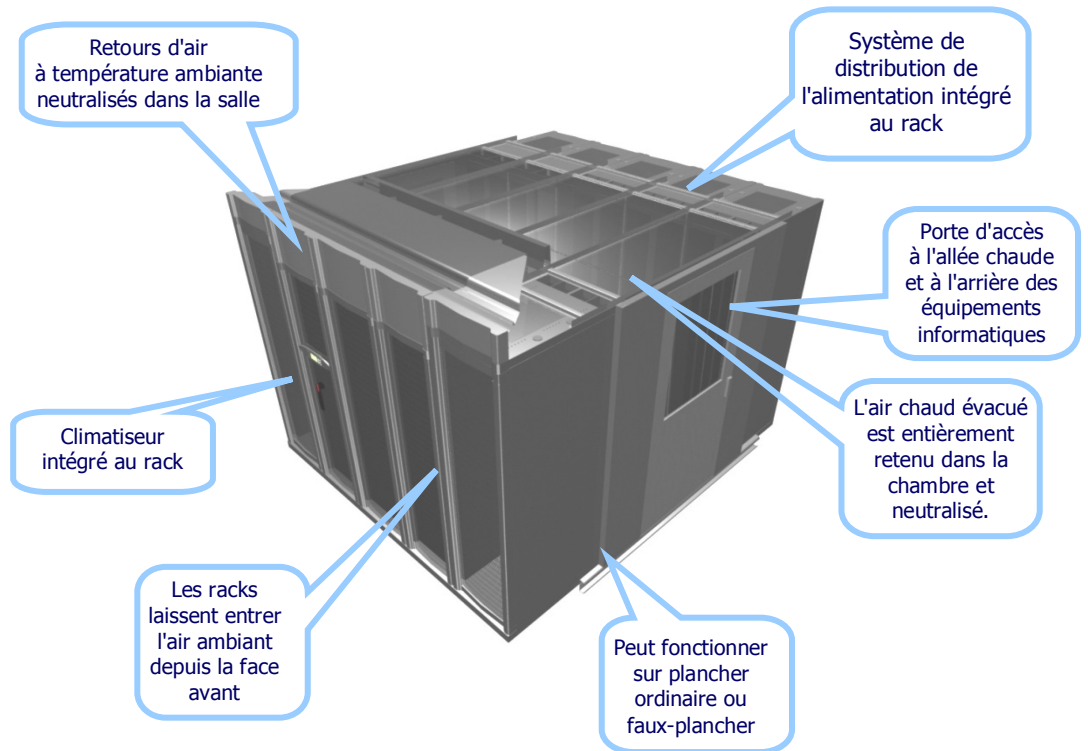
Pour cela, il faut connaître au préalable la part que représentent les baies de haute densité et pouvoir rassembler celles-ci dans une zone spéciale. Il devient alors possible d'utiliser l'espace au mieux. Malheureusement, cette connaissance préalable du pourcentage de baies de haute densité est souvent absente. Cette option est donc rarement disponible.

Lorsqu'une zone adaptée à la haute densité peut être identifiée, des technologies de haute densité peuvent être installées afin de lui fournir une densité de puissance et de refroidissement prévisible. Si la densité de puissance dépasse 10 kW par rack, l'imprévisibilité de la circulation de l'air devient le problème dominant. Les technologies qui permettent de résoudre ce problème supposent de raccourcir les trajectoires de ventilation entre le système de refroidissement et le rack.

La solution InfraStruXure, présente dans la **figure 7**, montre un exemple de système d'alimentation et de refroidissement modulaire de haute densité pour des racks haute densité. Cette solution intègre un POD de racks informatiques avec des systèmes de climatisation et de distribution d'alimentation haute densité dans une unité préfabriquée et prétestée.

**Figure 7**

Exemple de système d'alimentation et de refroidissement modulaire pour une zone de haute densité dédiée dans un datacenter. Modules de 2 à 12 racks informatiques à 20 kW par rack.



Le système illustré par la **figure 7** consiste en un agencement de racks informatiques en un système d'allées chaudes/allées froides. Le principe clé de fonctionnement de ce système est de capter l'intégralité de l'air d'extrait chaud généré par l'équipement informatique en confinant le couloir chaud, puis en refroidissant cet air immédiatement à l'aide d'un climatiseur au niveau du rack. La captation de l'air chaud associée à cette trajectoire d'air courte autorise un refroidissement de très haute densité et permet aussi au système de faire preuve d'un haut rendement. Les performances de ce système sont entièrement indépendantes du site (même dans les lieux où seule une climatisation de confort est disponible) et peut être installée sans faux-plancher.

Les solutions conçues pour faire cohabiter les racks à haute densité et qui utilisent une technologie de haute densité spéciale sont recommandées dans les cas où il est nécessaire de regrouper les racks haute densité. **Toutes les autres solutions réalistes exigent de disperser plus ou moins les équipements à haute densité.**

### Cinquième méthode : refroidissement d'une salle dédiée

*Fournir à la salle la capacité d'alimenter et de refroidir chaque rack à la densité maximale des baies.*

Il s'agit de la solution la plus simple d'un point de vue conceptuel, mais elle n'est jamais mise en œuvre, car les datacenters connaissent des variations importantes de puissance par rack. Concevoir le cas extrême est par conséquent très onéreux et équivaut à du gaspillage. De plus, concevoir pour une densité de puissance de rack globale supérieure à 6 kW par rack nécessite des moyens d'ingénierie et d'analyse extrêmement complexes. Cette approche ne peut devenir logique que dans des situations extrêmes.



## Résumé

Les avantages et inconvénients des cinq méthodes permettant de refroidir des baies haute densité sont résumés dans le **tableau 2**.

**Tableau 2**

*Application des cinq méthodes de refroidissement des baies haute densité*

Méthode	Avantages	Inconvénients	Application
<b>1 Répartition de la charge</b>  <b>Répartir les équipements entre les baies afin de maintenir un niveau de charge maximale acceptable</b>	Fonctionne partout, aucune planification requise  Pratiquement gratuite dans de nombreux cas	La répartition des équipements haute densité doit être encore plus importante que dans la solution 2.  Utilise une plus grande surface au sol  Problèmes possibles au niveau du câblage.	Datacenters existants, si l'équipement à haute densité représente une petite partie de la charge totale
<b>2 Emprunt de capacités de refroidissement</b>  <b>Fournir une capacité de refroidissement moyenne avec des règles permettant l'emprunt de capacités sous-utilisées</b>	Aucune planification requise  Pratiquement gratuite dans de nombreux cas	Limitée à 2 fois la densité de puissance prévue  Utilise une plus grande surface au sol  Nécessite le respect de règles complexes	Datacenters existants, si l'équipement à haute densité représente une petite partie de la charge totale
<b>3 Refroidissement supplémentaire</b>  <b>Fournir une capacité de refroidissement moyenne avec des dispositions pour des équipements de refroidissement supplémentaires</b>	Haute densité où et quand elle est requise  Coûts d'installation différés  Grande efficacité  Utilisation rationnelle de l'espace au sol	Limitée à environ 10 kW par baie  Pour la mise en application de cette solution, les racks et le site doivent faire l'objet d'une conception spécifique en amont	Nouvelles constructions ou rénovations  Environnements mixtes  L'emplacement des équipements haute densité n'est pas connu à l'avance.
<b>4 Zone haute densité</b>  <b>Créer une rangée ou zone haute densité spéciale au sein du datacenter</b>	Densité maximale  Utilisation optimale de l'espace au sol  Aucun besoin en termes de dispersion des équipements  Grande efficacité	Nécessité de connaître à l'avance la taille de la zone de haute densité  Nécessité de séparer l'équipement de haute densité du reste	Densité de 10 à 25 kW par rack  Lorsqu'il est nécessaire de regrouper les appareils haute densité au même endroit.  Nouvelles constructions ou rénovations
<b>5 Salle dédiée</b>  <b>Fournir une capacité de refroidissement haute densité pour chaque rack</b>	Supporte tous les scénarios futurs	Coûts d'installation et de fonctionnement très élevés, 4 fois supérieurs aux autres méthodes  Risque de sous-utilisation importante d'une infrastructure coûteuse	Rare. Concerne de grandes installations d'équipement haute densité où l'espace disponible est très réduit.

## L'intérêt de la concentration

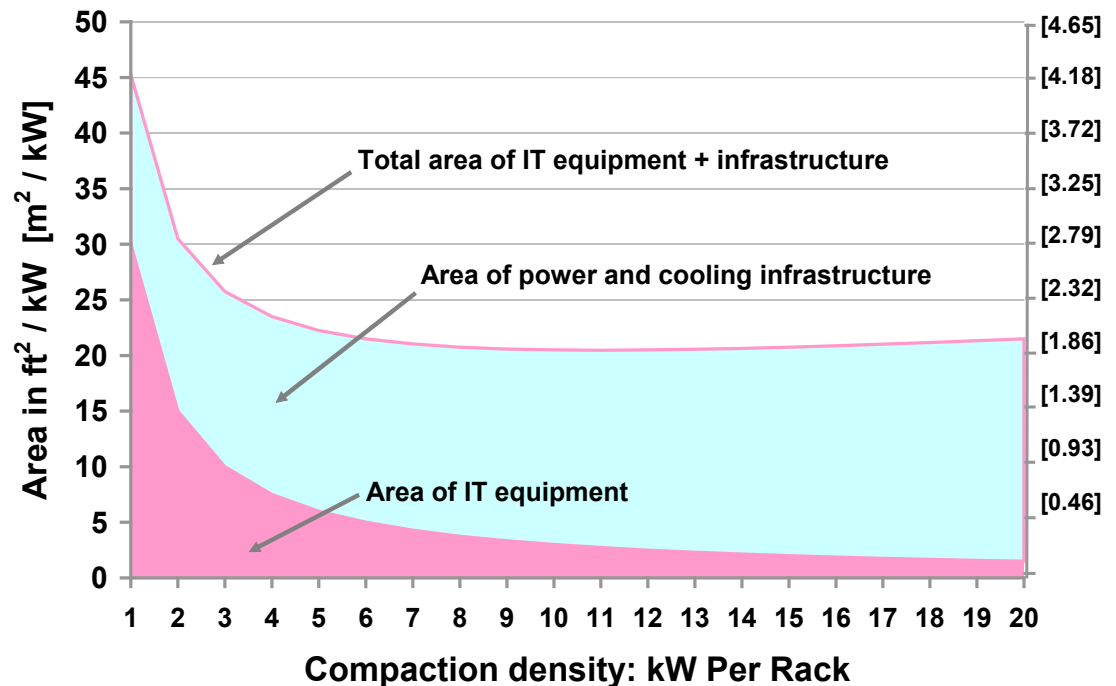
Les sections précédentes ont identifié divers obstacles liés aux coûts élevés, à la complexité et à la fiabilité associés aux installations à haute densité de puissance. Ces problèmes doivent être résolus pour pouvoir déployer des datacenters de haute densité. Pourtant, les prévisions dominantes des publications commerciales du secteur indiquent que la concentration des datacenters est inévitable et en cours, en raison des avantages en termes de coût et d'économie d'espace que l'on associe à cette concentration. Ces données

suggèrent qu'une concentration croissante par l'augmentation de la densité sans une réduction fondamentale de la consommation électrique n'est pas rentable.

La **figure 8** présente la surface d'un datacenter par kW en fonction de la densité de puissance des équipements informatiques. Lorsque la densité des équipements informatiques augmente, la surface immobilière consacrée à cet équipement chute, comme le montre la courbe inférieure. Pourtant, cela ne correspond à aucune diminution de la surface immobilière consacrée à l'infrastructure d'alimentation et de refroidissement. Lorsque la densité de puissance dépasse environ 2,5 kW par rack, la surface utilisée par les équipements d'alimentation et de refroidissement dépasse, en fait, la surface de l'équipement informatique. **Une concentration au-delà de 4 à 5 kW par rack environ n'engendre finalement pas de réduction supplémentaire de la surface totale.**

**Figure 8**

Surface de datacenter par kW de capacité en fonction de la densité de puissance de rack



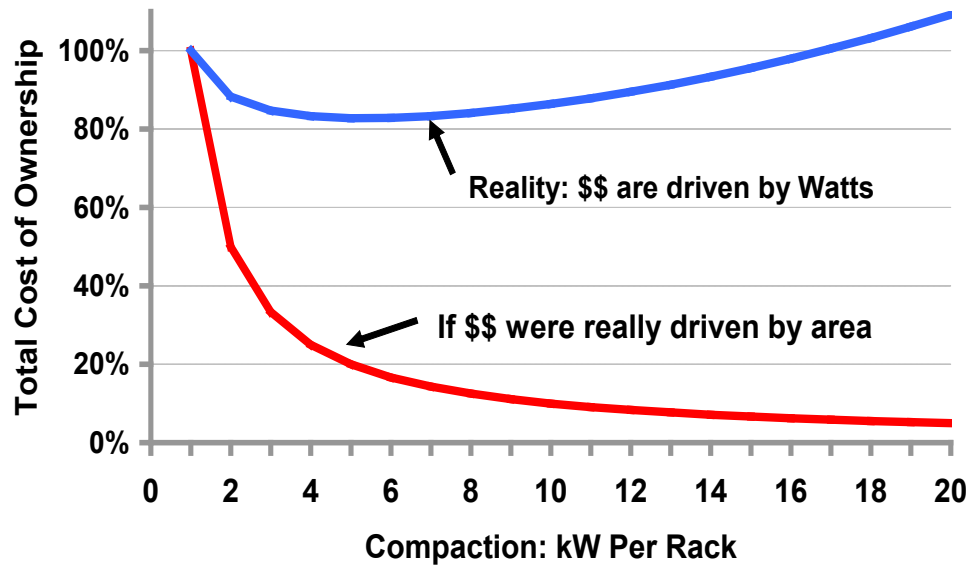
Une croyance implicite et largement répandue concernant la concentration consiste à penser que, fondamentalement, les coûts des datacenters sont fonction de la surface et que réduire la surface par le biais de la concentration réduit les coûts. La **figure 9** présente le coût total de possession d'un datacenter sur sa durée de vie en fonction de la densité de puissance de l'équipement informatique. Lorsque la densité de l'équipement informatique augmente, le résultat couramment attendu est que le coût total de possession diminue proportionnellement, comme l'indique la courbe inférieure de la figure. Or, 75 % du coût total de possession des datacenters dépend en réalité de l'alimentation et seuls 25 % des coûts dépendent de la surface.

En outre, les coûts par watt augmentent avec l'augmentation de la densité de puissance du fait des facteurs précédemment décrits. **Par conséquent, le coût total de possession ne diminue pas sensiblement avec l'augmentation de la densité de puissance, mais augmente en fait au-delà d'une densité de puissance optimale, qui est de l'ordre de 6 kW par baie.**



**Figure 9**

Variation du coût total de possession de datacenters tout au long de leur durée de vie en fonction de la densité de puissance de rack



Les avantages d'une augmentation de la densité de puissance des équipements informatiques sont limités. Cependant, il y a un véritable intérêt à réduire la consommation électrique des équipements informatiques car, comme l'ont montré les sections précédentes, la surface des datacenters et le coût total de possession sont fortement affectés par la consommation électrique. Le **tableau 3** montre comment des réductions supplémentaires de la consommation électrique et de la taille des équipements informatiques affectent la surface et le coût total de possession des datacenters. En comparaison du cas de base type, les réductions de la consommation électrique présentent des avantages bien plus importants que des réductions proportionnelles de taille.

**Tableau 3**

Économies de surface et de coût total de possession de datacenters par la réduction de la taille et de la consommation électrique des équipements informatiques

Amélioration de l'équipement informatique	Économie d'espace	Économies de coûts de possession	Analyse
Réduction de 50 % de la taille, même consommation électrique	14 %	4 %	Les économies de surface attendues ne sont pas réalisées car la surface du système d'alimentation et de refroidissement domine Les économies de coût de possession ne sont pas réalisées car ces derniers sont inférieurs aux coûts d'alimentation
Réduction de 50 % de la consommation électrique, même taille	26 %	35 %	De grandes économies d'espace proviennent des économies effectuées sur l'espace d'alimentation et de refroidissement Grandes économies de coûts de possession car ces derniers sont inférieurs aux coûts d'alimentation

Les serveurs lames, en raison de leur infrastructure de châssis qui partage les alimentations et les ventilateurs de refroidissement, atteignent 20 à 40 % de réduction de la consommation électrique par rapport aux serveurs classiques à puissance informatique équivalente. Ces économies représentent une diminution considérable du coût total de possession,

car celui-ci est dominé par les coûts d'alimentation et non par les coûts liés à l'espace informatique.

***Contrairement à la croyance commune, le principal avantage des serveurs lames en termes de coût total de possession de l'infrastructure physique du datacenter réside dans leur consommation électrique inférieure et NON dans leur moindre encombrement de l'espace. Il est inutile d'installer les serveurs lames à haute densité pour bénéficier de cette réduction du coût total de possession.***

## Stratégie optimale de refroidissement

À partir des informations présentées dans ce document, il est possible de concevoir une stratégie cohérente qui soit optimale pour la plupart des installations. Cette stratégie utilise une combinaison des approches précédemment décrites. Elle est résumée dans le **tableau 4**.

### Tableau 4

*Stratégie applicable permettant d'optimiser le refroidissement lors du déploiement d'un équipement informatique de haute densité*

Amélioration de l'équipement informatique	Analyse
1) Ignorer la taille physique de l'équipement informatique et se concentrer sur la fonctionnalité par watt consommé.	Il s'agit d'une manière efficace de minimiser la surface et le coût total de possession.
2) Concevoir le système pour permettre l'installation ultérieure de dispositifs de refroidissement supplémentaires.	Cela permet d'installer plus tard un équipement de refroidissement supplémentaire au moment et à l'endroit nécessaire dans le datacenter en fonctionnement, afin de répondre à des besoins futurs incertains.
3) Choisir une densité de puissance de base pour les nouvelles installations entre 0,4 et 1,1 kW/m <sup>2</sup> ; 0,9 kW/m <sup>2</sup> (2 800 W/baie en moyenne) étant une valeur adéquate pour la plupart des nouvelles installations	La densité de puissance de base doit être choisie de manière à éviter un gaspillage trop important dû à un surdimensionnement. Si l'on conserve cette densité au-dessous de 1,1 kW/m <sup>2</sup> , les performances et la capacité de redondance deviennent prévisibles.
4) Lorsque la proportion de charges de haute densité est élevée et prévisible, établir et équiper des zones spéciales de haute densité de 1,1 à 4,3 kW/m <sup>2</sup> (3 à 12 kW par baie) dans le datacenter	Lorsqu'on sait à l'avance qu'une zone de haute densité est nécessaire et qu'il n'est pas possible de répartir la charge. Cela peut augmenter sensiblement les coûts et les délais et compliquer la conception du datacenter. Ces zones utiliseront des équipements de refroidissement spécialisés et non une conception standard de faux-plancher.
5) Établir des politiques et des règles déterminant l'alimentation pouvant être fournie pour toute baie, en fonction de son emplacement et des charges voisines.	Lorsque la connaissance des capacités de l'installation est combinée à la gestion de l'alimentation, la mise en place de règles pour les installations de nouveaux équipements peut réduire les zones de réchauffement, assurer une redondance du refroidissement, augmenter l'efficacité du refroidissement du système et réduire la consommation électrique. Des règles et une gestion plus sophistiquées peuvent autoriser des densités de puissance élevées.
6) Utiliser des dispositifs de refroidissement supplémentaires en cas de besoin.	Installer des dispositifs de refroidissement supplémentaires au moment et à l'endroit nécessaires permet d'augmenter la capacité de refroidissement d'une zone du datacenter jusqu'à 3 fois la valeur de conception afin d'accepter des équipements de haute densité.
7) Diviser les équipements dont l'installation ne respecte pas les règles	Option engendrant les coûts les plus bas et les risques les moins élevés, mais qui peut nécessiter un espace considérable lorsque les charges de haute densité sont plus importantes. La plupart des utilisateurs n'ayant pas de limite de surface choisissent cette option comme stratégie principale.

## Conclusion

La densité de puissance maximale de rack de la dernière génération d'équipement informatique de haute densité est environ 10 fois la densité de puissance moyenne de rack des datacenters existants. Un nombre important de baies informatiques de datacenters actuels fonctionnent à la moitié de cette densité de puissance maximale.

Les méthodes et dispositions actuelles des datacenters ne peuvent pas fournir le refroidissement nécessaire aux équipements de haute densité du fait des limites des systèmes de ventilation et de la difficulté de fournir une redondance et un refroidissement ininterrompu pendant le passage à un fonctionnement sur groupe électrogène.

Lorsque l'objectif consiste à réduire la surface des datacenters et le coût total de possession, les clients doivent considérer l'acquisition d'un équipement informatique en se basant sur la fonctionnalité fournie par watt et ignorer la taille physique de l'équipement. Cette conclusion inattendue s'explique par le fait qu'au-delà de  $0,6 \text{ kW/m}^2$ , l'alimentation a un effet plus important que la taille de l'équipement sur le coût de possession et la surface.

Diverses solutions permettent de déployer efficacement des équipements informatiques de haute densité pour des environnements classiques. Alors que la conception de datacenters entiers de haute densité reste impossible en pratique, des datacenters peuvent supporter une installation limitée d'équipements de haute densité en utilisant des systèmes supplémentaires de refroidissement, des règles permettant d'emprunter une capacité voisine sous-utilisée et enfin en répartissant la charge entre plusieurs baies.

Lorsqu'une installation est projetée avec un fort pourcentage de baies haute densité et qu'il n'est pas possible de répartir les équipements, la seule option est de fournir cette capacité à chaque baie. Cependant, la hauteur et la surface utilisées dans de tels datacenters seront significativement supérieures à celles des installations standard, afin d'assurer une circulation de l'air suffisante.

Malgré les indications fournies par les revues commerciales sur des densités de conception de datacenters de  $3,2$  à  $6,5 \text{ kW/m}^2$ , atteindre de telles densités reste hors de portée en raison de coûts supplémentaires importants et de la difficulté d'obtenir une disponibilité élevée avec de telles densités. Certaines installations actuelles de datacenters présentant une disponibilité et des performances élevées sont prévisibles et possibles dans une fourchette de  $0,4$  à  $1,1 \text{ kW/m}^2$  ( $1,2$  à  $3 \text{ kW}$  de moyenne par rack). Ces installations peuvent s'adapter à des charges pouvant atteindre 3 fois la valeur de conception en profitant de la diversité de la charge et en utilisant des dispositifs de refroidissement supplémentaires.



### À propos de l'auteur

**Neil Rasmussen** est vice-président sénior du service Innovation de Schneider Electric. Il est en charge de la direction technique du plus gros budget du monde consacré à la recherche et au développement de l'infrastructure physique (alimentation, climatisation, rack) de réseaux critiques.

Neil Rasmussen détient 19 brevets liés au haut rendement et à l'infrastructure d'alimentation et de refroidissement des datacenters à haute densité. Il a publié plus de 50 livres blancs dédiés aux systèmes d'alimentation et de refroidissement, dont une grande partie ont été traduits dans plus de 10 langues. Il s'est récemment intéressé plus spécifiquement à l'amélioration du rendement énergétique. C'est un conférencier reconnu dans le monde entier s'agissant des datacenters à haut rendement. Neil Rasmussen travaille actuellement au développement d'infrastructures évolutives à haut rendement et haute densité pour les datacenters. C'est l'un des principaux architectes du système InfraStruXure d'APC.

Avant de fonder APC en 1981, Neil a obtenu un diplôme d'ingénieur et une maîtrise en génie électrique au Massachusetts Institute of Technology avec 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.



## Ressources

Cliquez sur l'icône pour accéder aux ressources



### Confinement de l'allée chaude / Confinement de l'allée froide

Livre Blanc 135



### Erreurs compromettant les performances de refroidissement des datacenters et des salles réseaux et pouvant être évitées

Livre Blanc 49



### Optimisation des performances de refroidissement d'un rack à l'aide de panneaux-caches

Livre Blanc 44



### Architecture pour la distribution d'air dans les installations critiques

Livre Blanc 55



### Consultez tous les livres blancs

[whitepapers.apc.com](http://whitepapers.apc.com)



### Consultez tous les outils

TradeOff Tools™

[tools.apc.com](http://tools.apc.com)



## Contactez-nous

Pour des commentaires sur le contenu de ce livre blanc:

Datacenter Science Center  
[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 **Schneider Electric**  
[www.apc.com/support/contact/index.cfm](http://www.apc.com/support/contact/index.cfm)