



# ARAMIS CONFERENCE ANNUELLE: Comment refroidir les applications haute densité ? Le concept APC des “4C”

***Speaker:***

***Damien GIROUD - APC By Schneider Electric***

***Tel: 06 85 93 89 83 - Email: damien.giroud@mgeups.com***

***Contacts locaux:***

***Victor CARDOSO – Ingénieur commercial Grands Comptes***

***Tel: 06 85 41 18 06 – Email: victor.cardoso@mgeups.com***

***Cédric LOPRETE – Ingénieur Commercial Grands Comptes***

***Tel: 06 82 82 38 32 – Email: cedric.loprete@mgeups.com***

***Estelle PAGEOT – Commerciale Sédentaire***

***Tel: 04 72 14 38 18 – Email: estelle.pageot@mgeups.com***



# 6 Tendances de notre planète



## **Energie**

Le défi essentiel pour notre planète



## **L'émergence d'économies nouvelles**

La chance de notre génération



## **Connectivité**

Avec tout, partout et à tout moment



## **Mondialisation**

Pour profiter de ce qu'il y a de meilleur dans le monde



## **Simplification des Solutions**

Pour palier à la complexité croissante de notre vie et de notre travail



## **Sécurité**

Une préoccupation mondiale et partagée

# Une révolution...numérique



“En 2006 il y avait 2,7 milliards de recherches sur Google par mois. Aujourd’hui 31 milliards”

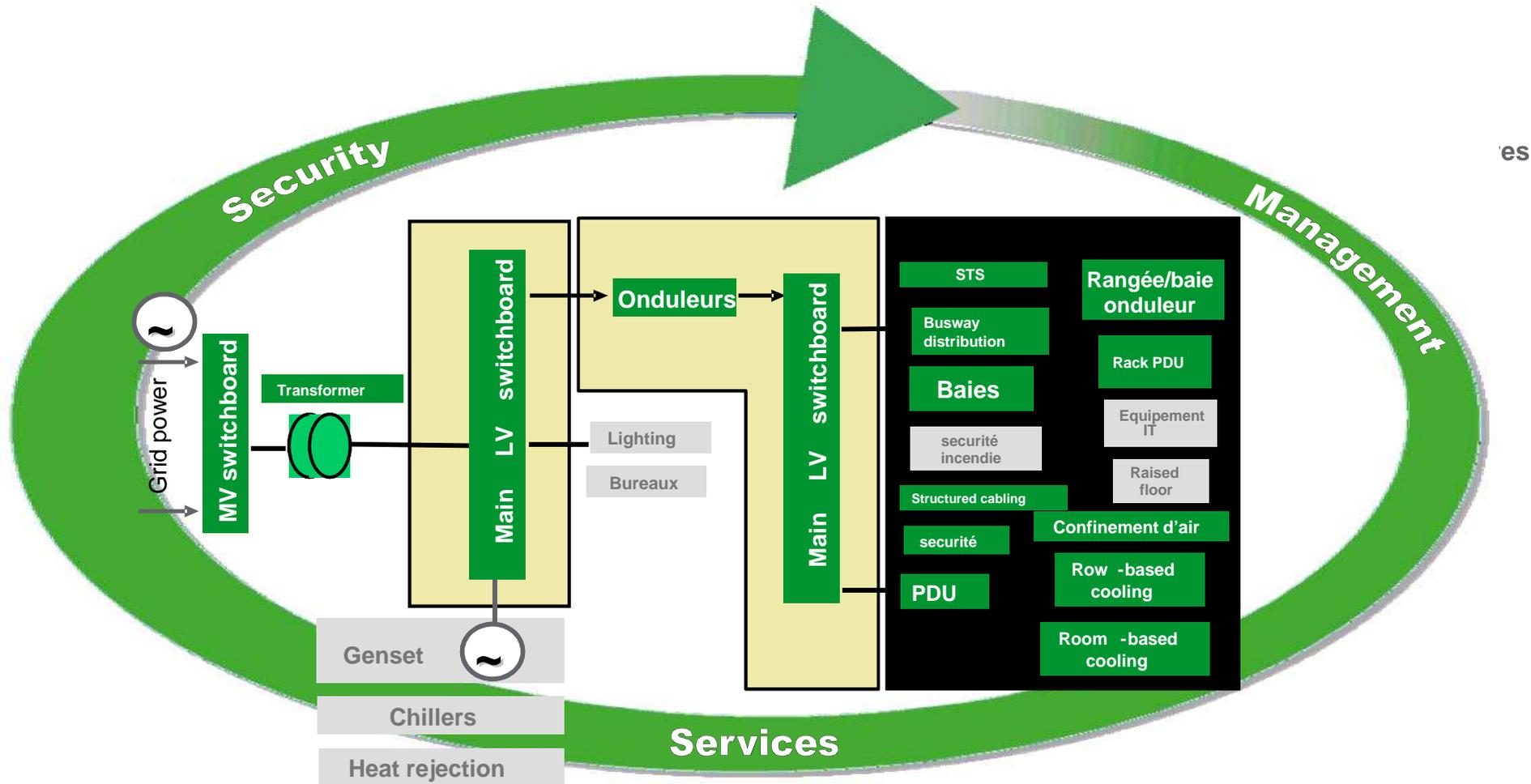
- **Il a fallu à la radio 38 ans pour atteindre une audience de 50 millions de personnes**
  - 13 années pour la télévision
  - 4 années pour Internet
- **Et...**

The Facebook logo, consisting of the word "facebook" in white lowercase letters on a blue rectangular background.

facebook

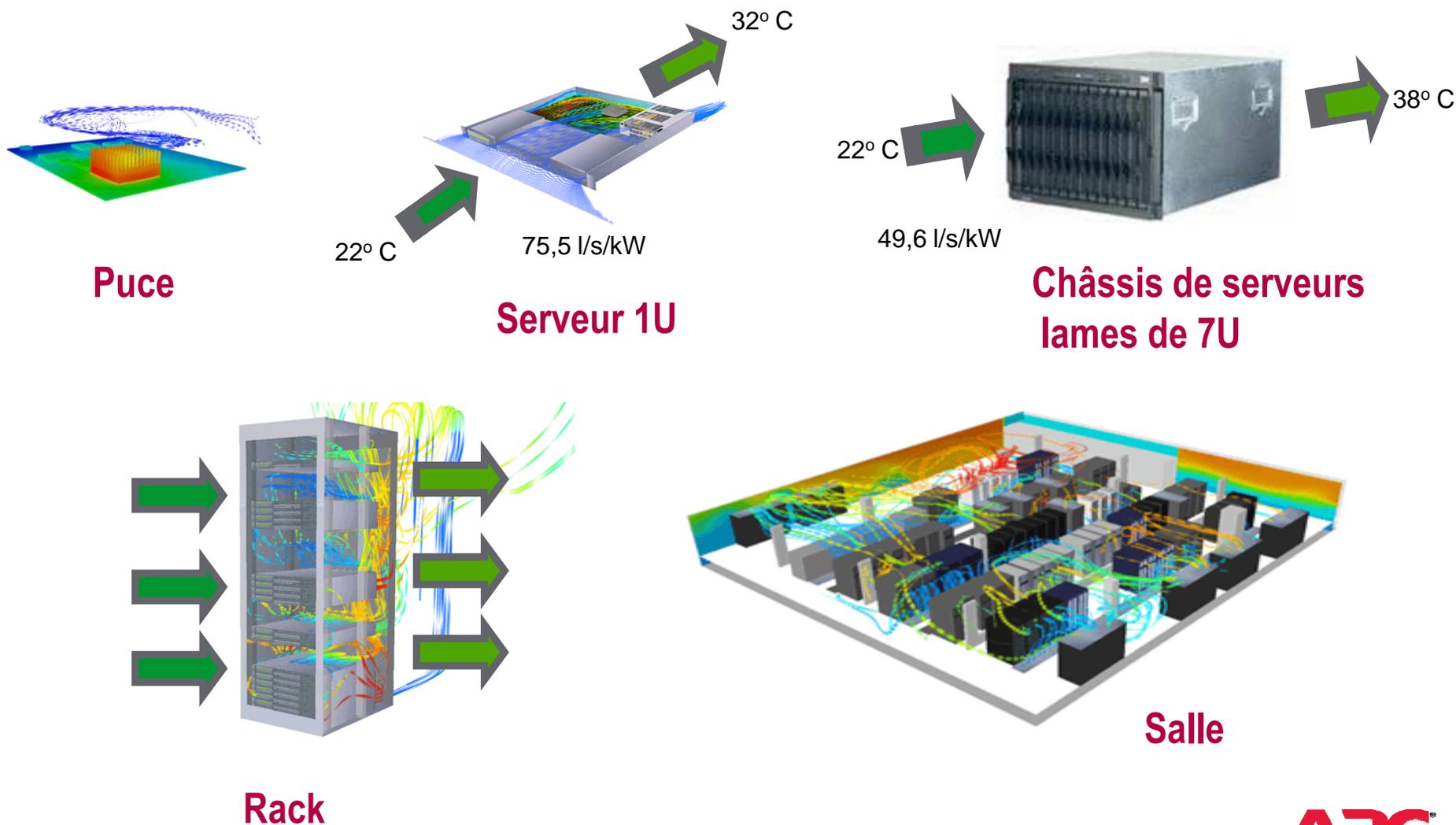
“Il a fallu seulement 2 ans à Facebook pour atteindre ce chiffre qui comprend aujourd’hui 175 Millions de membres”

# Expertise générale de Schneider electric

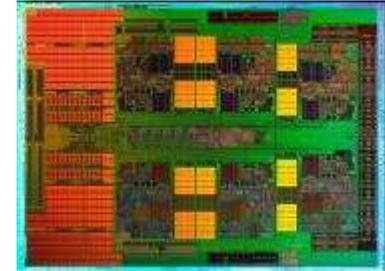


**Un portefeuille de solutions et d'expertise qui permet un design complet pour améliorer la disponibilité et l'efficacité, et la densité.**

# Le problème n°1 des Directions Informatiques : la dissipation calorifique / haute densité

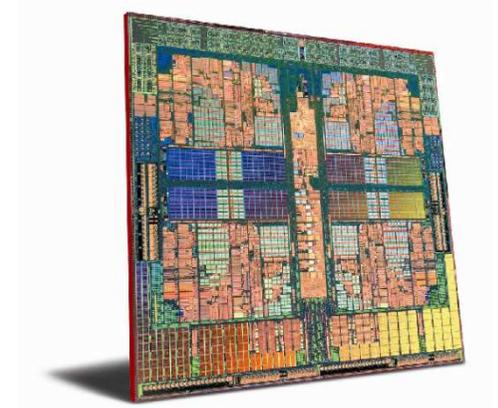


# Pourquoi cela chauffe?



- Quels sont les composants qui produisent cette chaleur?
  - Les milliards de transistors intégrés dans les processeurs
- Pourquoi ces transistors produisent de la chaleur?
  - Depuis que le transistor est né, on cherche à réduire sa taille.
  - En réduisant la taille de ces composants on réduit les éléments constituant son étanchéité.
  - Cette étanchéité étant moins efficace, lors de la circulation du courant dans le composant, des électrons « s'échappent » et par effet joule se transforment en chaleur qu'il faut évacuer (courant de fuite du transistor)

# Pourquoi cela chauffe?



- Pourquoi le phénomène s'accroît?

- Haute densité = plus de transistors = plus de fuite d'électrons = plus de chaleur
- Le phénomène est particulièrement sensible lors de chaque changement d'état du transistor (commutation) donc plus la fréquence d'horloge du processeur est élevée plus il y aura de commutation en une seconde et plus il y aura de « fuites » donc de chaleur
- Un électron par transistor ce n'est pas grand-chose mais lorsqu'un composant intègre 1,9 milliard de transistors...

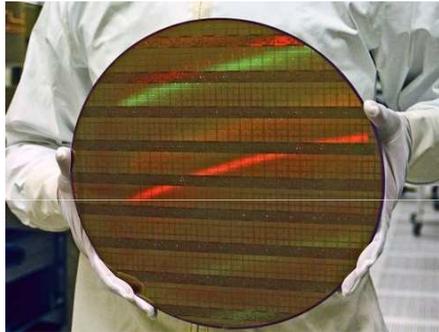
- Un exemple?

- Serveur HP PROLIANT G6 doté d'un processeur AMD OPTERON ISTANBUL 6 CŒURS

Consommation : 40 watts en utilisation modérée, 60 watts pour une fréquence à 2,3 GHz.

# Pourquoi cela chauffe?

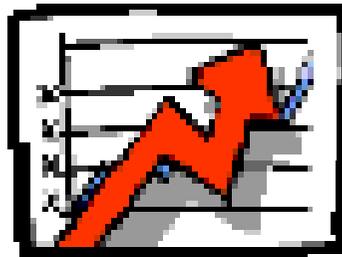
## DENSIFICATION



*Miniaturisation*  
*Nombre de cœurs*

## AUGMENTATION DE LA VITESSE

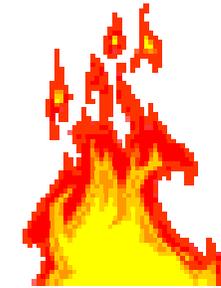
+



*Fréquence d'horloge des processeurs en GHz*

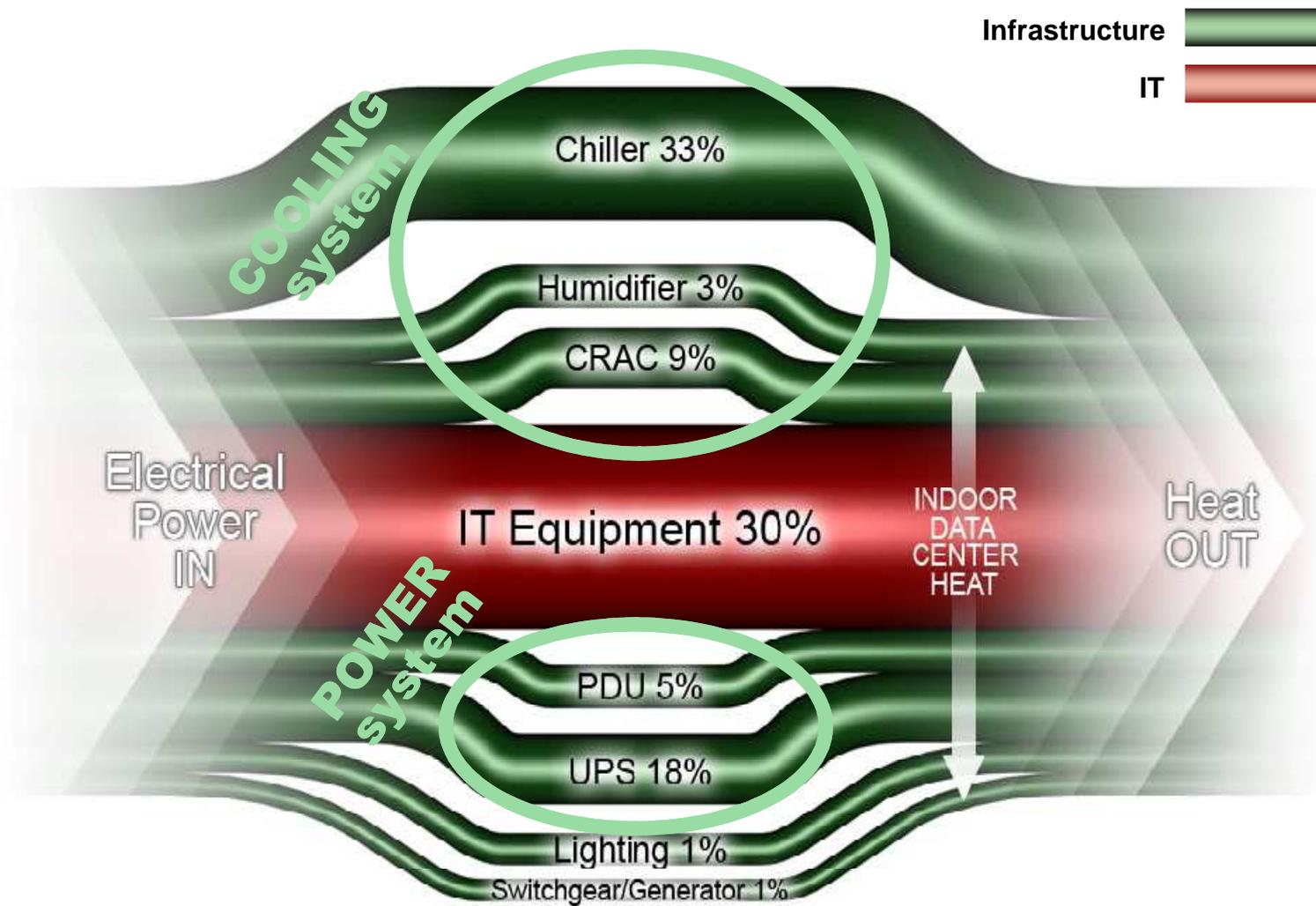
=

## CHALEUR



*Plus de courant de fuite*  
*Plus d'énergie consommée*  
*Plus d'énergie à évacuer*

# Où passe l'électricité ?

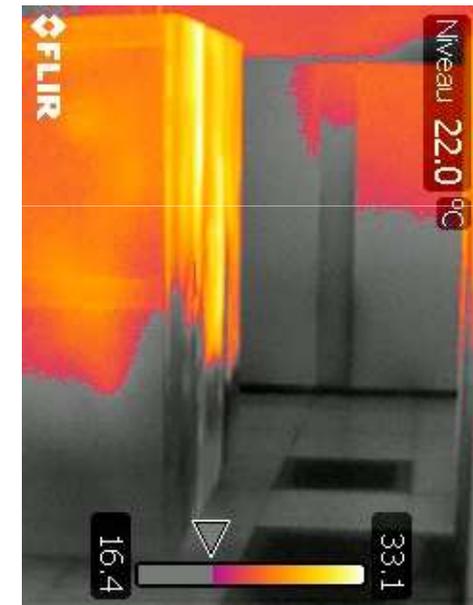
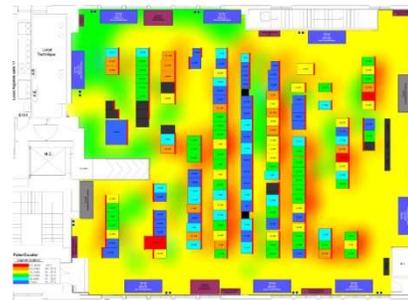


# En préambule

- **Plus de 50% de l'énergie absorbée par un centre de données informatiques n'arrive pas jusqu'aux équipements informatiques.**
- **En améliorant de 20% le rendement énergétique d'une salle abritant 500kW d'équipements informatiques, on peut économiser plus de 175 000 € par an (coût moyen du kW, 0.08€).**
- **Chaque kW économisé dans une salle informatique peut faire gagner 1400€ sur la facture annuelle électrique (0.08€ du kW – 50% d'efficacité).**
- **Chaque kilowatt économisé réduit l'empreinte carbone annuelle de 730kg de CO<sub>2</sub>.**
- **Améliorer de 1% l'efficacité d'un centre informatique c'est économiser 2% sur la facture énergétique**

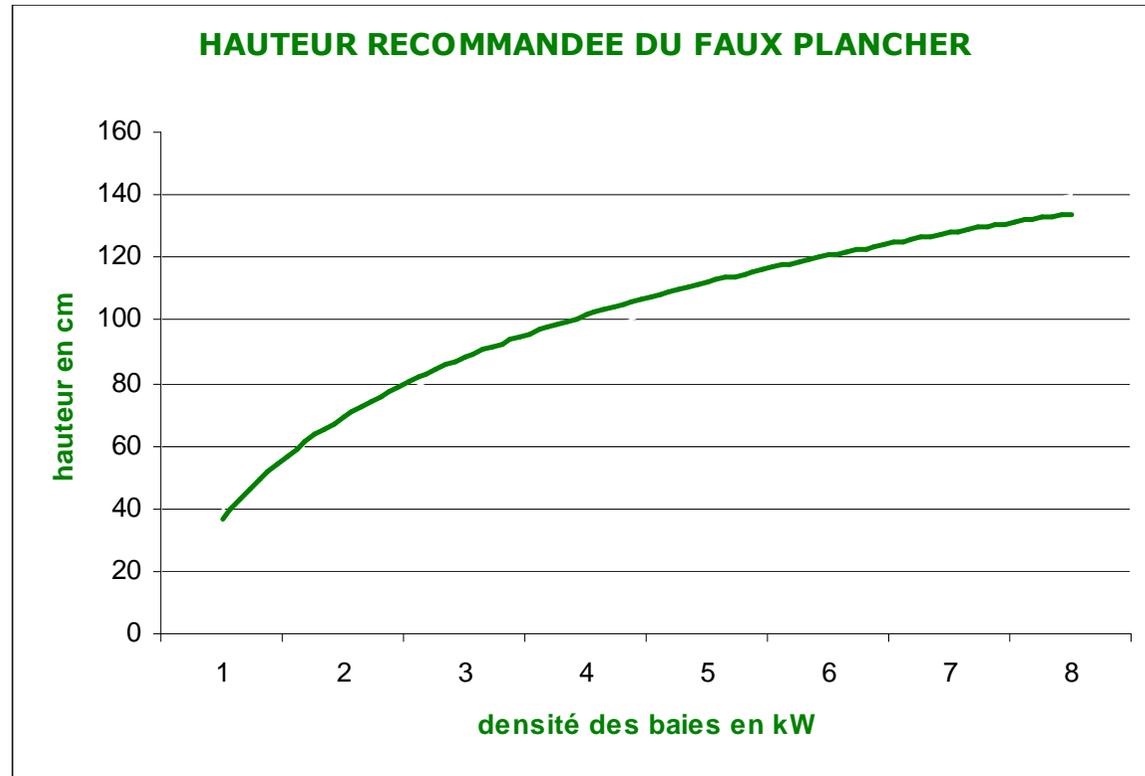
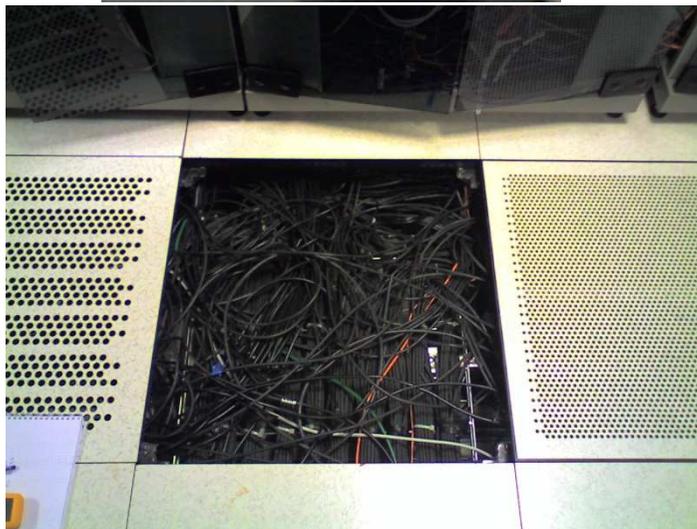
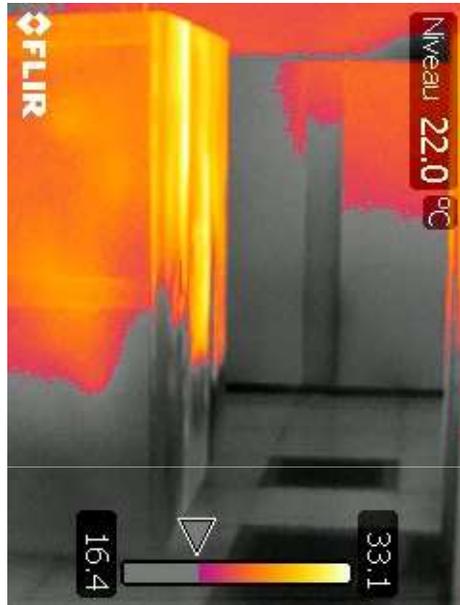
# Problèmes rencontrés dans les salles informatiques

- Mélange des flux d'air (chaud et froid) beaucoup trop important :
  - Pas d'urbanisation en allées chaudes et froides
  - Disposition des armoires de climatisation non optimale
  - Disposition aléatoire des dalles perforées



⇒ Flux d'air imprévisibles, baisse du rideau d'air chaud, surconsommation des climatiseurs

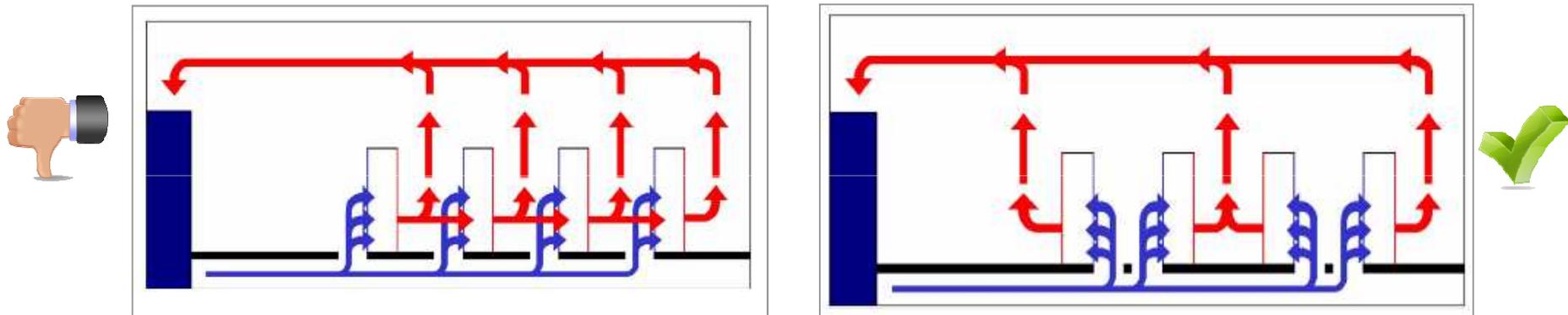
# Distribution de l'air climatisé difficile !



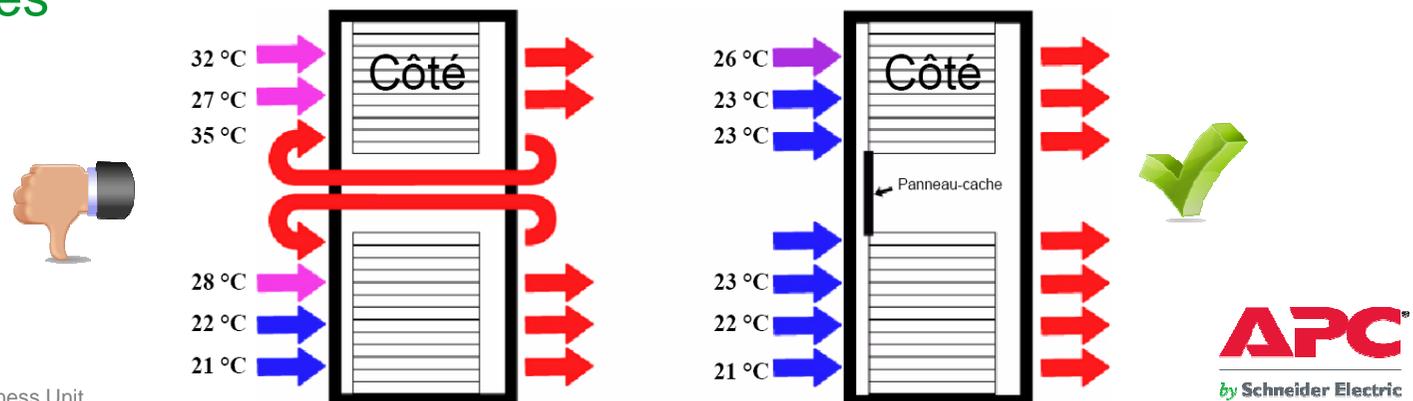
# 1<sup>ère</sup> étape: Séparation drastique des flux d'air (chaud et froid).

- Séparation des allées chaudes et froides

- Pour faciliter une distribution optimale de l'air grâce à la séparation du parcours de l'air en entrée (froid) et en retour (chaud)



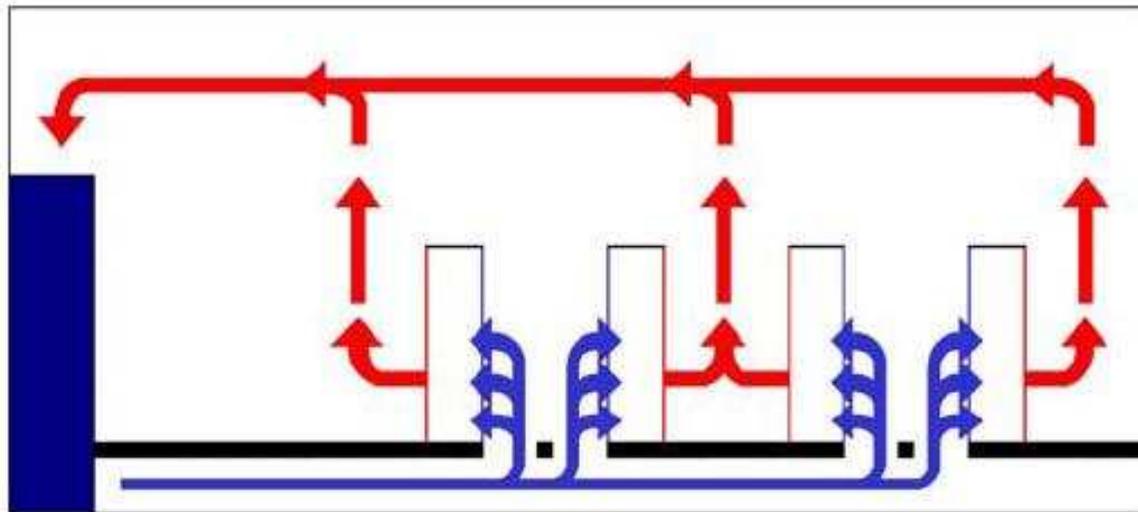
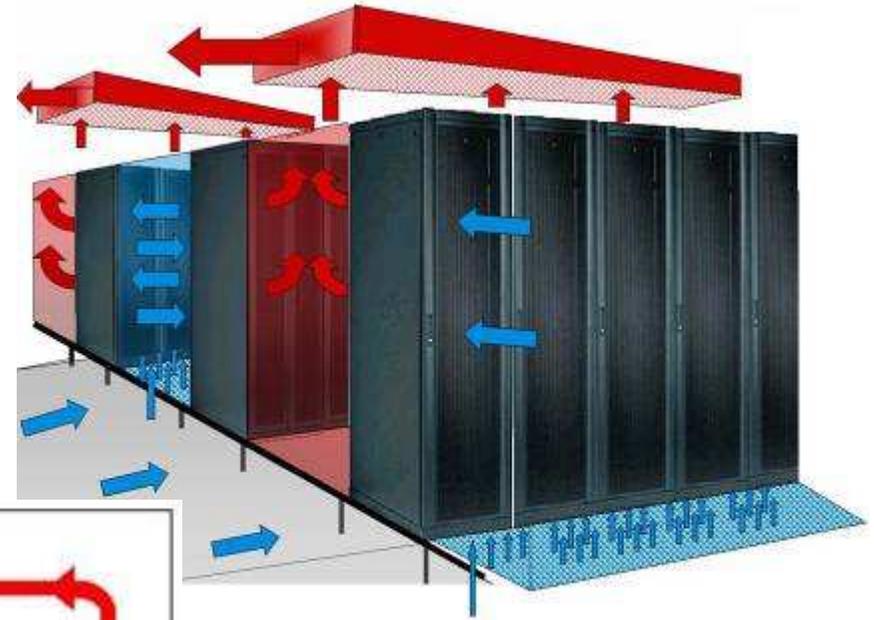
- Pose systématique d'obturateurs en face avant des baies pour combler les espaces vides



# Allée chaude – Allée froide

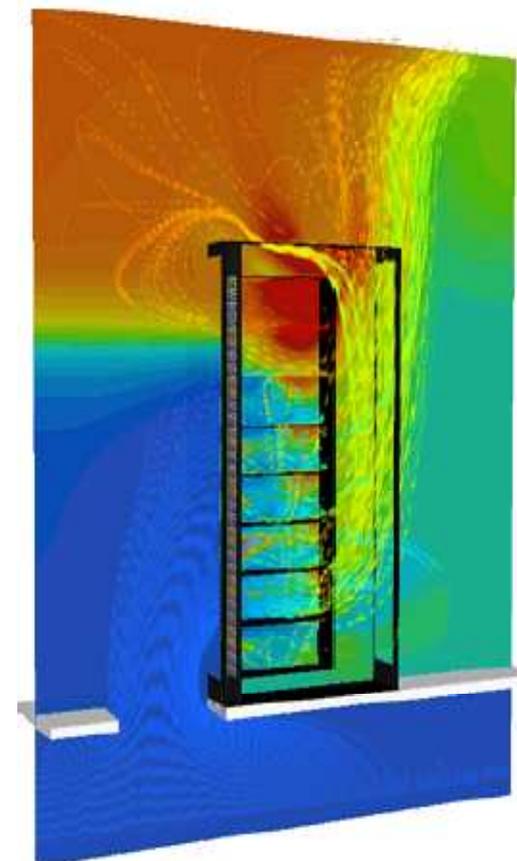
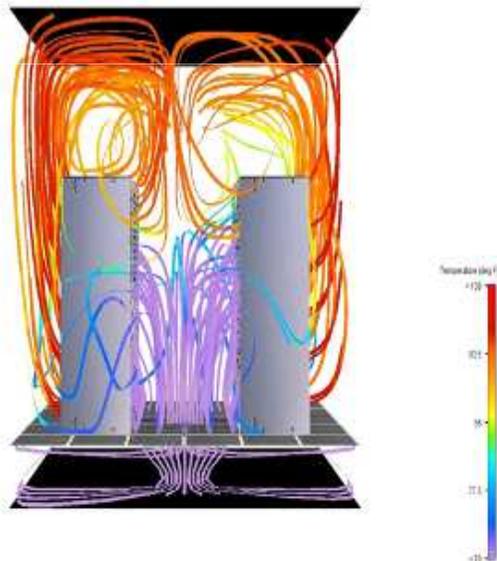
Architecture traditionnelle de la plupart des Data Centers aujourd'hui

Ok pour charges max de < 4kW par baie



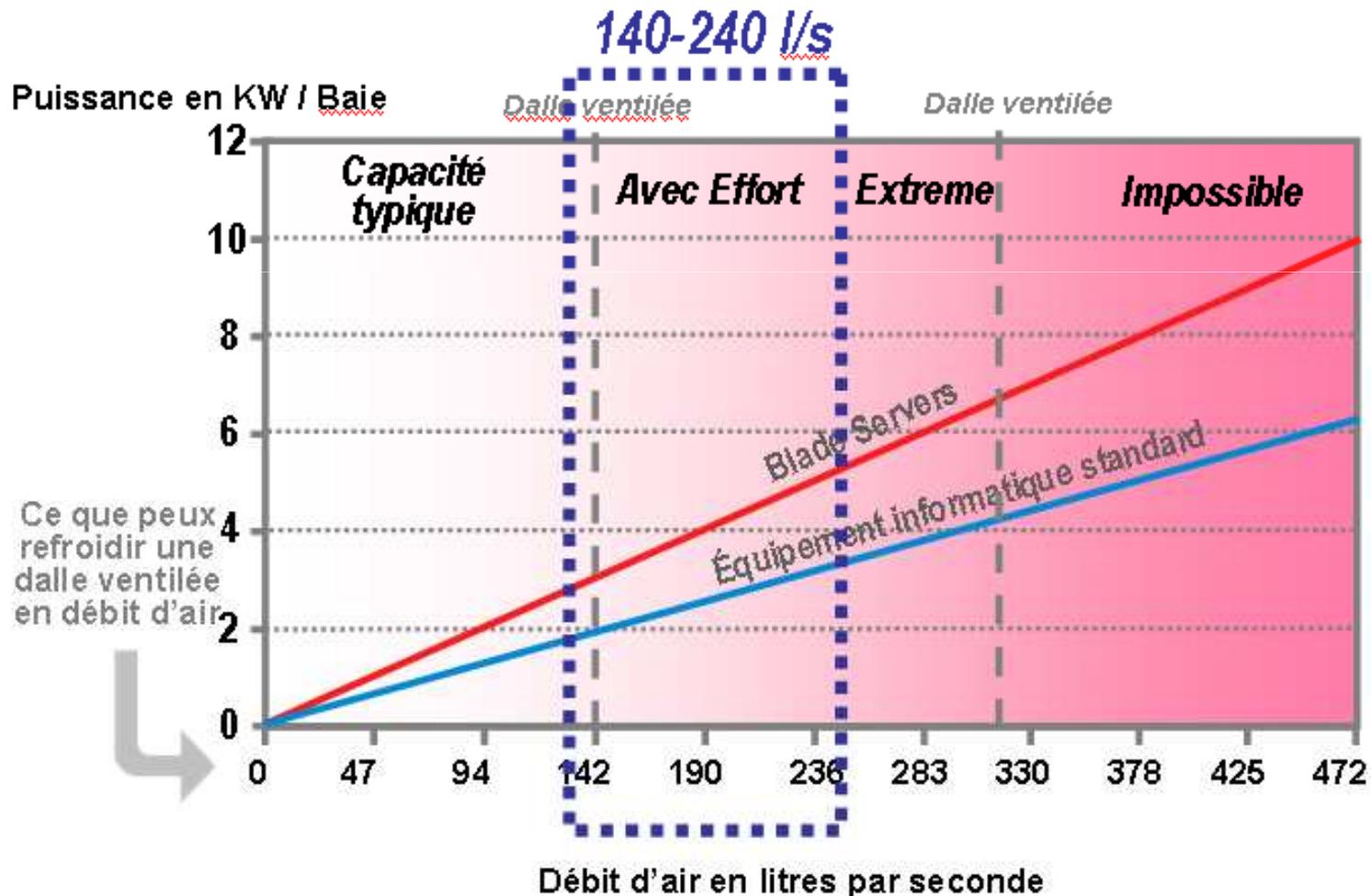
# Solution: limitée à 4kW par baie

- Au delà de 4kW par baie des changements de flux d'air sont constatés.



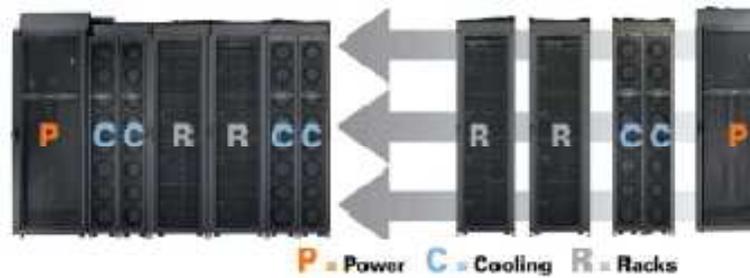
# Plus d'air à travers les dalles

Accroître la quantité d'air en accroissant la pression dans le faux plancher  
=> Plus d'air = Plus d'électricité; plus de pression = Plus d'électricité  
=> Limite physique des dalles ventilées de faux plancher

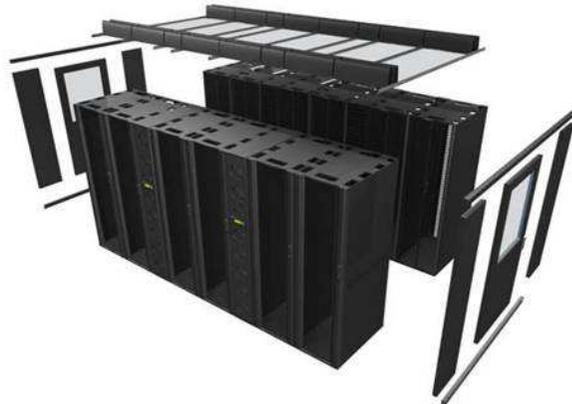


# Efficient Enterprise™: principe des 4C

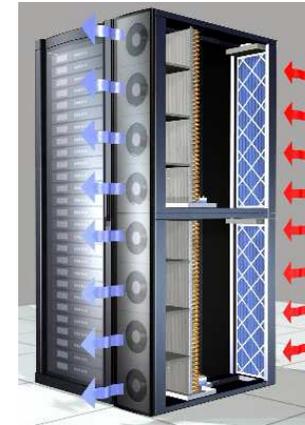
Composants : Efficacité / Modularité



Confinement en allée chaude

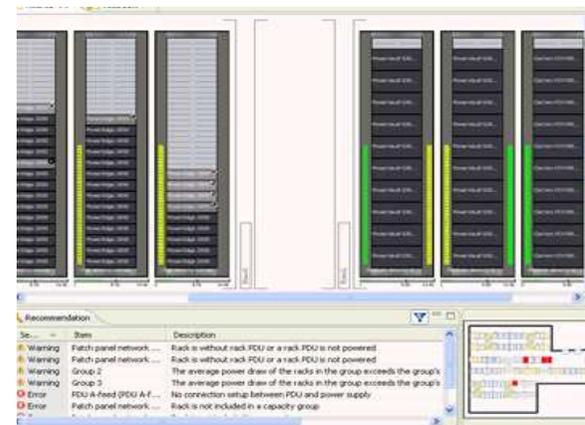


“Close-coupled Cooling”



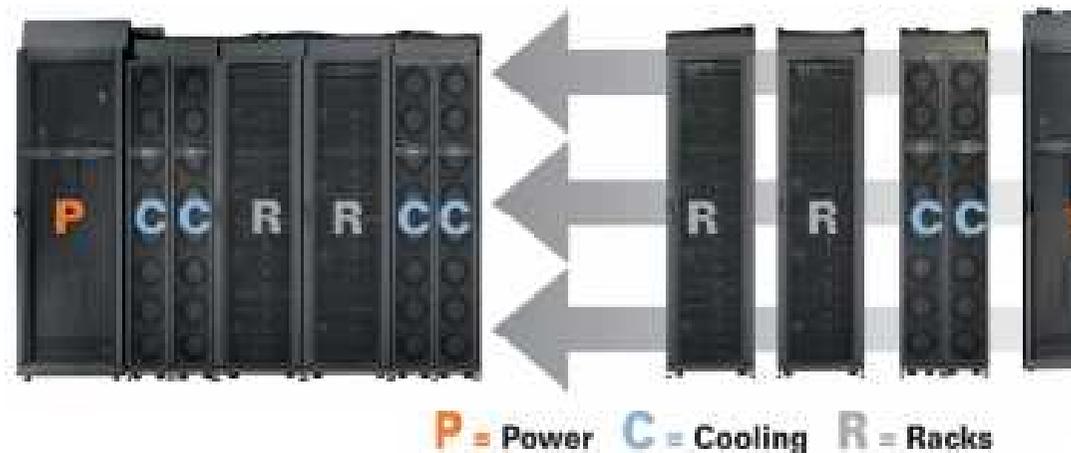
Capacity Management /

Gestion des Capacités



# Recommandation 1 : Eviter les surdimensionnements

- Haute disponibilité et efficacité ne sont plus incompatibles  $\Rightarrow$  Modularité et évolutivité des produits vont permettre d'adapter l'infrastructure d'alimentation électrique et de refroidissement à l'évolution de la charge.
- Plus un équipement est chargé, meilleur est son rendement.
- Cette recommandation évite les surinvestissements de départ (CAPEX) et minimise la facture énergétique (OPEX)

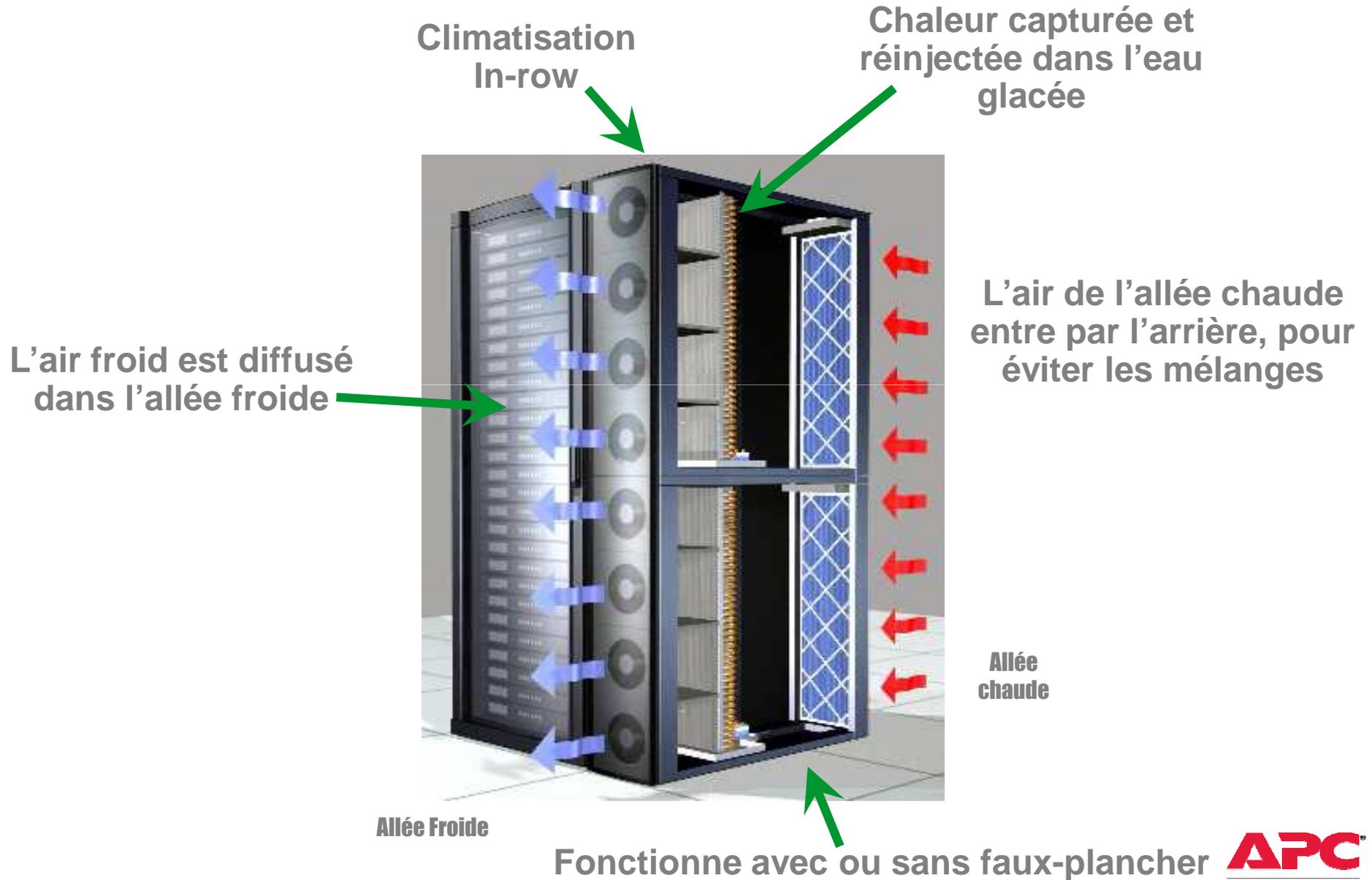


# 500kW d'onduleur modulaire à haute efficacité énergétique

## 500kW



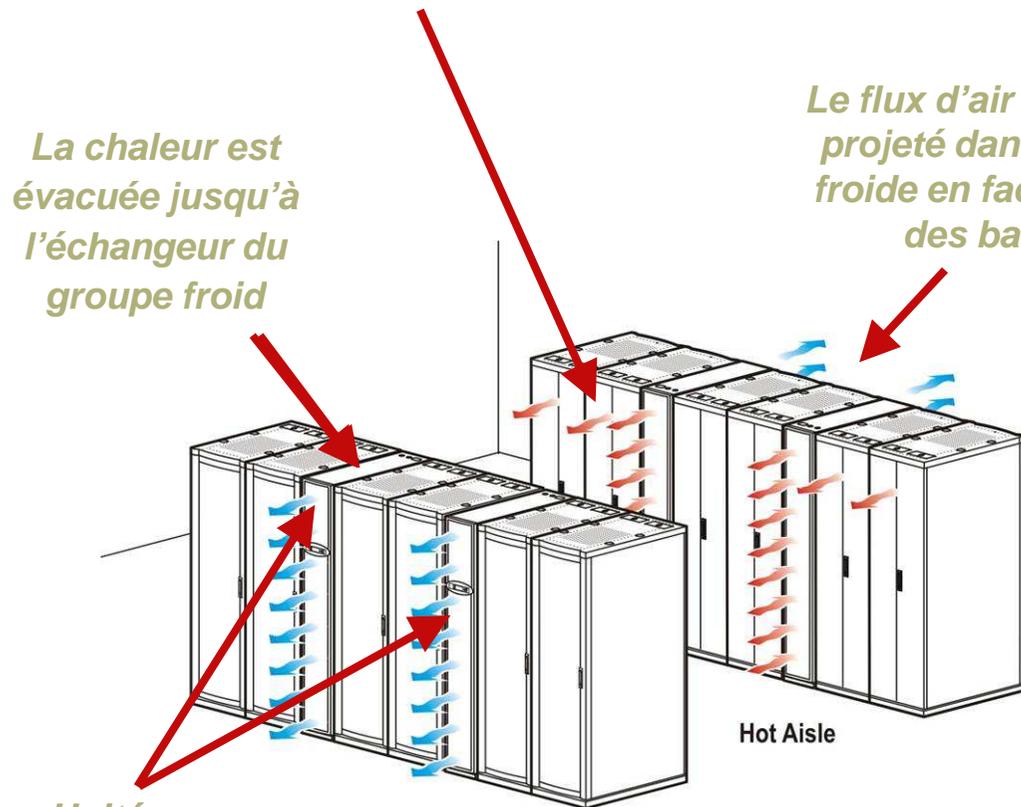
# Close-coupled Cooling™



# Climatiseurs APC by Schneider Electric InRow

*Le flux d'air chaud en provenance des équipements informatiques est capturé par l'aspiration des climatiseurs et évite son mélange avec l'air froid*

La vitesse variable des ventilateurs optimise l'efficacité en adaptant le flux d'air à la demande dynamique de refroidissement



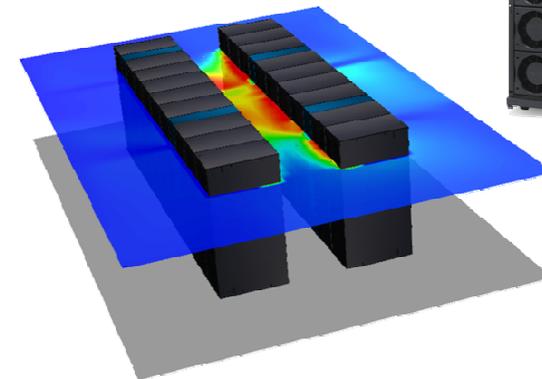
*La chaleur est évacuée jusqu'à l'échangeur du groupe froid*

*Le flux d'air froid est projeté dans l'allée froide en face avant des baies*

**Unités InRow®**

*Peut être mis en œuvre avec ou sans faux plancher*

**Unité de refroidissement InRow®**

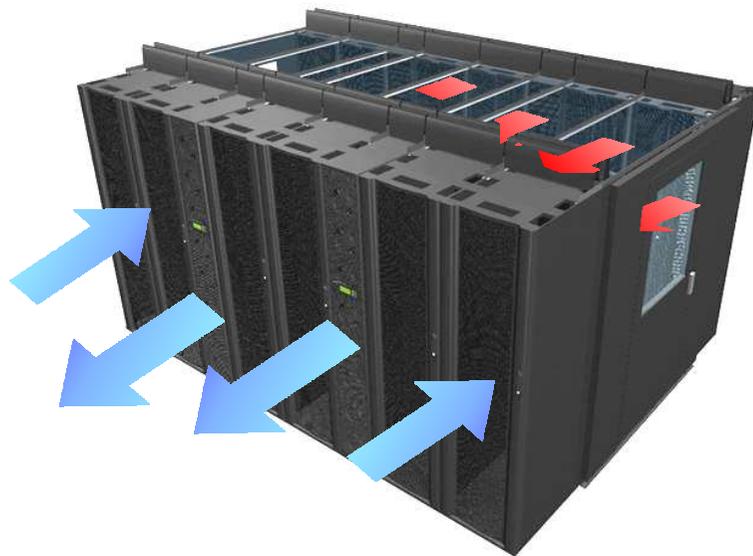


# Systeme de confinement en allée chaude Vs systeme de confinement en allée froide

Les 2 methodologies évitent le mélange de flux d'air **chaud** et **froid**.  
Ce qui permet de mieux prévoir et d'analyser l'environnement thermique.

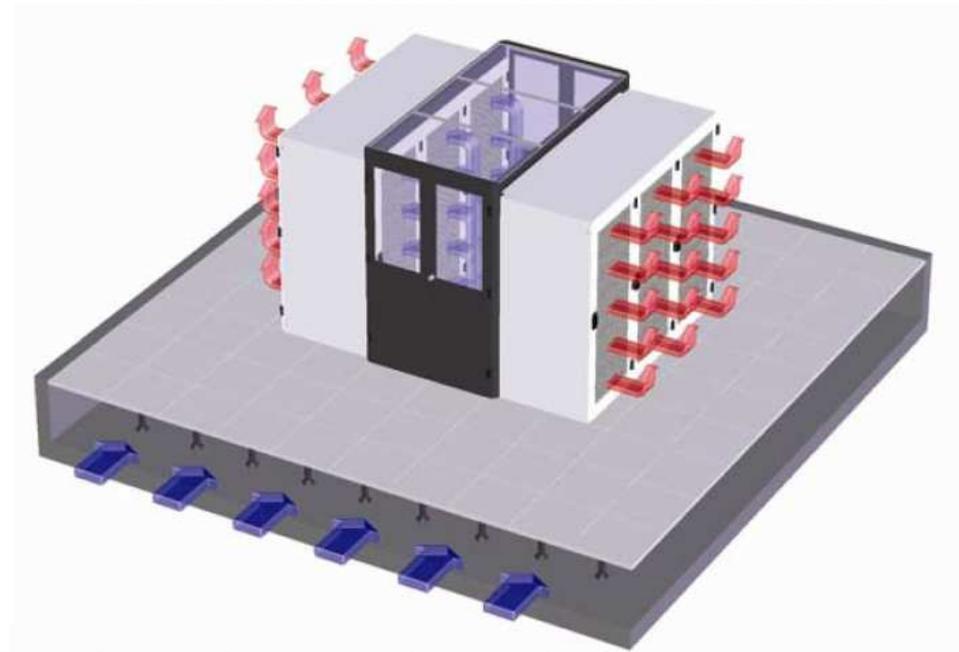
L'air chaud dissipé est  
confiné dans l'allée chaude

L'air froid est diffusé dans la  
salle



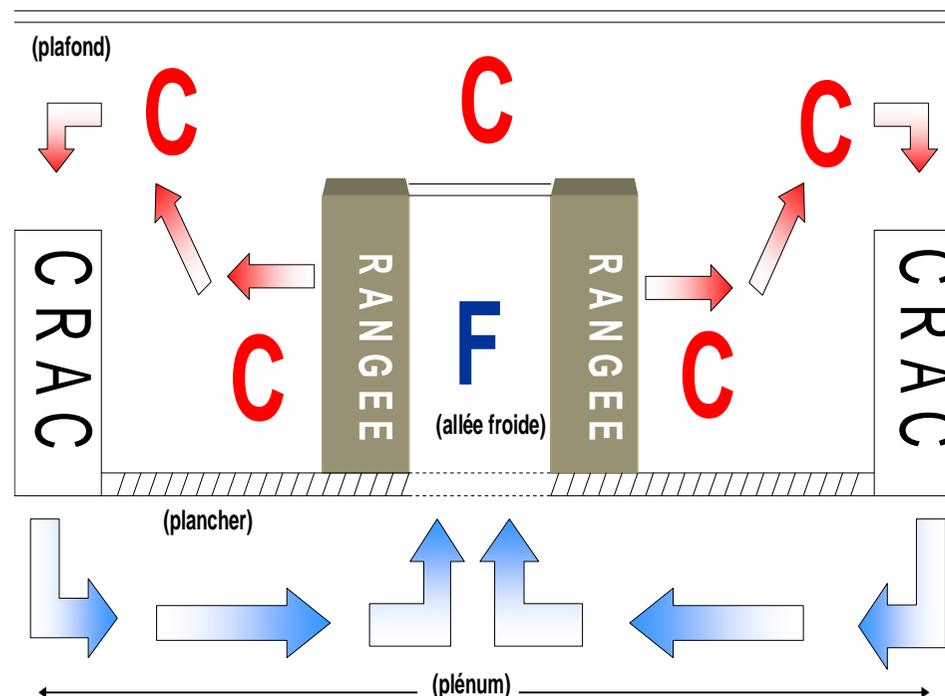
L'air froid est diffusé dans l'allée  
froide

L'air chaud est diffusé dans la salle

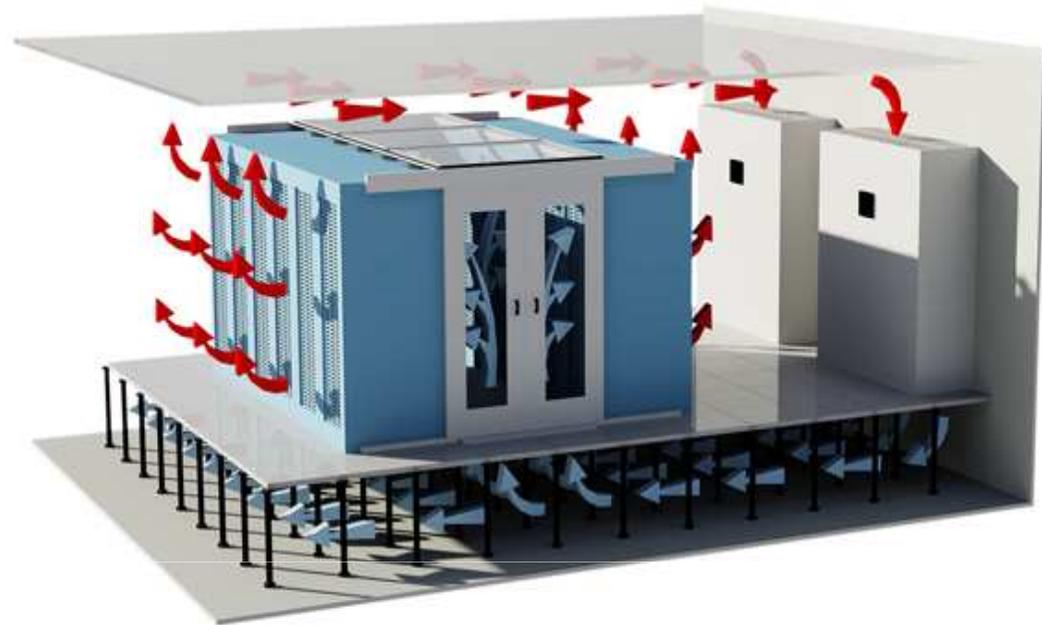


# Architecture du système de confinement en allée froide

- Elimine les mélanges d'air chaud et froid
- Compatible avec un système de climatisation d'ambiance traditionnelle – L'air froid est diffusé par les dalles perforées du faux-plancher
- Le reste de la salle devient une gigantesque gaine de retour d'air chaud



# Confinement d'allée froide



- + Flux froid et chaud séparés
  - ☺ + Moins de perte de température circuit d'air froid
  - + Efficacité accrue des climatiseurs de salle
  - La température en salle est plus élevée
  - ☹ - Consigne de T° Air Froid plus basse que nécessaire
  - T° de retour d'air moins élevée -> baisse de perf d es clim
  - Si défaillance du refroidissement montée en T° rapi de
- possible jusqu'à 10-12kW par baie

# Les limites du confinement en allée froide

- **Parcours plus long de l'air et plus grande résistance à la pression de l'air – La consommation d'énergie par ventilateur est supérieure**
- **Température de retour plus basse car l'air chaud est moins concentré – Faible capacité de refroidissement - efficacité énergétique moindre**
- **Lors d'une défaillance du refroidissement, la circulation de l'air est limitée à l'espace du confinement**
- **La salle joue le rôle de l'allée chaude = Difficulté à refroidir les autres racks et équipements dans la salle**
- **Nécessite des températures plus basses de fonctionnement – plus grande consommation d'énergie et période de free cooling limitée**
- **Pas de modularité ni d'évolutivité - Périmètre de refroidissement variable et non prédictible**

# Architecture du système de confinement en allée chaude

- Elimine les mélanges d'air chaud et froid
- Typiquement utilisé avec un refroidissement au niveau de la rangée – l'air chaud est capturé et neutralisé par les unités de refroidissement puis rejeté dans l'allée froide non confinée.
- Il n'est pas nécessaire d'avoir de faux-plancher ou de canalisations. Le reste de la salle devient une gigantesque gaine d'air froid

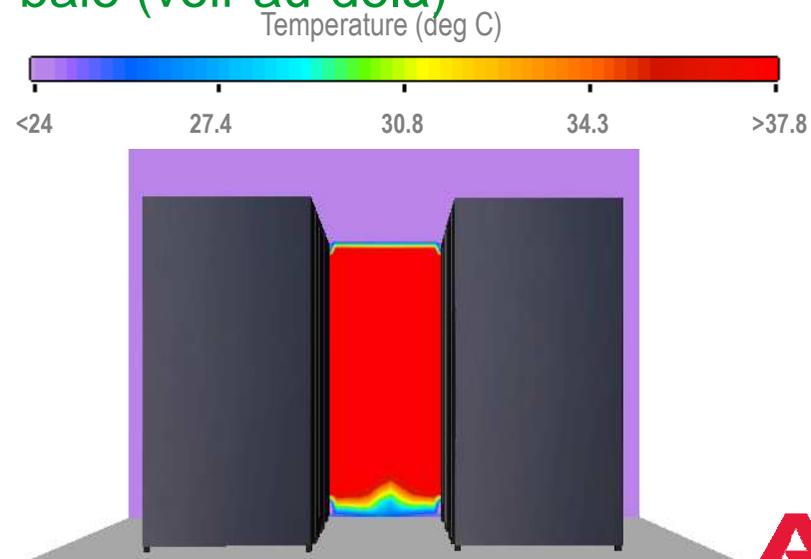
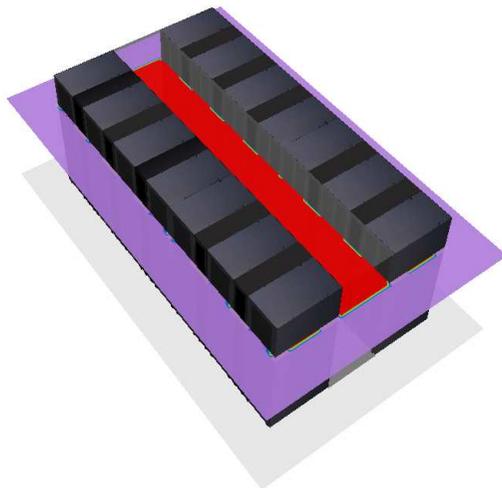


# Confinement allée chaude



- + Séparation totale des flux d'air
- + Circuit d'air + court -> - pression -> conso réduite des ventilateurs
- + T° retour + élevée = Efficacité optimale des climatiseurs
- + Consigne de T° des climatiseurs + élevées = conso d'énergie réduite
- + Environnement prévisible Compatible avec une salle traditionnelle
- + Si défaillance du système montée en T° moins rapide
- + Modularité et évolutivité facilité – concept « pay as you grow »

➤ Possible jusqu'à 35 kW par baie (voir au-delà)



# Avantages du système de confinement en allée chaude

- Le refroidissement au niveau de la rangée est en circuit fermé – Parcours de l'air court, peu de résistance à la pression de l'air – Consommation d'énergie par ventilateur inférieure
- Température de retour plus élevée – Capacité de refroidissement & efficacité supérieures
- Environnement Haute Densité par rack possible – Toute la chaleur est neutralisée – Pas de limite due aux faux-planchers et dalles perforées
- Environnement prévisible car indépendant des dimensions de la salle et du faux-plancher
- Plus grande circulation de l'air si défaillance du système de refroidissement – volume de l'allée froide significativement plus grand (la salle).
- La salle joue le rôle de l'allée froide, solution flexible qui peut être déployée avec des architectures existantes
- Des températures plus basses de fonctionnement ne sont pas nécessaires – la consommation en énergie est faible, l'utilisation du free cooling est possible et pour des périodes plus longues
- Solution modulaire & évolutive grâce à l'approche du refroidissement au niveau de la rangée

# Tableau comparatif

<b>Caractéristiques</b>	<b>Confinement en allée chaude</b>	<b>Confinement an allée froide</b>	<b>Commentaires</b>
Elimine les mélanges d'air	Oui	Oui	Améliore la prévisibilité et l'efficacité du refroidissement
Déploiement possible dans des zones de DC existants	Oui	Non	Confinement de l'allée chaude neutralise la chaleur
Evolutivité vers la haute densité	Oui	Non	Limites dues au système de faux-plancher
Environnement prévisible	Elevée	Limitée	Indépendance entre salle et faux-plancher
Température de retour plus élevée	Oui	Limitée	Plus grande capacité de refroidissement & d'efficacité
Possibilité d'utiliser le Free cooling	Elevé	Limité	Plus grandes possibilités d'utiliser le free cooling
Circulation de l'air	Elevée	Limitée	Plus grand retour d'air



# Capacity Manager

## Provision des équipements physiques

Localise rapidement l'emplacement optimum pour un nouveau serveur en se basant sur les besoins d'espace, de refroidissement et d'alimentation

## Analyse des flux d'air

Localise les nouveaux appareils sans surchauffer les équipements nouveaux ou existants en simulant les changements; fournit la température, le flux d'air et le nombre d'unités de refroidissement

## Capacité disponible

Comprend la capacité disponible en calculant l'espace réel, la consommation énergétique & de refroidissement en fonction des contraintes de l'architecture du datacenter

## Extension de racks

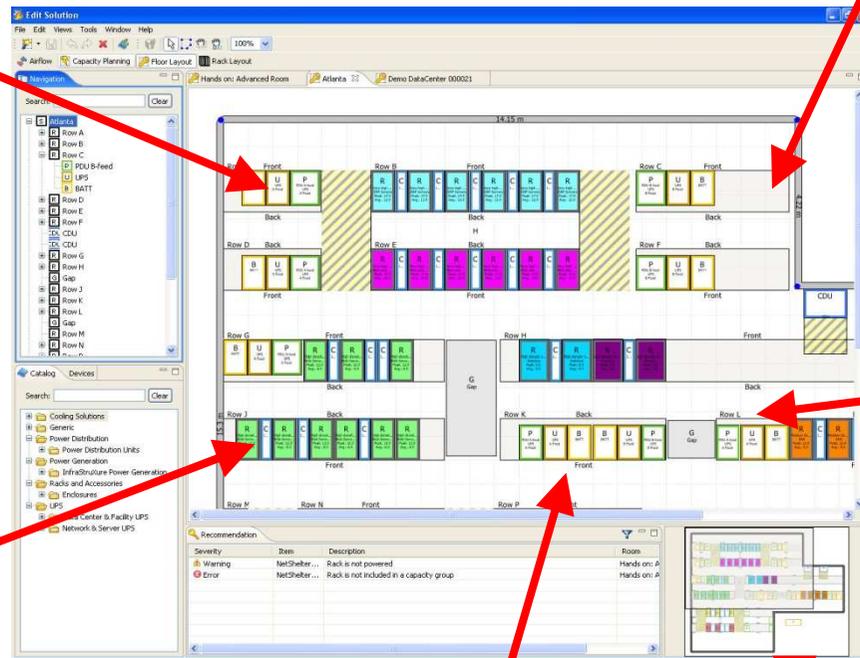
La vue de l'avant des racks est facile à utiliser et permet de représenter de façon précise et détaillée la localisation des équipements

## Groupe de capacités

Détermine les capacités de l'architecture pour accorder l'équipement IT avec les besoins en disponibilité et éviter de bloquer de l'espace, d'alimentation et de refroidissement

## Analyse de la conception

Modélise les effets et compare les dispositions alternatives via une analyse détaillée de la conception



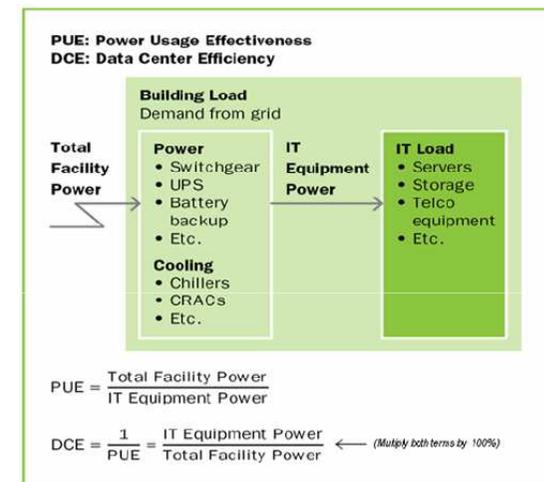
# Connaître le rendement énergétique de sa salle informatique



- Pour évoluer vers un datacenter éco-performant : MESURER

- Offre d'Audit Modulaire (Qualification, Audit, Rapport)

- Analyse d'Efficacité énergétique
- Analyse Capacitaire
- Analyse CFD
- Analyse Thermographique
- Analyse CEM
- Analyse de fiabilité



- Organiser son centre informatique pour « produire plus » sans « consommer plus »



# Quelques outils en ligne à votre disposition : Les TradeOff Tools

[http://www.apc.com/prod\\_docs/results.cfm?DocType=Trade-Off%20Tool&Query\\_Type=10](http://www.apc.com/prod_docs/results.cfm?DocType=Trade-Off%20Tool&Query_Type=10)

## Data Center Carbon Calculator

Impact of changes in data center efficiency on energy costs and carbon footprint

**APC TRADEOFF TOOLS**

**INPUTS**

**Data center infrastructure efficiency (DCIE)**

Scenario 1: 55% (PUE = 1.8)

Scenario 2: 65% (PUE = 1.5)

**IT load**

Scenario 1: 1000 kW

Scenario 2: 1000 kW

**Location of Data Center**

France (EUR)

Europe

Electricity cost per kWh: € 0.09

CO2 emissions (kg/kWh): 0.083 (Footprint), 0.912 (Avoided)

**RESULTS**

	Scenario 1	Scenario 2
Utility input power (kW)	1,818	1,538
Total kWh per year	15,927,273	13,476,923
Electricity cost per year	€ 1,442,023	€ 1,220,174
CO2 tonnes per year (footprint)	1,322	1,119
Equivalency in cars	291	247

**Savings from scenario 1 to scenario 2 equivalent to:**

- € 221,850 in Electricity cost per year\*
- 2,235 Fewer tonnes of CO2 emissions per year\*\*
- 493 Fewer cars on the road

\* 15 year electricity cost savings: €3,327,748  
 \*\* 15 year reduction CO2 emissions: 33,521  
 Based on avoided equivalent tonnes of CO2 ↓

## Data Center Efficiency Calculator

Impact of alternative power and cooling approaches on energy costs

**APC by Schneider Electric**

**INPUTS**

Data center capacity: 1000 kW

Total IT load: 50% (500 kW)

Electricity cost per kWh: 0.08 €

**RESULTS**

**Infrastructure efficiency**

PUE: 2.61

Annual electricity cost: € 915,000 at 500 kW load

**PUE curve**

IT load (500 kW)

**UPS system**: Legacy

**Power redundancy**: Dual path power

**Cooling system**: Air cooled

**Chiller**: N/A

**Air distribution**: Perimeter cooling

**CRAC/CRAH redundancy**: Single Path CRAC/CRAH

**Heat rejection redundancy**: Single path heat rejection

**Water-side economizer time**: N/A

Standby generator

PDU's without transformers

Blanking panels

Energy efficient lighting

Dropped ceiling return

Deep raised floor

UPS in Eco mode

CRAC/CRAH on UPS

Coordinated CRAC/CRAH

VFD heat rejection pumps

VFD chilled water pumps

Optimized rack layout

Optimized tile placement

## Data Center Capital Cost Calculator

Impact of physical infrastructure design changes on capital costs (not including building shell)

**APC TRADEOFF TOOLS**

**INPUTS**

**Data center environment**

Location of data center: Europe / France

Data center design capacity: 1000 kW

Average power density: 4 kW/rack (1,595 W/m<sup>2</sup>)

Installation labor rate: Typical (€ 70.16 per hour)

Cooling system: CRAC DX air cooled

Air distribution type: Perimeter cooling

UPS architecture: Traditional, non-scalable UPS

**Redundancy levels**

Power: 2N / N+1 / N+1

CRAC/heat rejection: N+1

Cooling: N+1

**Included in cost**

IT enclosures

Standby generator

Raised floor

Switchgear / panelboards

Fire suppression / detection

**Data center values computed**

Design rack quantity: 250

Design data center size: 627 m<sup>2</sup>

**RESULTS**

**Capital cost summary**

Data center cost: € 12,000,000

Data center cost per watt: € 11.99

% deployed capacity: 100%

**Cost by system**

Power, Cooling, Other

**Power system cost by subsystem**

UPS, Generator, Switchgear, Critical power distribution

## Data Center Power Sizing Calculator

Impact of server and storage configurations on IT load capacity and required utility input power

**APC TRADEOFF TOOLS**

**INPUTS**

**Servers**

Server quantity: 1000

Server population: 90% (1-2 CPU sockets) + 10% (4 CPU sockets) + 0% (8+ CPU sockets) = 100%

Percentage of blade servers: 20%

**Mainframes**

Mainframe quantity: 1

**Storage**

External storage: Typical

Percentage of servers that boot from SAN/NAS: 30%

Internal storage: Typical

**Design Attributes**

Data center infrastructure efficiency: 55% (PUE = 1.8)

Safety margin for IT load: 20%

**RESULTS**

**Required data center IT load capacity rating**: 620 kW

**Required utility input power**: 1,130 kW

**Allocation of input power**

Networking, External storage, Servers/mainframes, Safety margin, Physical infrastructure

# Make the most of your energy



# Limites de 3 types d'urbanisation haute densité

- Comment urbaniser une salle hébergeant **640kW** d'équipements ?

- Cas 1 : 320 racks chargés à 2kW

**TRADITIONNELLE**

- Cas 2 : 40 racks chargés à 16kW

**EN RANGEES**

- Cas 3 : 16 racks chargés à 40kW

**CONFINEMENT**

# Cas 1 : 320 racks de 2 kW

- **Infrastructure:**

- 28 Climatiseurs périmétriques
- Soufflage par faux plancher (60 cm)
- Urbanisation en allée chaude/allée froide

- **Surface de la salle: 672 m<sup>2</sup>**

- Equipements informatiques : 205 m<sup>2</sup>
- Armoires de climatisation : 19 m<sup>2</sup>
- Distribution électrique : 3 m<sup>2</sup>

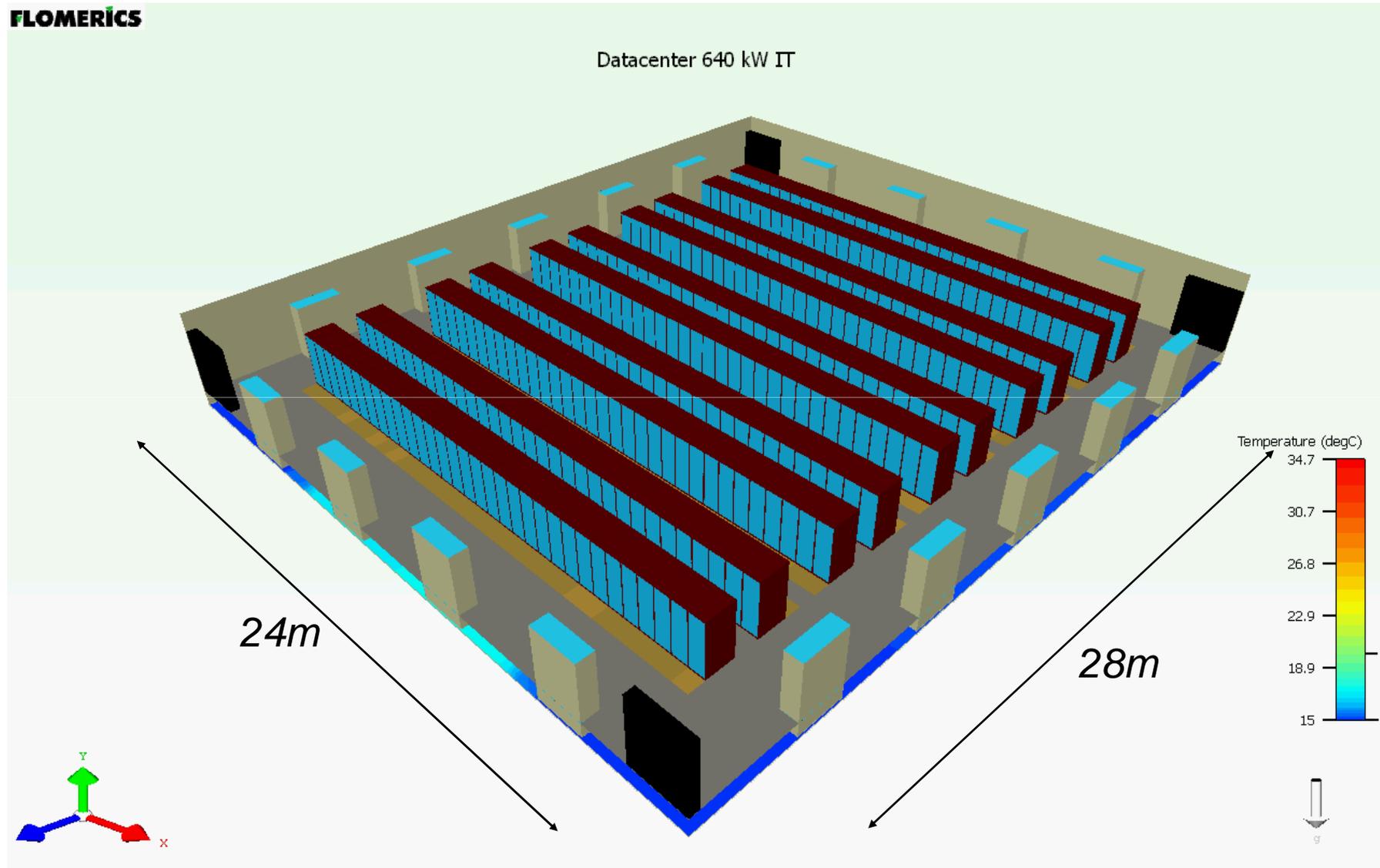
**227 m<sup>2</sup> de surface utile**

- **Consommation électrique 1343 kW**

- Equipements informatiques : 640 kW
- Armoires de climatisation : 200 kW
- Production Eau Glacée: 416 kW
- Pertes onduleurs : 70 kW
- Eclairage + auxiliaires : 17 kW

**PUE 2,1 – DCiE 47%**

# Cas 1 : 320 racks de 2 kW



# Cas 2 : 40 racks de 16 kW

## ● Infrastructure:

- 24 climatiseurs en rangées
- Pas de faux plancher
- Pas de confinement
- Urbanisation en allée chaude & allée froide

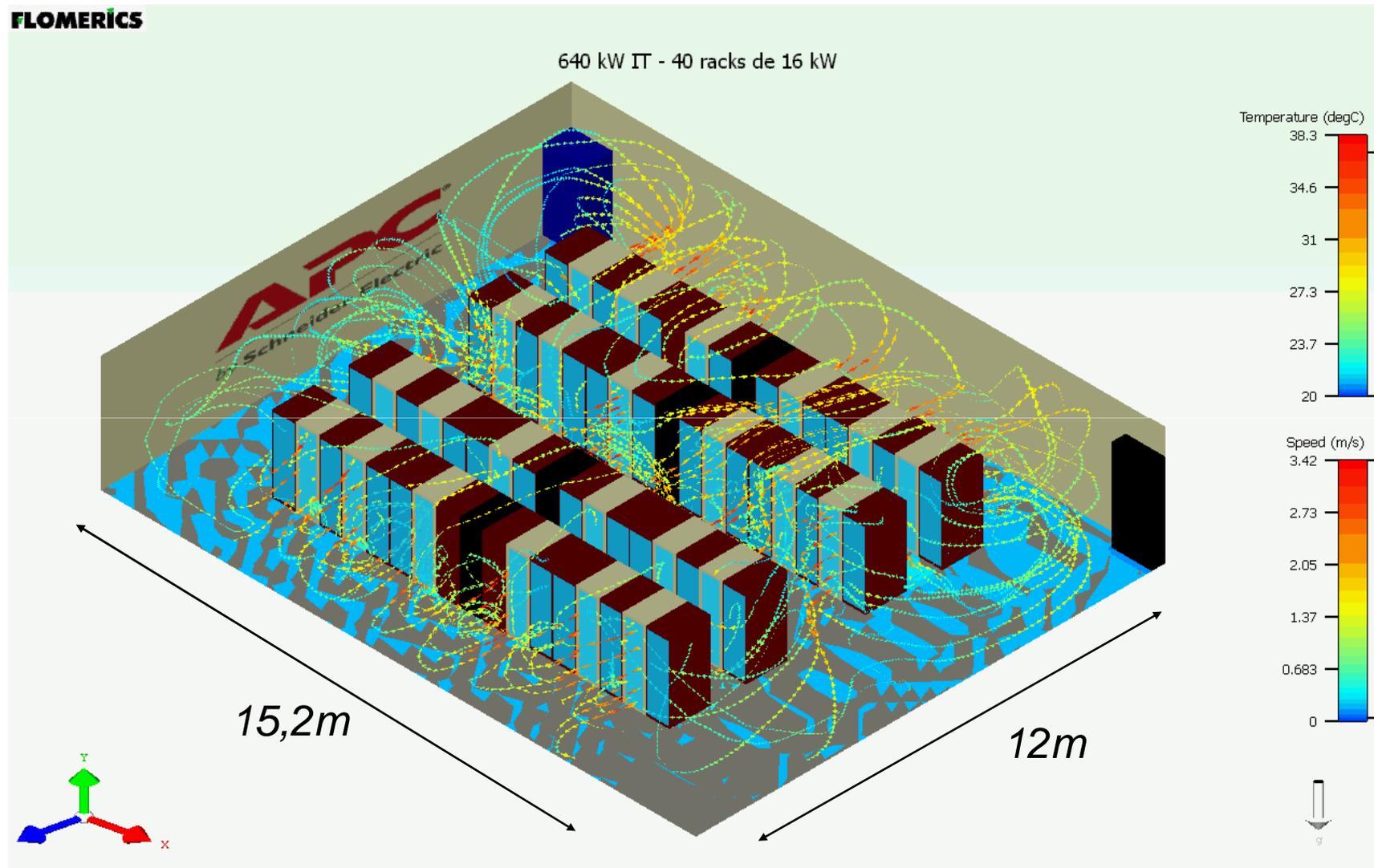
## ● Surface de la salle: 185 m<sup>2</sup>

- Equipements informatiques : 26 m<sup>2</sup>
  - Armoires de climatisation : 16 m<sup>2</sup>
  - Distribution électrique : 3 m<sup>2</sup>
- } 45 m<sup>2</sup> de surface utile

## ● Consommation électrique 997 kW

- Equipements informatiques : 640 kW
  - Armoires de climatisation : 72 kW
  - Production Eau Glacée: 203 kW
  - Pertes onduleurs : 78 kW
  - Eclairage + auxiliaires : 4 kW
- } PUE 1,56 – DCiE 64%

# Cas 2 : 40 racks de 16 kW



# Cas 3 : 16 racks de 40 kW

## ● Infrastructure:

- 18 climatiseurs en rangées
- Confinement de l'allée chaude
- Pas de faux plancher

## ● Surface de la salle: 108 m<sup>2</sup>

- Equipements informatiques : 10 m<sup>2</sup>
  - Armoires de climatisation : 12 m<sup>2</sup>
  - Distribution électrique : 2 m<sup>2</sup>
- } 24 m<sup>2</sup> de surface utile

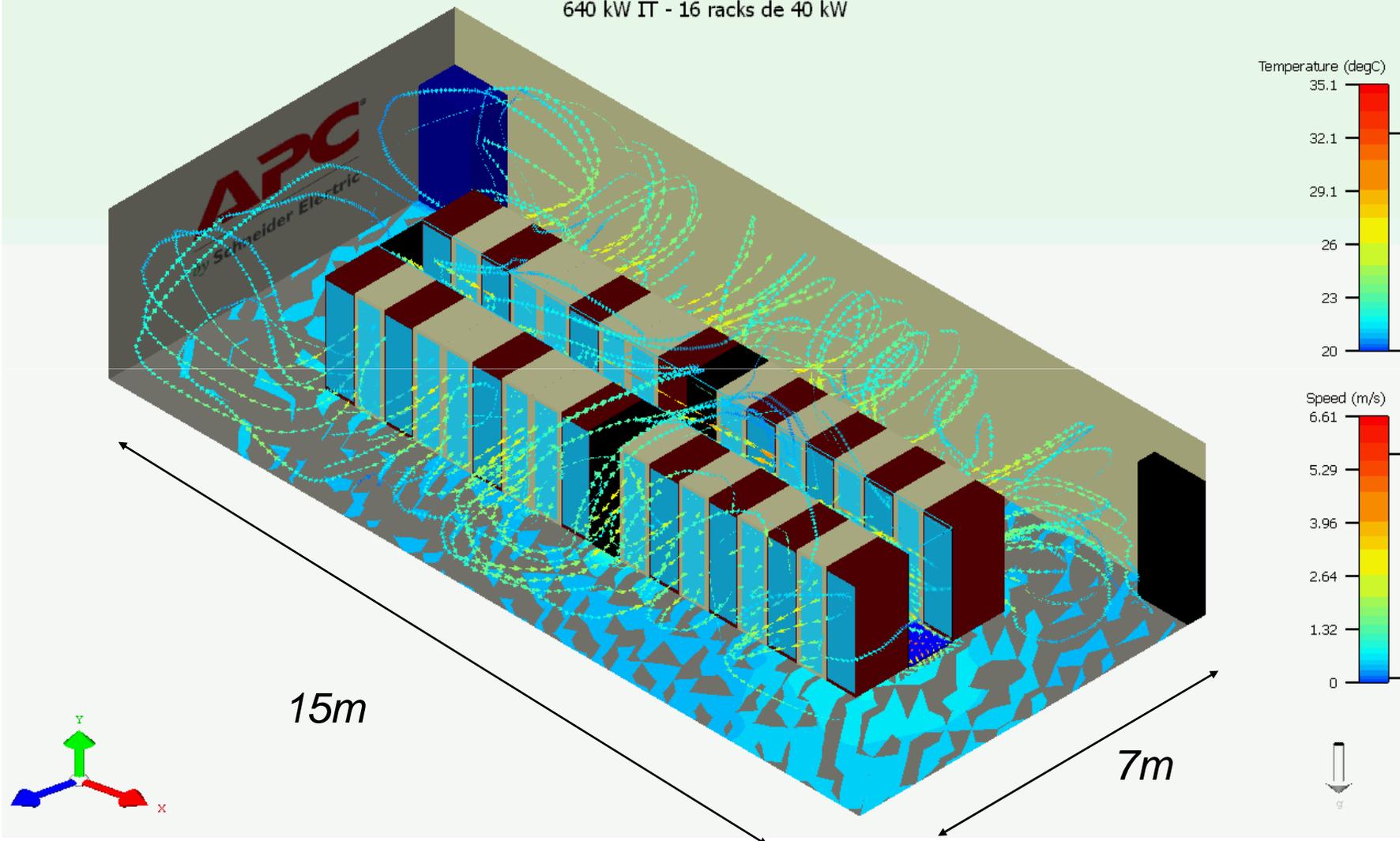
## ● Consommation électrique 964 kW

- Equipements informatiques : 640 kW
  - Armoires de climatisation : 54 kW
  - Production Eau Glacée: 191 kW
  - Pertes onduleurs : 76 kW
  - Eclairage: 3 kW
- } **PUE 1,5 – DCiE 66%**

# Cas 3 : 16 racks de 40 kW

**FLOMERICS**

640 kW IT - 16 racks de 40 kW



# En synthèse : pour une même charge (640kW)

Urbanisation	Traditionnelle	En rangée	Confinement
Densité par baie	2kW	16kW	40kW
Surface de la salle	672m <sup>2</sup>	185m <sup>2</sup> -72%	108m <sup>2</sup> -84%
Surface utile	227m <sup>2</sup>	45m <sup>2</sup> -80%	24m <sup>2</sup> -89%
<b>Efficacité Energétique</b>	<b>47%</b>	<b>64%</b>	<b>67%</b>
Quantité baies	320	40 -88%	16 -95%
Economies annuelles (Electricité)	-	190 111 €	213 645 €
<b>Economies (CO2 et kWh)</b>	-	<b>-27%</b>	<b>-30%</b>

# Résumé

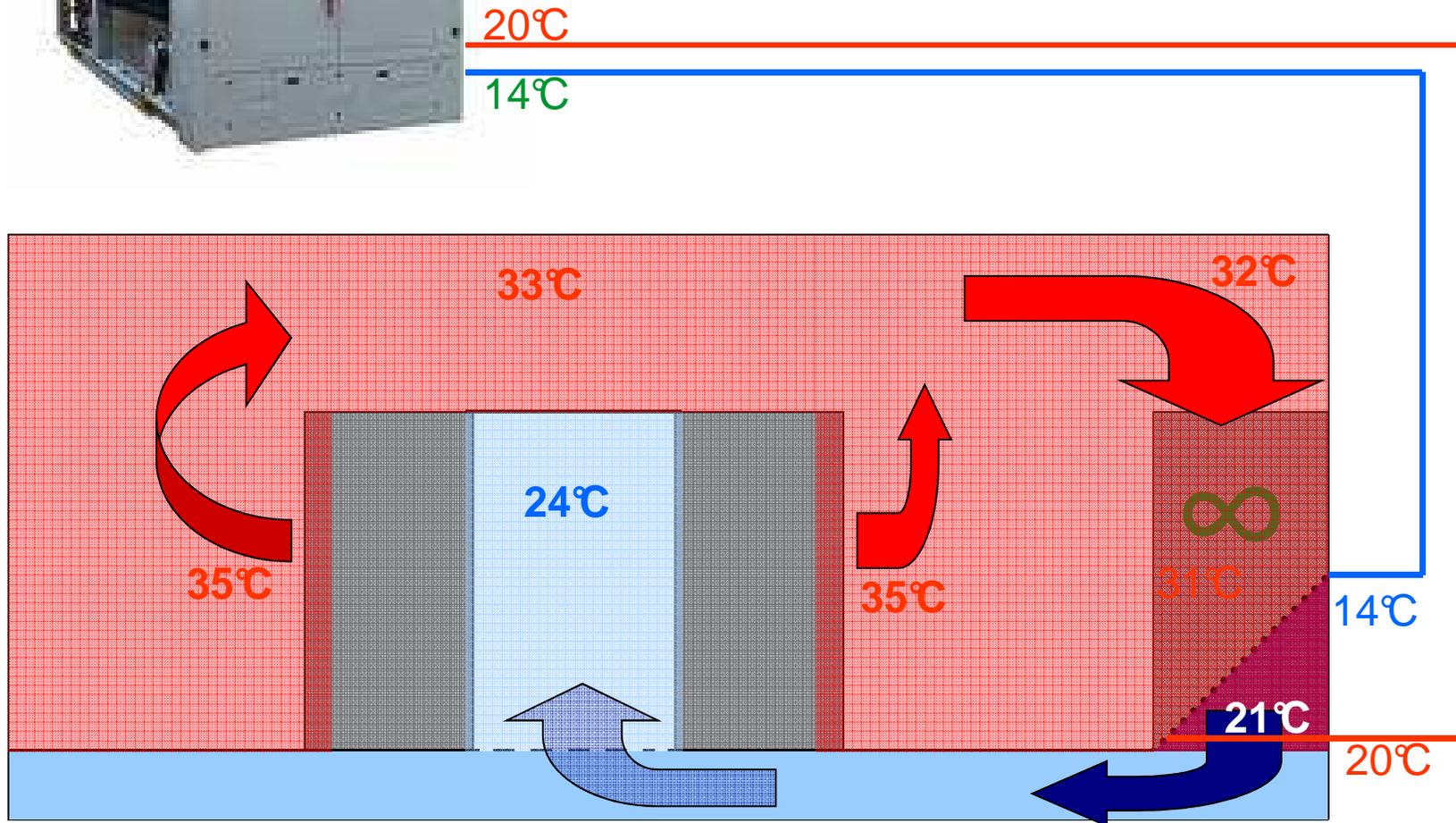


- Les 2 méthodes de confinement éliminent les mélanges d'air et sont des solutions plus efficaces qu'une architecture de refroidissement traditionnelle.
  - MAIS LE CONFINEMENT EN ALLEE CHAUDE :
- Est une solution plus flexible, prévisible et évolutive
- Est utilisé avec une architecture en rangées ce qui fourni un refroidissement en circuit fermé et permet une capacité de refroidissement plus grande et plus efficace
- A un potentiel plus élevé pour une meilleure utilisation de la chaleur et permet l'utilisation du free cooling
- Offre une plus grande capacité de circulation de l'air

# CACS – Hypothèse de fonctionnement



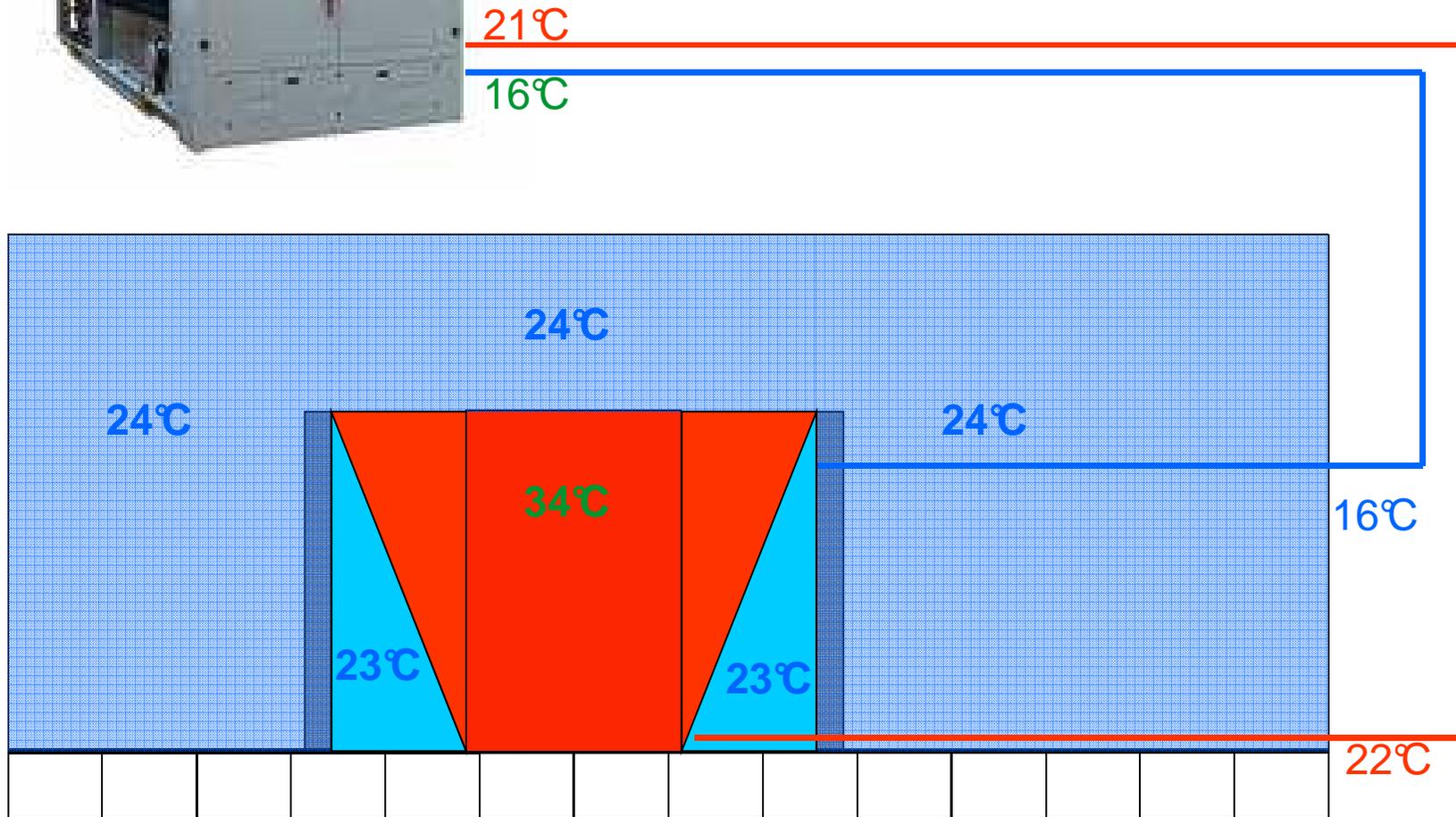
Température extérieure à partir de laquelle on obtient  
100% de FREE COOLING **4°C**



# HACS – Hypothèse de fonctionnement

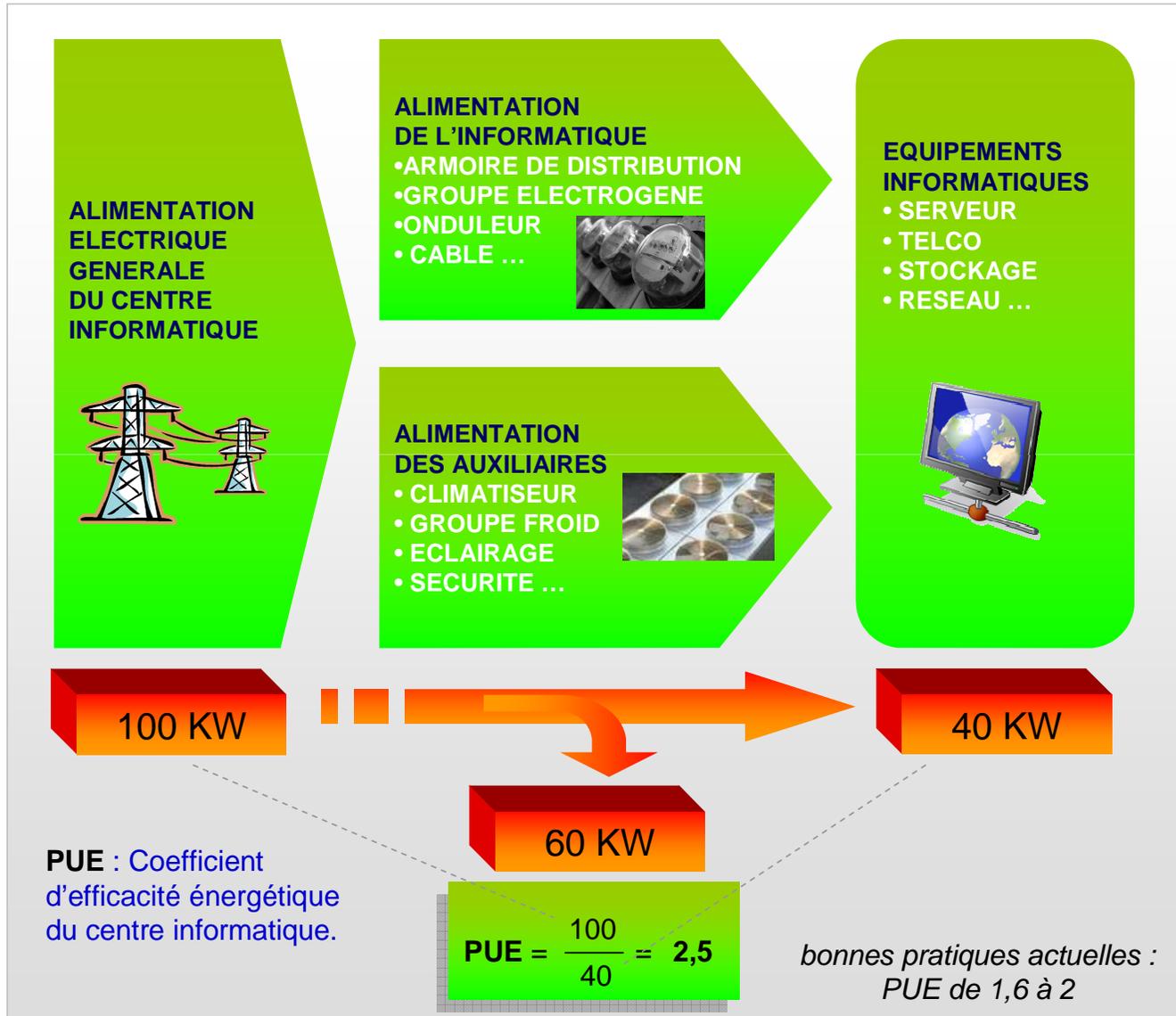


Température extérieure à partir de laquelle on obtient  
100% de FREE COOLING **6°C**



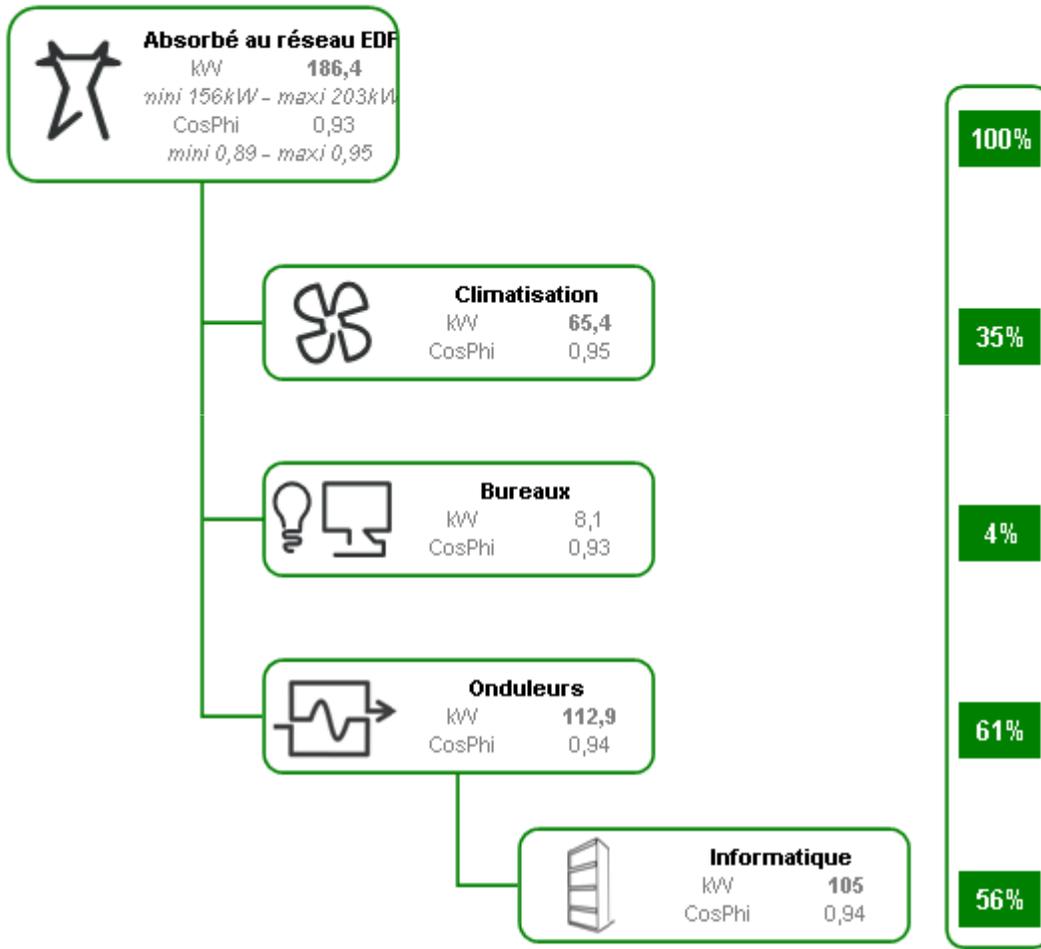
# Effacité énergétique du Data Center Le PUE (Power Usage Efficiency)

# Mesure du PUE (Power Usage Efficiency)



# Cartographie de l'Efficacité Energétique

et des composants installés entre le point de livraison énergétique et les équipements informatiques



PUE : 1,7 - DCiE : 59%

Coût annuel de l'inefficacité : 43470€

Chaque kW informatique économisé en fait gagner 1,7 sur la facture EDF (1200€/an/kW)

	PUE	DCiE	CEE - GreenGrid
<b>TRES EFFICACE</b>			
A	<1,25	>80%	Platinum
B	1,43	70%	Gold
C	1,67	60%	Silver
D	2	50%	Bronze
E	2,5	40%	Recognized
F	>2,5	<40%	Non-Recognized
<b>PEU EFFICACE</b>			

# Les causes de l'inefficacité

- Surdimensionnement des équipements d'alimentation électrique et de refroidissement
- Equipements inadaptés au refroidissement de la haute densité
- Conception inadaptée des salles informatiques
- Flux d'air inefficaces (mélange du froid et du chaud)
- Trop de redondance sous prétexte de disponibilité
- Rendement énergétique des composants d'alimentation et de refroidissement
- Configuration et paramétrage des équipements
- Filtres encrassés (eau ou air)
- Désactivation des modes de fonctionnement « économiques »
- Faux plancher inadaptés (hauteur insuffisante et encombrement des câbles)