

Avantages des architectures de refroidissement par rangée et par baie pour les centres de données

Par Kevin Dunlap
Neil Rasmussen

Livre blanc n°130

APC[®]
Legendary Reliability[®]

Résumé de l'étude

Le refroidissement par salle n'est pas une approche efficace pour la nouvelle génération de centres de données. En effet, les équipements informatiques de dernière génération, à haute densité et à densité variable, créent des conditions pour lesquelles les systèmes de refroidissement par salle n'ont jamais été conçus et qui les rendent inefficaces, imprévisibles et inaptes à fournir une densité de puissance élevée. Des architectures de refroidissement par rangée et par baie ont été développées pour résoudre ces problèmes. Ce livre blanc compare les architectures par salle, par rangée et par baie, et explique pourquoi le refroidissement par rangée s'imposera comme la solution privilégiée pour la plupart des centres de données de nouvelle génération.

Introduction

La puissance électrique fournie aux charges informatiques d'un centre de données se transforme, à terme, en chaleur résiduelle qu'il faut supprimer pour éviter les surchauffes. Presque tous les équipements informatiques sont refroidis par air : chacun aspire l'air ambiant et rejette de la chaleur résiduelle avec l'air évacué. Un centre de données pouvant contenir des milliers d'appareils informatiques, il s'y forme des milliers de trajectoires d'écoulement d'air chaud dont l'ensemble représente la chaleur résiduelle totale en sortie du centre, qui doit être neutralisée. Le système de climatisation du centre de données doit capter efficacement cet écoulement non idéal de chaleur résiduelle et l'éjecter à l'extérieur de la salle.

Traditionnellement, un centre de données est refroidi selon la méthode du refroidissement par salle. Avec cette approche, un ou plusieurs systèmes de climatisation fonctionnant en parallèle introduisent de l'air froid dans le centre de données et en évacuent l'air ambiant plus chaud. Son principe de base, c'est que les systèmes de climatisation fournissent une capacité de refroidissement brut et servent aussi à brasser l'air en permanence dans la salle pour l'amener à une température moyenne homogène et éviter la formation de points chauds. Cette approche n'est efficace que si la puissance nécessaire au brassage de l'air ne représente qu'une petite fraction de la consommation totale du centre de données. Les données de simulation et l'expérience montrent que ce système est efficace quand la densité de puissance moyenne est de l'ordre de 1 à 2 kW par baie, soit 323 à 753 W/m². Malheureusement, les densités de puissance des équipements informatiques modernes font grimper la densité de puissance de pointe à 20 kW par baie voire plus, situation dans laquelle les données de simulation et l'expérience montrent que le refroidissement par salle basé sur le brassage de l'air ne fonctionne plus efficacement.

Pour résoudre ce problème, on constate l'émergence de nouvelles méthodes de refroidissement par rangée ou par baie où les systèmes de climatisation sont spécifiquement intégrés à des rangées de baies ou à des baies individuelles. Ces approches procurent de nombreux avantages, notamment une bien meilleure prévisibilité, une densité plus élevée et une plus grande efficacité. Ce livre blanc décrit et compare les différentes approches. Il montre que chaque approche correspond à des applications précises et que le refroidissement par rangée devrait supplanter le refroidissement par salle pour les applications à plus haute densité.

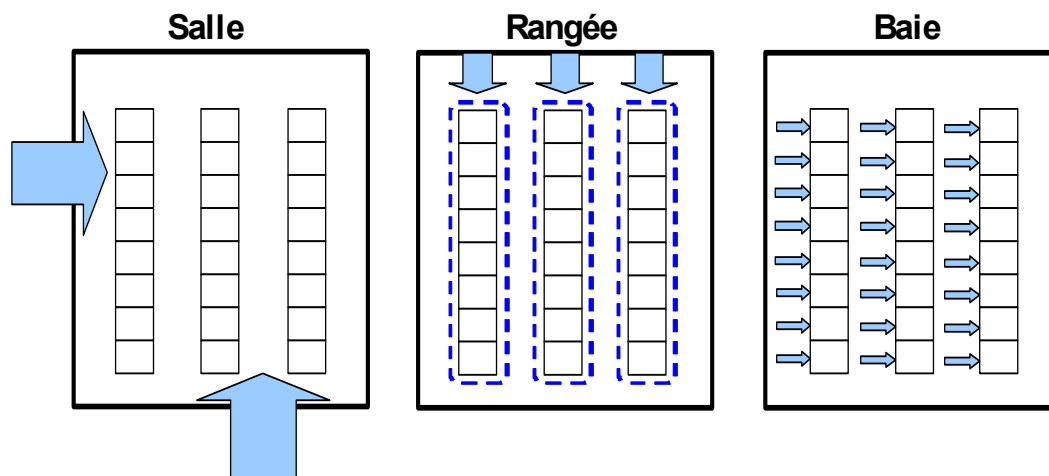
Architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie

Le système de climatisation d'un centre de données remplit deux fonctions essentielles : fournir la capacité de refroidissement et distribuer l'air aux charges informatiques. La première fonction est la même pour toutes les architectures de refroidissement : la capacité volumétrique de refroidissement en kilowatts du système de climatisation doit évacuer la totalité de la charge (en kW) de l'équipement informatique.

Les diverses technologies qui remplissent cette fonction sont les mêmes pour les trois architectures qui nous intéressent. La principale différence entre les architectures de refroidissement tient à la façon dont elles remplissent la seconde fonction critique, à savoir la distribution d'air aux charges. Contrairement à la distribution d'alimentation électrique, contrainte d'emprunter des câbles et constituant un aspect concret et visible de la conception, l'écoulement d'air n'est que sommairement canalisé par la conception de la salle, il n'est pas visible et varie considérablement suivant les installations. Contrôler la circulation de l'air est l'objectif principal des différents types de systèmes de refroidissement.

Les plans au sol de la **figure 1** illustrent les trois architectures de base. Les carrés noirs représentent les baies disposées en rangées et les flèches bleues représentent l'association logique entre les systèmes de climatisation (unités CRAC) et les charges des baies informatiques. La disposition réelle des unités CRAC peut varier. Dans une architecture de refroidissement par salle, les unités CRAC sont associées à la salle ; dans une architecture de refroidissement par rangée, elles sont associées à des rangées ou à des groupes ; dans une architecture de refroidissement par baie, elles sont associées aux baies individuelles.

Figure 1 – Plans au sol présentant le concept de base des architectures de refroidissement par salle, rangée et baie. Les flèches bleues montrent comment la salle est alimentée en air



Les sections suivantes décrivent de façon succincte les principes de fonctionnement de base de chaque méthode.

Architecture de refroidissement par salle

Dans une architecture de refroidissement par salle, les unités CRAC sont associées à la salle et fonctionnent ensemble pour traiter la charge thermique totale de la salle. Un ou plusieurs systèmes de climatisation fournissent de l'air froid non canalisé par des conduites, des registres, des bouches d'aération, etc., ou la fourniture et/ou le retour d'air peuvent être partiellement canalisés par un système de faux-plancher ou par une conduite de retour sur faux plafond. Pour plus d'informations, reportez-vous au livre blanc n°55 d'APC, « Options d'architecture pour la distribution d'air dans les installations critiques ».

L'attention portée à la circulation de l'air au stade de la conception varie beaucoup. Pour les plus petites salles, l'agencement des baies et la circulation de l'air ne sont pas forcément planifiés. Pour les grandes installations plus complexes, il est possible d'utiliser des faux-planchers pour distribuer l'air dans des agencements en allées chaudes et froides conçus de façon ingénieuse pour diriger la circulation d'air et l'aligner sur les armoires informatiques.

Le refroidissement par salle est largement tributaire des contraintes propres à la salle comme la hauteur du plafond, la forme de la salle, les obstacles au sol et sous le plancher, l'agencement des baies, l'emplacement des unités CRAC, la distribution de l'alimentation entre les charges informatiques, etc. Il ne permet pas de prévoir précisément des performances par ailleurs peu homogènes, en particulier quand la densité de puissance augmente. Il peut donc être nécessaire de recourir à des simulations informatiques complexes baptisées CFD (*computational fluid dynamics*, dynamique de calcul des fluides) pour mieux comprendre les performances de la conception de certaines installations. De plus, des changements comme le déplacement, l'ajout et l'adaptation d'équipements informatiques risquent d'invalider le modèle de performance et supposent des analyses et/ou des tests supplémentaires. En particulier, assurer la redondance des unités CRAC relève d'une analyse très compliquée difficile à valider.

L'impossibilité d'utiliser la capacité nominale totale des unités CRAC est un autre inconvénient majeur de l'architecture de refroidissement par salle. Cela tient à la conception de la salle et se produit quand une part importante du cheminement de la distribution d'air à partir des unités CRAC contourne les charges informatiques et revient directement à ces unités. Cet air « détourné » ne contribue pas au refroidissement des charges et représente une réduction de la capacité de refroidissement totale. Les besoins de refroidissement des charges informatiques peuvent alors excéder la capacité de refroidissement des unités CRAC, même quand la capacité de refroidissement supplémentaire (en kW) des unités CRAC n'est pas totalement utilisée. Ce problème est traité plus en détail dans le livre blanc APC n°49, « Erreurs compromettant les performances de refroidissement des centres de données et des salles réseaux et pouvant être évitées ».

Architecture de refroidissement par rangée

Avec ce type d'architecture, les unités CRAC sont associées à une rangée et sont supposées lui être dédiées. Elles peuvent être montées parmi les baies informatiques, au plafond ou sous le plancher. Par rapport à une architecture de refroidissement par salle, les trajectoires de ventilation sont plus courtes et plus clairement définies. De plus, la circulation de l'air étant beaucoup plus prévisible, la totalité de la capacité nominale des unités CRAC peut être utilisée et une densité de puissance plus importante peut être obtenue.

Le refroidissement par rangée offre divers avantages annexes, en plus des performances de refroidissement. Les trajectoires de ventilation plus courtes réduisent la puissance requise des ventilateurs des unités CRAC, d'où un gain d'efficacité. Cet avantage est loin d'être mineur si l'on considère que dans de nombreux centres de données à faible charge, la perte de puissance de ces seuls ventilateurs est supérieure à la puissance consommée par la charge informatique totale.

Le refroidissement par rangée permet de cibler la capacité de refroidissement et la redondance en fonction des besoins réels de rangées spécifiques. Par exemple, il permet de dédier une rangée de baies à des applications haute densité comme un serveur lame, une autre rangée étant réservée aux applications à plus faible densité de puissance comme les armoires de communication. En outre, la redondance N+1 ou 2N peut être ciblée pour certaines rangées.

Le refroidissement par rangée peut être mis en œuvre sans faux-plancher. Cela augmente la capacité porteuse du plancher, réduit les coûts d'installation, évite de devoir installer des rampes d'accès et permet d'implanter des centres de données dans des bâtiments dont la hauteur de plafond ne suffirait pas pour permettre l'installation d'un faux-plancher. Ce problème est particulièrement crucial pour les installations haute densité où une hauteur de faux-plancher d'un mètre ou plus est requise. Les **figures 2a** et **2b** présentent des exemples de refroidissement par rangée.

Figure 2a – Solution de refroidissement par rangée

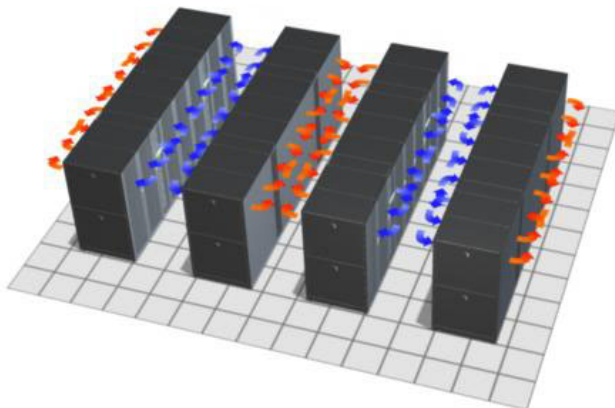


Figure 2b – Solution de refroidissement suspendu



Le système de refroidissement de la **figure 2a** peut aussi être configuré en tant que système de confinement des allées chaudes qui étend la capacité de la densité de puissance. Il rend les performances plus prévisibles en éliminant les risques de brassage d'air.

La géométrie simple et prédéfinie de l'architecture de refroidissement par rangée se traduit par des performances prévisibles qui peuvent être caractérisées complètement par le fabricant et qui sont relativement insensibles à la forme ou à d'autres contraintes spécifiques à la salle. Cela simplifie à la fois la spécification et la mise en œuvre de ces conceptions, en particulier pour des densités de plus de 5 kW par baie. La spécification de la densité de puissance est définie en détail dans le livre blanc APC n°120, « Les étapes de spécification de la densité de puissance des centres de données ».

On entend dire que cette architecture nécessite toujours plus d'unités CRAC qu'une architecture de refroidissement par salle, ce qui n'est pas nécessairement vrai, en particulier quand la densité de puissance est élevée. Nous reviendrons sur ce point plus tard.

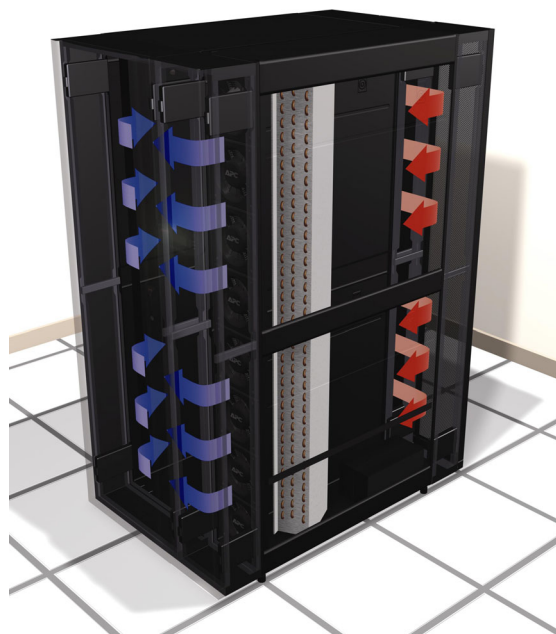
Architecture de refroidissement par baie

Avec ce type d'architecture, les unités CRAC sont associées à une baie et sont supposées lui être dédiées. Ces unités sont montées directement sur ou dans les baies informatiques. Par rapport au refroidissement par salle ou par rangée, les trajectoires de ventilation sont encore plus courtes et définies précisément, et donc tout à fait insensibles à une modification de l'installation ou aux contraintes propres à la salle. Toute la capacité nominale des unités CRAC peut être utilisée et la densité de puissance la plus élevée (jusqu'à 50 kW par baie) peut être obtenue. La **figure 3** présente un exemple de refroidissement par baie.

À l'instar du refroidissement par rangée, le refroidissement par baie présente des caractéristiques uniques, en plus d'une capacité de densité extrême. La trajectoire de ventilation plus courte réduit la puissance requise des ventilateurs des unités CRAC, d'où un gain d'efficacité. Comme nous l'avons déjà dit, cet avantage est loin d'être mineur puisque dans beaucoup de centres de données à faible charge, la perte de puissance des seuls ventilateurs des unités CRAC excède la puissance consommée de la charge informatique totale.

Un système de refroidissement par baie permet d'adapter la capacité de refroidissement et la redondance aux besoins des baies, et par exemple de prévoir des densités de puissance différentes pour les serveurs lames et les armoires de communication. En outre, la redondance N+1 ou 2N peut être ciblée pour certaines baies. En revanche, une architecture de refroidissement par rangée permet seulement de spécifier ces caractéristiques au niveau de la rangée, et une architecture de refroidissement par salle permet seulement de les spécifier au niveau de la salle.

Figure 3 – Solution de refroidissement par baie complètement intégrée à la baie



L'architecture de refroidissement par baie offre des performances prévisibles qui peuvent être complètement caractérisées par le fabricant et qui sont totalement insensibles à la forme de la salle ou à d'autres contraintes spécifiques à la salle. Elle facilite donc la spécification de la densité de puissance et la mise en œuvre de la densité spécifiée. La spécification de la densité de puissance est définie en détail dans le livre blanc APC n°120, « Les étapes de spécification de la densité de puissance des centres de données ».

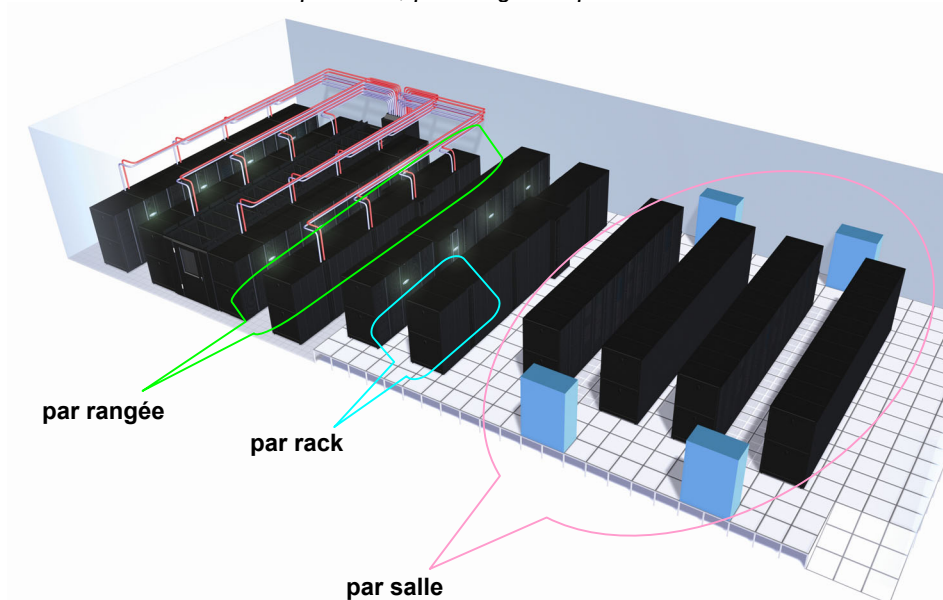
Le principal inconvénient de cette approche, c'est qu'elle requiert beaucoup plus de conduites et de dispositifs de climatisation que les autres approches, en particulier quand la densité de puissance est faible. Nous préciserons ce point plus tard.

Architecture mixte

Rien n'empêche d'utiliser les architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie ensemble dans la même installation. En fait, cette utilisation mixte présente très souvent des avantages.

Plus précisément, un centre de données caractérisé par un large spectre de densités de puissance pourra bénéficier des avantages des trois architectures présentées à la **figure 4** :

Figure 4 – Plan au sol d'un système utilisant simultanément les architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie



- Refroidissement par salle : conçu pour une salle mais avant tout pour une zone à faible densité d'équipements hétérogènes comme des équipements de communication, des serveurs de faible densité et des équipements de stockage. Cible : 1 à 3 kW par baie, 323-861 W/m²
- Refroidissement par rangée : conçu pour une zone à haute ou très haute densité accueillant des serveurs lames ou des serveurs 1U.
- Refroidissement par baie : conçu pour les baies isolées à haute ou très haute densité.

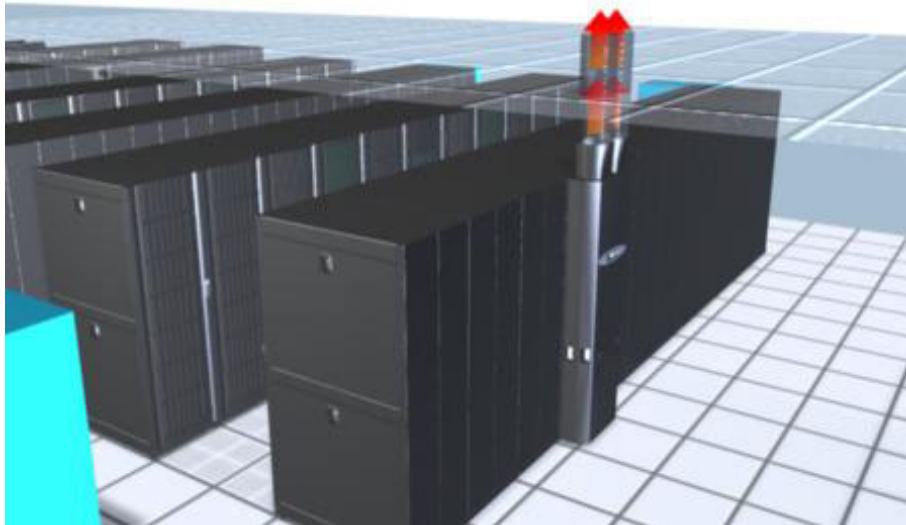
Les architectures de refroidissement par rangée et par baie sont également efficaces pour le passage à des densités supérieures dans des salles à faible densité. Dans ce cas, de petits groupes de baies d'un centre de données existant sont équipés de systèmes de refroidissement par rangée ou par baie. Ce type d'équipement isole efficacement les nouvelles baies à haute densité et les rend « neutres sur le plan thermique » pour le système de refroidissement par salle existant. Il permet donc d'ajouter des charges haute densité à un centre de données faible densité sans qu'il soit nécessaire de modifier le système de refroidissement par salle. Une fois déployée, cette approche correspond à l'architecture mixte de la **figure 4** ci-dessus.

Systèmes hybrides

Il existe d'autres technologies de refroidissement que leurs propriétés ne permettent pas de classer dans l'une des trois architectures définies ci-dessus et qui possèdent des caractéristiques de chacune de ces architectures.

Les systèmes d'évacuation d'air chaud par gaines capturent l'air évacué au niveau de la baie et le réinjectent directement dans un système de refroidissement par salle. Ils présentent certains des avantages des systèmes de refroidissement par baie mais peuvent s'intégrer à un système de refroidissement par salle existant ou prévu. Ce genre d'équipement est illustré à la **figure 5**.

Figure 5 – Évacuation de l'air chaud au niveau d'une baie vers le faux-plafond



Comparaison des avantages des architectures de refroidissement

Pour ne pas se tromper lors du choix de l'architecture de refroidissement de nouveaux centres de données ou de centres mis à niveau, il est essentiel de mettre en relation les caractéristiques de performance des architectures avec les problèmes pratiques qui affectent la conception et le fonctionnement des centres de données. Une étude menée auprès d'opérateurs de centres de données suggère que ces problèmes peuvent être regroupés dans les catégories suivantes :

- Adaptabilité
- Disponibilité du système
- Coûts du cycle de vie (coût total de possession)
- Facilité d'entretien
- Gérabilité

Dans cette section, nous passons en revue chacune des catégories identifiées par les utilisateurs et nous examinons en détail comment chaque architecture gère les principaux problèmes de refroidissement. Les objectifs prioritaires sont mentionnés en premier sous chaque catégorie ; ils ont été déterminés à partir des réponses des personnes interrogées dans le cadre de l'étude.

Objectifs d'adaptabilité

Les utilisateurs de centres de données ont identifié les objectifs d'**adaptabilité** présentés dans le **tableau 1** comme des enjeux majeurs du refroidissement. Le tableau évalue aussi l'efficacité des différentes architectures par rapport à ces objectifs.

Tableau 1 – Efficacité des architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie par rapport aux objectifs d'adaptabilité. Les meilleures performances sont en bleu.

Objectifs d'adaptabilité			
Objectifs	Baie	Rangée	Salle
Prévoir une densité de puissance en augmentation et imprévisible	Solution modulaire qui peut être déployée par incréments au niveau des baies pour une densité spécifique ciblée	Solution modulaire qui peut être déployée par incréments au niveau des rangées ciblant une densité spécifique	Solution complexe à mettre à niveau ou à adapter, généralement déployée avant l'identification d'un besoin
Alléger l'effort d'ingénierie requis pour les installations personnalisées	Les spécificités de la salle n'ont pas d'effets sur la solution ; l'agencement des baies peut être complètement arbitraire.	Les spécificités de la salle n'ont pas d'effets quand les rangées sont agencées de façon standard ; configuration à l'aide d'outils simples.	Une analyse CFD complexe et différente pour chaque salle est nécessaire.
S'adapter à des besoins en constante évolution ou à la densité de puissance	La capacité de refroidissement inutilisée ne peut pas être utilisée par d'autres baies.	La capacité de refroidissement est bien définie et peut être partagée par un groupe de baies.	Tout changement peut engendrer une surchauffe ; une analyse complexe est requise pour s'assurer que la redondance et la densité sont appropriées.
Ajouter une capacité de refroidissement à un espace existant	Possibilité d'ajouter de nouvelles charges complètement isolées du système de refroidissement existant, limitation à la capacité de refroidissement par baie.	Possibilité d'ajouter de nouvelles charges complètement isolées du système de refroidissement existant ; chaque système de refroidissement supplémentaire augmente la densité de la rangée.	Peut nécessiter l'arrêt du système de refroidissement existant ; requiert un important effort d'ingénierie.
Déployer une solution de refroidissement très souple avec un minimum de reconfiguration	Il peut être nécessaire d'adapter les baies ou de déplacer des équipements informatiques pour accueillir la nouvelle architecture.	Nécessité d'espacer les rangées de baies ou de modifier l'infrastructure au plafond pour la nouvelle architecture	Possibilité de reconfigurer rapidement les dalles au sol pour modifier le circuit de refroidissement pour les densités de puissance < 3 kW

Objectifs de disponibilité

Les utilisateurs de centres de données ont identifié les objectifs de **disponibilité** présentés dans le **tableau 2** comme des enjeux majeurs du refroidissement. Le tableau évalue aussi l'efficacité des différentes architectures par rapport à ces objectifs.

Tableau 2 – Efficacité des architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie par rapport aux objectifs de disponibilité. Les meilleures performances sont surlignées en bleu.

Objectifs de disponibilité			
Objectifs	Baie	Rangée	Salle
Éliminer les points chauds	Couplage étroit entre élimination et génération de chaleur pour éviter le brassage L'écoulement d'air est circonscrit à la baie.	Couplage étroit entre élimination et génération de chaleur pour éviter le brassage	Les voies d'alimentation et de retour favorisent le brassage ; pose de gaines nécessaire pour séparer les flux d'air.
Assurer la redondance quand elle est nécessaire	Capacité de refroidissement 2N requise pour chaque baie ; de nombreux systèmes de refroidissement par baie ne prévoient pas la redondance.	Utilise une capacité N+1 partagée sur le retour d'air commun	Analyse CFD complexe requise pour modéliser les modes d'échec ; redondance localisée requise.
Éviter les variations de température à l'avant de la baie	La chaleur est capturée à l'arrière de la baie avant d'être mélangée à de l'air froid.	La chaleur est capturée à l'arrière de la baie avant d'être mélangée à de l'air froid.	L'air chaud peut revenir à l'avant de la baie si la fourniture ou l'évacuation de chaleur est insuffisante.
Minimiser la possibilité de fuites de liquides dans l'installation stratégique	Fonctionne à des températures de retour plus élevées pour réduire ou supprimer l'extraction d'humidité et les sources d'appoint. Le refroidissement ciblé par baie nécessite des conduits et des points de fuite.	Fonctionne à des températures de retour plus élevées pour réduire ou supprimer l'extraction d'humidité et les sources d'appoint.	Le retour d'air brassé favorise la condensation et renforce le besoin d'humidification
Minimiser les erreurs humaines	Les solutions standardisées sont bien documentées et exploitables par n'importe quel utilisateur.	Les solutions standardisées sont bien documentées et exploitables par n'importe quel utilisateur.	Un système personnalisé suppose un opérateur spécialisé et très bien formé.

Objectifs liés aux coûts du cycle de vie

Les utilisateurs de centres de données ont identifié les objectifs **liés aux coûts du cycle de vie** présentés dans le **tableau 3** comme des enjeux majeurs du refroidissement. Le tableau évalue aussi l'efficacité des différentes architectures par rapport à ces objectifs.

Tableau 3 – Efficacité des architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie par rapport aux objectifs liés aux coûts du cycle de vie. Les meilleures performances sont surlignées en bleu.

Objectifs liés aux coûts du cycle de vie			
Objectifs	Baie	Rangée	Salle
Optimiser l'investissement et l'espace disponible	Un système dédié pour chaque baie risque d'entraîner un surdimensionnement et un gaspillage de capacité.	Possibilité de répondre aux besoins de refroidissement d'une capacité installée nettement supérieure	Il est difficile de prévoir les performances du système, d'où un surdimensionnement fréquent.
Accélérer le déploiement	Système préfabriqué qui supprime ou réduit la planification et l'ingénierie	Système préfabriqué qui supprime ou réduit la planification et l'ingénierie	Nécessite une ingénierie spécifique qui peut excéder la demande de l'organisation
Réduire le coût des contrats d'entretien	Les composants standardisés réduisent le temps d'entretien et facilitent l'entretien par l'utilisateur. Nombre d'unités probablement plus élevé avec un ratio de 1:1 avec les baies informatiques.	Les composants standardisés réduisent le temps d'entretien et facilitent l'entretien par l'utilisateur.	Contrats d'entretien spécialisés requis pour les composants personnalisés
Quantifier le retour sur investissement des améliorations du système de refroidissement	Les composants standardisés permettent de mesurer précisément les performances du système.	Les composants standardisés permettent de mesurer précisément les performances du système.	Il est difficile de prévoir les performances de solutions élaborées par les clients.
Maximiser l'efficacité de fonctionnement en corrélant capacité et charge	Le système de refroidissement sera vraisemblablement surdimensionné et son potentiel ne sera pas exploité en totalité.	Capacité de refroidissement correctement dimensionnée pour la charge de refroidissement, harmonisant la charge thermique à la capacité installée	La distribution d'air impose une capacité surdimensionnée ; la pression requise pour la distribution sous le plancher dépend de la taille de la pièce et de la hauteur sous plancher.

Objectifs de facilité d'entretien

Les utilisateurs de centres de données ont identifié les objectifs de **facilité d'entretien** présentés dans le **tableau 4** comme des enjeux majeurs du refroidissement. Le tableau évalue aussi l'efficacité des différentes architectures par rapport à ces objectifs.

Tableau 4 – Efficacité des architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie par rapport aux objectifs de facilité d'entretien. Les meilleures performances sont surlignées en bleu.

Objectifs de facilité d'entretien			
Objectifs	Baie	Rangée	Salle
Réduire le délai moyen de rétablissement (MTTR) (inclut le temps de réparation, l'attente de la visite du technicien, le diagnostic et l'attente des pièces détachées)	Les composants modulaires réduisent les temps d'arrêt ; redondance 2N requise pour réparation et maintenance du système	Les composants modulaires réduisent les temps d'arrêt ; la redondance N+1 ou une capacité supplémentaire permet de réparer sans dégrader les performances du système.	Les pièces détachées personnalisées sont difficiles à obtenir, nécessitent l'intervention d'un technicien spécialement formé et retardent le rétablissement.
Réduire la complexité du système	Les composants standardisés limitent l'expertise technique requise pour la maintenance et l'entretien de routine.	Les composants standardisés limitent l'expertise technique requise pour la maintenance et l'entretien de routine.	L'exploitation et la réparation du système nécessitent des experts spécialement formés.
Simplifier les procédures d'entretien	Le personnel maison peut se charger des procédures d'entretien de routine. Sous-systèmes modulaires dotés d'interfaces évitant toute erreur dans l'application des procédures d'entretien.	Le personnel maison peut se charger des procédures d'entretien de routine. Sous-systèmes modulaires dotés d'interfaces évitant toute erreur dans l'application des procédures d'entretien.	Les procédures d'entretien de routine imposent de démonter des sous-systèmes non apparentés. Certains éléments sont difficiles d'accès quand le système est installé. Il faut faire appel à un personnel très expérimenté pour de nombreuses procédures d'entretien.
Limiter les interfaces avec le fournisseur	Unités modulaires conçues pour s'intégrer à un petit ensemble de systèmes auxiliaires.	Unités modulaires conçues pour s'intégrer à un petit ensemble de systèmes auxiliaires.	Solution préfabriquée avec des sous-systèmes multifournisseurs.
Tirer les enseignements des problèmes passés et partager l'expérience acquise sur les divers systèmes	L'architecture modulaire standardisée avec interaction entre une baie unique et l'unité de refroidissement maximise l'apprentissage.	L'architecture modulaire standardisée avec peu d'interactions favorise l'apprentissage mais sur un nombre de systèmes plus limité.	Les aménagements spécifiques posent des problèmes spécifiques, ce qui limite l'apprentissage.

Objectifs de g rabilit 

Les utilisateurs de centres de données ont identifié les objectifs de **g rabilit ** présentés dans le **tableau 5** comme des enjeux majeurs du refroidissement. Le tableau évalue aussi l'efficacité des différentes architectures par rapport à ces objectifs.

Tableau 5 – Efficacité des architectures de refroidissement par salle, par rangée et par baie par rapport aux objectifs de g rabilit . Les meilleures performances sont surlignées en bleu.

Objectifs de g�rabilit�			
Objectifs	Baie	Rangée	Salle
Le menu système doit être clair et faciliter la navigation.	Le faible nombre d'options à configurer permet à l'utilisateur de naviguer rapidement dans l'interface du menu.	Le faible nombre d'options à configurer permet à l'utilisateur de naviguer rapidement dans l'interface du menu.	Le système hautement configurable complique la structure du menu. Une formation avancée est nécessaire pour assurer l'entretien.
Fournir une analyse prédictive des défaillances	Possibilité de fournir des modèles en temps réel des performances actuelles et futures	Possibilité de fournir des modèles en quasi temps réel des performances actuelles ou futures en raison d'un contrôle de qualité limité	Il est virtuellement impossible de fournir des modèles en temps réel des performances actuelles et futures en raison des spécificités de la salle.
Fournir des données agrégées et synthétiques sur les performances de refroidissement	Informations sur la capacité de refroidissement déterminées au niveau de la baie et disponibles en temps réel.	Informations sur la capacité de refroidissement déterminées au niveau de la rangée et disponibles en temps réel. Possibilité d'estimer précisément les informations au niveau de la baie.	Aucune information sur la capacité de refroidissement n'est disponible au niveau de la baie ou de la rangée.

Synthèse et analyse

L'examen et l'analyse des tableaux de comparaison ci-dessus suggèrent les conclusions suivantes :

- L'architecture modulaire de refroidissement par baie est la plus souple, la plus rapide à mettre en œuvre et permet d'obtenir une densité extrême mais au prix de frais supplémentaires.
- L'architecture de refroidissement par salle n'offre aucune souplesse, elle est lente à mettre en œuvre et ses performances sont médiocres quand la densité est élevée mais elle présente les avantages du c ut et de la simplicité pour les densités plus faibles.
- L'architecture modulaire de refroidissement par rangée offre beaucoup des avantages (souplesse, rapidité et densité) de l'architecture de refroidissement par baie, pour un c ut similaire à celui de l'architecture de refroidissement par salle.

Ces aspects sont traités plus en détail dans les sections suivantes.

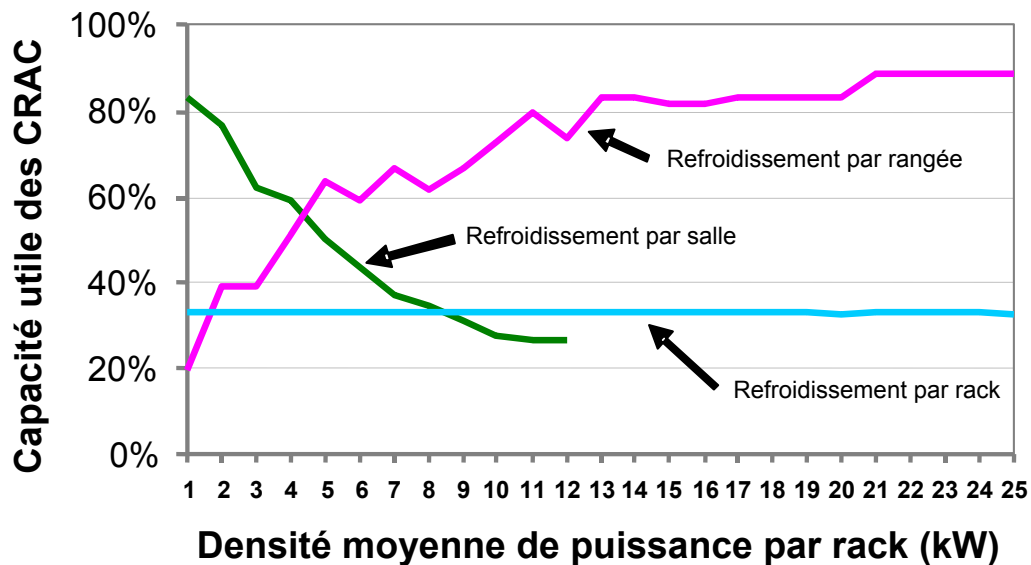
Aspects particuliers

Plusieurs aspects pratiques des architectures nécessitent des explications supplémentaires. Ils font l'objet de cette section.

Utilisation de la capacité

La plupart des utilisateurs considèrent tout naturellement que s'ils disposent de 500 kW d'unités de climatisation, ils peuvent installer et refroidir 500 kW de charges informatiques. Ce n'est pas du tout le cas. Si un groupe de systèmes de climatisation pris dans son ensemble peut posséder la capacité annoncée, cela ne veut pas dire qu'il peut fournir cette capacité de refroidissement à la charge. La fraction de la capacité réelle qui peut être obtenue pour refroidir véritablement des charges informatiques est appelée « capacité utile ». Chaque fois que la capacité utile est inférieure à 100 %, les unités CRAC doivent être surdimensionnées, ce qui augmente le coût, l'espace et la maintenance nécessaire. Les trois architectures de refroidissement se comportent **très** différemment à cet égard, comme l'expliquent les sections suivantes et comme le résume la **figure 5**.

Figure 5 – Capacité utile d'un système de climatisation rapportée à la densité de puissance moyenne d'une baie pour les trois architectures de refroidissement



La figure montre comment la capacité utile varie pour les trois architectures de refroidissement selon la densité de puissance d'une baie. Ce modèle repose sur l'hypothèse d'un rapport de densité de puissance de pointe/de puissance moyenne de 1,5:1 pour une baie, d'une redondance N+1 pour le refroidissement d'une longueur maximale de rangée de 10 rangées, d'une capacité nominale CRAC de 100 kW par unité pour une salle, de 25 kW par unité pour une rangée et d'une capacité nominale CRAC égale à la densité de puissance de pointe requise pour une baie. Des hypothèses différentes donneront des résultats différents mais l'évolution générale des données ne sera pas affectée.

Notez que dans ce cas, la « capacité utile » fait référence aux seules unités CRAC, puisqu'elles interagissent directement avec l'équipement informatique. Les systèmes de rejet d'air chaud montés à l'extérieur peuvent fonctionner à 100 % de leur capacité utile pour les trois architectures. Par conséquent, les coûts associés à la perte de capacité ne doivent être appliqués qu'aux systèmes CRAC installés à l'intérieur.

La capacité utile d'une architecture de refroidissement par baie est généralement nettement inférieure à 100 %. Chaque baie dispose d'un système de climatisation dédié et donc d'une capacité dédiée. Quand la charge réelle d'une baie est inférieure à la capacité nominale pour cette baie, la capacité restante est inutilisée et **ne peut pas être utilisée par une autre baie**. Par exemple, si une baie d'une capacité de refroidissement de 10 kW a une charge informatique de 6 kW, les 4 kW de capacité inutilisée sont perdus pour les autres baies. Cette capacité ne peut pas être empruntée par les baies voisines, que ce soit pour la redondance, la maintenance ou pour tout autre motif. La densité de puissance des baies variant considérablement dans la réalité, la capacité utile peut représenter 50 %, voire moins, de la capacité nominale. La **figure 5** montre la variation de la capacité utile par rapport à la densité de puissance pour une architecture de refroidissement par baie. L'hypothèse de la redondance a un impact important sur la capacité utile d'une architecture de refroidissement par baie car la capacité nominale de deux unités CRAC est nécessaire pour chaque baie ; pour un système non redondant, l'utilisation doublerait dans cette architecture. Notez que l'utilisation est indépendante de la densité de puissance pour cette architecture.

La capacité utile d'une architecture de refroidissement par salle semble être de 100 % car il apparaît que toute la capacité est mise en commun et partagée au niveau de la salle. En fait, cette hypothèse est raisonnable pour des densités de puissance très faibles de 1 à 2 kW par baie, comme le montre la **figure 5**, toutefois elle s'effondre très vite quand la densité de puissance augmente. Cette perte de capacité s'explique par l'incapacité du système à fournir l'air froid nécessaire à la charge. Le système doit donc être surdimensionné par rapport à la charge, d'où une réduction de la capacité utile. Dans la pratique, l'imprévisibilité qui caractérise l'architecture de refroidissement par salle engendre une réduction d'environ 6 kW par baie comme le montre la **figure 5**.

Le refroidissement par rangée offre la capacité utile la plus élevée pour la plage de densités de puissance la plus étendue. Du fait du couplage étroit entre les unités CRAC et la charge, toute la capacité peut être fournie à la charge jusqu'à des densités de puissance de l'ordre de 25 kW, soit approximativement quatre fois la capacité de densité possible de l'architecture de refroidissement par salle. De plus, les unités CRAC peuvent partager le refroidissement avec les baies voisines, ce qui limite le problème de capacité inutilisée, évoqué plus tôt, propre à l'architecture de refroidissement par baie. Cependant, la capacité utile de l'architecture de refroidissement par rangée chute pour les densités de puissance très faibles puisque les systèmes de climatisation doivent être affectés à chaque rangée, même si la densité devient très basse. Le caractère inhabituellement irrégulier de la courbe de la capacité utile pour l'architecture de refroidissement par rangée est dû aux effets de quantification, aux longueurs de rangée finies combinées à la nécessité d'affecter des unités CRAC à des rangées spécifiques et à l'impossibilité de fractionner les unités CRAC. La courbe serait lissée si la longueur des rangées devenait illimitée.

Contrôle de l'humidité

L'une des fonctions clés du système de climatisation d'une salle informatique est de contrôler l'humidité pour limiter les risques de décharge électrostatique préjudiciable. Cette fonction est souvent intégrée au système en question. Dans les architectures où le nombre de systèmes de climatisation est susceptible d'augmenter, se pose naturellement la question de savoir si le nombre d'humidificateurs doit augmenter lui aussi. Cette question est d'autant plus importante que ces appareils comportent des circuits d'eau et qu'ils doivent normalement faire l'objet d'une maintenance relativement rapprochée.

Une analyse attentive du problème montre que l'intégration des humidificateurs aux systèmes de climatisation généralement pratiquée est fondamentalement imparfaite et que ces équipements devraient être distincts de l'équipement de climatisation et implantés à l'échelle de la salle, et ce pour trois raisons :

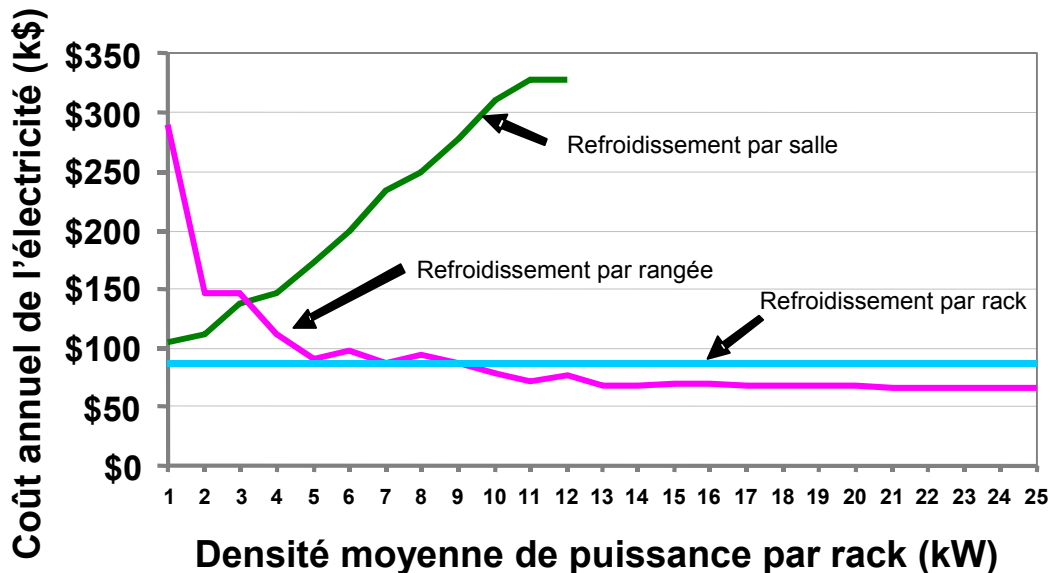
- Les installations haute densité peuvent comporter un grand nombre d'unités CRAC, quelle que soit l'architecture choisie ; techniquement, rien n'impose d'utiliser autant d'humidificateurs que d'unités CRAC et en pratique, leur présence en nombre présente plusieurs inconvénients comme la maintenance.
- Quand plusieurs humidificateurs sont implantés dans une salle, il est difficile de coordonner leur fonctionnement, d'où un gaspillage d'eau et d'électricité.
- L'air froid s'accommode d'un niveau d'humidité moindre et tenter d'introduire, de force, de l'humidité dans le flux d'air froid en sortie d'un système de climatisation est inefficace voire, selon la saturation, impossible.

Ce sujet est traité plus en détail dans le livre blanc APC n°133, « Humidification Systems: Reducing Energy Costs In IT Environments ».

Coût de l'électricité

La part du coût de l'électricité dans les coûts d'exploitation augmente en raison de la hausse des prix de l'électricité requise par serveur et de l'augmentation de la densité de puissance. Si chacun comprend bien que le coût de l'électricité dépend des tarifs de l'électricité et de la puissance des serveurs, l'effet de la densité de puissance sur ce coût est rarement pris en compte. La densité tire le coût de l'électricité vers le haut car elle nuit beaucoup à l'efficacité des systèmes de climatisation conventionnels. La **figure 6** montre les effets de la densité de puissance sur le coût annuel de l'électricité pour les trois architectures de refroidissement.

Figure 6 – Coût annuel de l'électricité pour une unité CRAC par mégawatt de charge informatique en tant que fonction de la densité de puissance d'une baie moyenne pour les trois architectures de refroidissement



Dans le modèle ci-dessus, on considère que la capacité utile de l'unité CRAC décline comme indiqué dans la **figure 5**. Ce modèle est une conception N+1 et reprend les autres hypothèses de la **figure 5**, pour un coût de l'électricité de 0,12 dollar par kWh/h. De plus, le système est censé fonctionner à sa valeur nominale (charge de 100 %). L'effet d'une charge partielle, non négligeable, est présenté ci-dessous.

Notez que les coûts mentionnés à la **figure 6** ne concernent que l'unité CRAC. Les coûts totaux pour le système de climatisation devraient inclure également les coûts de l'unité de réfrigération qui sont importants mais sensiblement identiques pour les trois architectures.

Le coût de l'électricité est faible pour l'architecture de refroidissement par baie car les unités CRAC sont étroitement couplées à la charge et dimensionnées pour la charge. Toute circulation d'air inutile est évitée.

Le coût de l'électricité pour une architecture de refroidissement par salle est relativement bas pour les faibles densités de puissance mais augmente de façon spectaculaire dès que la densité dépasse 3 kW par baie en moyenne. En effet, il est alors nécessaire d'acheminer l'air sur de plus grandes distances et les unités CRAC doivent consommer de l'énergie pour brasser ou agiter l'air dans la pièce afin d'éviter la formation de points chauds.

Le coût de l'électricité pour une architecture par rangée est bas pour les densités très faibles mais augmente de façon spectaculaire pour les densités plus élevées. Cette architecture est pénalisante pour les faibles densités car il est nécessaire que des unités CRAC soient affectées à chaque rangée, même quand la charge est très légère. En outre, ces unités sont caractérisées par des pertes d'électricité, même quand elles fonctionnent bien en dessous de leur capacité nominale. Toutefois, cette architecture est la plus efficace et la moins gourmande en électricité quand la densité augmente. En effet, les unités CRAC étant bien couplées aux charges informatiques, leur capacité utile est soutenue à une densité élevée et une unité CRAC redondante peut prendre en charge plusieurs baies.

Conduites d'eau ou de liquide de refroidissement à proximité des équipements informatiques

Les enquêtes d'opinion montrent que les utilisateurs s'inquiètent des conduites d'eau ou de liquide de refroidissement installées à proximité des équipements informatiques. Ce souci n'est pas lié aux conduites mais à la possibilité d'un écoulement de liquide risquant d'endommager, voire de stopper les équipements informatiques.

De l'air réfrigéré circule dans la plupart des centres de données à haute densité comportant beaucoup de systèmes de climatisation et cette tendance devrait se poursuivre pour des considérations d'environnement et de coût. Bien qu'il existe des produits frigorigènes moins susceptibles d'endommager les équipements informatiques, ils sont plus coûteux que l'eau pour chacune des trois architectures de refroidissement considérées ici. L'architecture de refroidissement par salle permet aussi d'implanter les unités CRAC en dehors du centre de données et de n'utiliser que de l'air.

Pour les densités élevées, le pouvoir caloporteur de l'air est une limitation et il faudra introduire un liquide de refroidissement dans le centre de données. Les avancées récentes dans le domaine des techniques de distribution permettent d'alimenter les centres de données de manière plus fiable et réduisent considérablement les risques de fuite. Ce sujet est traité plus en détail dans le livre blanc APC n°131, « Systèmes avancés de distribution d'eau réfrigérée pour centres de données ».

Emplacement

L'emplacement d'un système de climatisation peut avoir un effet spectaculaire sur les performances du système.

Dans le cas d'une architecture de refroidissement par baie, ce problème de prévisibilité des performances disparaît complètement puisque l'emplacement exact du système de climatisation de la charge cible est déterminé. Avec comme bénéfice de permettre de caractériser complètement à l'avance les performances de refroidissement. Si la conception prévoit un déploiement échelonné, l'emplacement des futurs systèmes de climatisation ne nécessite qu'un minimum de planification ou d'anticipation puisque ces systèmes sont déployés automatiquement avec chaque baie.

Dans le cas d'une architecture de refroidissement par salle, cette situation change radicalement. Il existe des milliers de possibilités pour l'emplacement des systèmes de climatisation et les performances de refroidissement des systèmes dépendent pour une large part de cet emplacement. De plus, les emplacements les plus efficaces ne sont pas forcément exploitables, en raison de propriétés physiques de la salle comme les entrées de porte, les fenêtres, les rampes d'accès, l'impossibilité d'accéder aux tuyaux. L'installation réalisée se révèle donc souvent peu performante même si de gros efforts d'ingénierie ont été consentis. De plus, la logistique nécessaire à l'installation de systèmes de climatisation par salle suppose généralement que ces systèmes soient implantés dans la salle avant toutes les phases de déploiement informatique. Le détail de ces phases futures n'étant pas forcément connu, l'emplacement des systèmes de climatisation est rarement optimal.

Dans le cas d'une architecture de refroidissement par rangée, l'implantation des systèmes de climatisation est régie par des règles de conception simples. Le nombre et l'emplacement de ces systèmes sont déterminés par des règles établies par des simulations et des tests. Il faut bien sûr s'assurer que les systèmes sont bien dimensionnés pour la spécification de densité de rangée. D'autres règles, comme par exemple éviter les emplacements en fin de rangée, maximisent les performances et la capacité du système. En vue des déploiements futurs, une certaine souplesse est conservée pour les emplacements jusqu'au déploiement, lorsque les valeurs déployées de la densité de puissance moyenne ou du rapport de densité de puissance de pointe/moyenne des baies de la rangée peuvent être utilisées pour déterminer le nombre et l'emplacement des systèmes de climatisation dans le cadre d'un processus juste-à-temps.

Bien que l'architecture de refroidissement par rangée ne soit pas aussi simple à planifier et à implanter que l'architecture de refroidissement par baie, elle est beaucoup plus souple que l'architecture de refroidissement par salle. L'architecture de refroidissement par rangée offre une souplesse et une densité de puissance comparables à celles de l'architecture de refroidissement par baie, pour un encombrement et un coût beaucoup plus faibles.

Redondance

La redondance doit nécessairement être associée aux systèmes de refroidissement pour permettre la maintenance des systèmes sous tension et garantir la pérennité de la mission du centre de données en cas de panne d'un équipement de climatisation. Les systèmes d'alimentation utilisent souvent deux voies pour acheminer l'électricité vers les systèmes informatiques, et ce pour garantir la redondance. En effet, les cordons d'alimentation et les connexions constituent un point unique de panne potentiel. Pour le refroidissement, les conceptions N+1 sont plus fréquentes que les doubles voies d'alimentation car les voies de distribution d'air se limitant à une circulation d'air autour de la baie, la probabilité de panne est très faible. L'idée ici, c'est que si le système a besoin de quatre unités CRAC, l'ajout d'une cinquième unité permettra d'assurer le refroidissement de manière satisfaisante en cas de panne d'une des unités. D'où le terme de redondance « N+1 ». Pour les densités de puissance plus élevées, ce concept de redondance ne fonctionne plus. La façon dont la redondance est assurée, différente pour chacune des trois architectures de refroidissement, est décrite ci-dessous :

Pour une architecture de refroidissement par baie, le refroidissement n'est pas partagé entre les baies et il n'y a pas de voie de distribution d'air commune. Par conséquent, le seul moyen d'assurer la redondance consiste à fournir une unité CRAC à double voie 2N pour chaque baie, soit deux unités CRAC par baie. Il s'agit là d'une contrainte très lourde par rapport à ce qu'imposent les autres approches. Toutefois, pour les baies haute densité isolées, cette méthode est très efficace puisque la redondance est entièrement déterminée, prévisible et indépendante des autres unités CRAC.

Pour une architecture de refroidissement par salle, la salle elle-même est supposée être une voie de distribution d'air commune pour toutes les charges informatiques. En principe, cela permet d'assurer la redondance en introduisant une seule unité CRAC supplémentaire, quelle que soit la taille de la salle. Cette approche vaut pour les faibles densités et se révèle alors économique. Toutefois, pour des densités supérieures, la capacité d'une unité CRAC donnée à compenser la panne d'une autre unité CRAC dépend beaucoup de la topologie de la salle. Par exemple, le modèle de distribution d'air d'une unité CRAC spécifique ne peut pas être respecté par une unité CRAC de secours distante de l'unité en panne. C'est pourquoi, si une seule unité CRAC supplémentaire suffit en vue d'assurer la redondance pour les faibles densités, il faut multiplier leur nombre par deux pour des densités supérieures à 10 kW par baie.

L'architecture de refroidissement par rangée assure la redondance au niveau de la rangée, et nécessite une unité CRAC supplémentaire (N+1) par rangée. Cela est pénalisant pour les faibles charges de 1 à 2 kW par baie, même si les unités CRAC pour rangée sont plus petites et moins onéreuses que les unités CRAC pour salle. Ce problème disparaît pour les densités supérieures et l'approche N+1 reste valable jusqu'à 25 kW par baie. Il se transforme même en avantage par rapport aux architectures de refroidissement par salle ou par baie qui requièrent souvent une redondance 2N pour les densités supérieures. Pouvoir assurer la redondance dans des environnements haute densité avec moins d'unités CRAC supplémentaires est un avantage clé de l'architecture par rangée et réduit notablement le coût total de possession.

Conclusion

L'approche traditionnelle du refroidissement par salle se heurte à des limitations techniques et pratiques dans les centres de données de nouvelle génération. La nécessité pour ces centres de s'adapter à l'évolution des besoins, de prendre en charge des densités de puissance élevées et variables et de réduire leur consommation électrique et leurs autres coûts de fonctionnement a directement favorisé le développement des architectures de refroidissement par rangée et par baie. Ces deux architectures répondent mieux à ces besoins, en particulier pour des densités de 3 kW par baie ou plus. L'architecture de refroidissement par salle a rendu bien des services et reste une option efficace et pratique pour les installations à faible densité et les applications où la technologie informatique évolue peu.

Les architectures de refroidissement par rangée et par baie sont pratiques, prévisibles et évolutives, réduisent la consommation électrique et le coût total de possession, et offrent la disponibilité optimale qu'exigent les centres de données de nouvelle génération. Les utilisateurs doivent s'attendre à ce que beaucoup des nouvelles offres de produits utilisent ces approches.

Il faut prévoir que de nombreux centres de données utiliseront une combinaison de ces trois architectures de refroidissement. Le refroidissement par baie sera employé dans les environnements caractérisés par des densités extrêmes, une granularité élevée du déploiement ou un agencement non structuré. Le refroidissement par salle restera efficace pour les faibles densités et les applications qui subissent peu de modifications. Pour la plupart des utilisateurs de technologies plus récentes comme les serveurs haute densité, le refroidissement par rangée offrira le meilleur équilibre entre prévisibilité, densité de puissance et adaptabilité, pour le meilleur coût total de possession global.

À propos des auteurs :

Kevin Dunlap est responsable des solutions de refroidissement haute densité/modulaires chez American Power Conversion (APC). APC est le spécialiste international du développement de technologies d'alimentation de précision et l'un des plus grands fournisseurs mondiaux d'équipements destinés à l'infrastructure physique de réseau critique. Kevin Dunlap évolue dans l'industrie de la gestion de l'alimentation électrique depuis 1994. Il a d'abord travaillé pour Systems Enhancement Corp., un fournisseur de logiciels et de matériels de gestion de l'alimentation racheté par APC en 1997. Suite à l'acquisition, il a rejoint APC comme responsable produit en charge des cartes de gestion puis des solutions de refroidissement de précision après le rachat d'Airflow Company en 2000.

Il a participé à de nombreux panels de gestion de l'alimentation et du refroidissement, à des consortiums réunissant des acteurs de l'industrie et à des comités de l'ASHRAE sur la gestion thermique et sur les économiseurs d'énergie.

Neil Rasmussen est l'un des fondateurs d'American Power Conversion et occupe le poste de directeur des technologies. À ce titre, il est responsable du plus important budget de R&D au monde exclusivement consacré à l'infrastructure des baies, des alimentations et du refroidissement des réseaux critiques. Les principaux centres de développement des produits APC sont situés dans le Massachusetts, le Missouri, à Rhode Island, au Danemark, à Taiwan et en Irlande. Neil Rasmussen gère actuellement le projet APC pour le développement de solutions évolutives et modulaires pour l'infrastructure des centres de données. C'est le principal architecte du système InfraStruXure d'APC.

Avant la fondation d'APC, en 1981, Neil Rasmussen 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.