

# AICVF

CONDITIONNEMENT D'AIR

CHAUFFAGE

VENTILATION

AUJOURD'HUI NOUS VOUS OFFRONS  
LA RUBRIQUE

## Dossier

Chaque trimestre,  
des professionnels  
contribuent à croiser leur  
expertise autour d'une  
thématique liée  
au Génie  
Climatique

LA REVUE DES CLIMATICIENS

[www.aicvf.org](http://www.aicvf.org)

Trimestriel - N°924 - Juin 2024

DOSSIER

## Décret Tertiaire/Décret BACS : la rénovation énergétique des bâtiments d'enseignement



DOSSIER

► Datacenters :  
le défi  
énergétique

PROFESSION

► Hommage  
à Bernard  
Missenard

AVIS D'EXPERT

► Les  
acronymes



# Datacenters : le défi énergétique

*Dossier coordonné par Jean-Christophe Léonard, EDF R&D*

**L**e numérique nous rend d'innombrables services, mais son empreinte environnementale, tant en termes de carbone que d'eau, interroge nos sociétés. L'avènement de l'intelligence artificielle – la probable quatrième révolution industrielle – et la puissance accrue des puces utilisées exacerbera encore plus ce constat.

« Depuis deux ans, on assiste à une véritable course à la capacité entre les différents hébergeurs de datacenters. À ce jour, l'ensemble des acteurs nous demande de 8 à 9 GW de puissance de pointe. C'est bien supérieur à ce que l'on a pu voir par le passé », note Jean-Philippe Bonnet, directeur adjoint du pôle Stratégie, Prospective et Évaluation de RTE, dans Les Echos du 27 mai 2024. Si tous ces projets aboutissent, cela pourrait se traduire par une consommation avoisinant les 80 TWh/an, soit... huit fois plus que les 10 TWh consommés par les datacenters installés en France aujourd'hui. Même si, « tous ces projets ne se feront pas. Certains acteurs demandent plusieurs devis de raccordement pour arbitrer entre plusieurs sites », ces chiffres impressionnent. Dans son bilan

prévisionnel, RTE table sur une consommation de 15 à 20 TWh en 2030, puis en 2035 voisine de 28 TWh. Lors de son passage à Paris au salon Vivatech, Antonio Neri, le patron de Hewlett Packard Enterprise, affirmait : « Il va falloir de l'innovation en matière d'efficacité énergétique, de refroidissement des serveurs informatiques, de conception des centres de données ».

Dans ce dossier, des acteurs clés du domaine (constructeurs, ingénieristes, intégrateurs cloud) nous présentent les dernières innovations pour réduire l'empreinte carbone de ces infrastructures vitales. Le refroidissement du type Direct to Chip combiné au free-cooling hydraulique, voire l'immersion des serveurs couplée à la récupération d'énergie vont vraisemblablement devenir, demain, les nouveaux standards.

Réjouissons-nous, bien sûr, de ces innovations, mais convenons-en, il y a là un paradoxe tragique qui se joue : les meilleures mesures d'efficacité énergétique portées par nos métiers du CVC sont rapidement englouties... par une demande toujours plus insatiable...

# Le Direct Liquid Cooling (DLC)

→ Cap Ingelec accompagne ses clients sur le chemin de la transition énergétique tout en concevant des datacenters plus résilients. Depuis près de 35 ans, nos équipes ont développé une solide expertise technique afin de proposer la solution la mieux adaptée à chaque projet.

Face à la demande de notre croissance, l'activité datacenter s'appuie sur des références chez des acteurs de premier plan. La grande majorité de ces projets se fait en clés en main, et répond à des exigences de très grandes puissances avec une sécurité maximale dans des temps de réalisation très courts.

## La densification des applications informatiques

L'activité des centres de données s'intensifie avec le développement du High Performance Computing (HPC) et de l'Intelligence Artificielle (IA), nécessitant des GPU/CPU (Graphics/Computing Process Unit) de dernière génération. Ces équipements fonctionnent à des températures élevées, autour de 80 °C, avec une puissance unitaire voisine de 800W. Précédemment, les racks haute densité consommaient 20 à 30 kW en pointe : aujourd'hui, ils peuvent largement dépasser ces puissances (ex. GPU NVIDIA H100). Les systèmes de refroidissement traditionnels à air ne suffisent plus. L'ASHRAE recommande le refroidissement DLC (Direct Liquid Cooling) pour les processeurs consommant plus de 400 W (fig1).

Le refroidissement par air froid pulsé met en œuvre des confinements chaud ou froid, (selon les technologies du type

armoires de climatisation, Fanwall, etc.) d'un pas souvent compris entre 1,20 m et 2,40 m, limitant le débit d'air. Cette approche s'avère peu efficace pour les configurations en haute densité IT. C'est pourquoi le refroidissement DLC se développe rapidement.

## Technologie de DLC

Le DLC consiste à déployer une boucle de refroidissement proche des racks informatiques. Le liquide de refroidissement circule en circuit fermé vers des échangeurs installés sur les composants énergivores, absorbe la chaleur, puis la dissipe via un CDU (Cooling Distribution Unit), un échangeur eau/eau, qui sépare le réseau de refroidissement IT du réseau HVAC. Des collecteurs « clarinettes » avec raccords rapides facilitent le (dé)commissionnement des équipements IT (fig. 2 - source RITTAL). Cette technologie extrait généralement 75 % de la chaleur (parfois jusqu'à plus de 90 %), le reste étant refroidi par air. L'ASHRAE a défini plusieurs classes de refroidissement liquide pour le réseau primaire HVAC : 17 °C/27 °C pour les datacenters accueillant des systèmes mixtes GPU/CPU, 32 °C/40 °C pour les centres de calculs moins restrictifs (ASHRAE A2), voire au-delà de 45 °C pour certains centres de calcul. La majorité des datacenters utilise des systèmes mixtes pour plus de flexibilité.

>>>

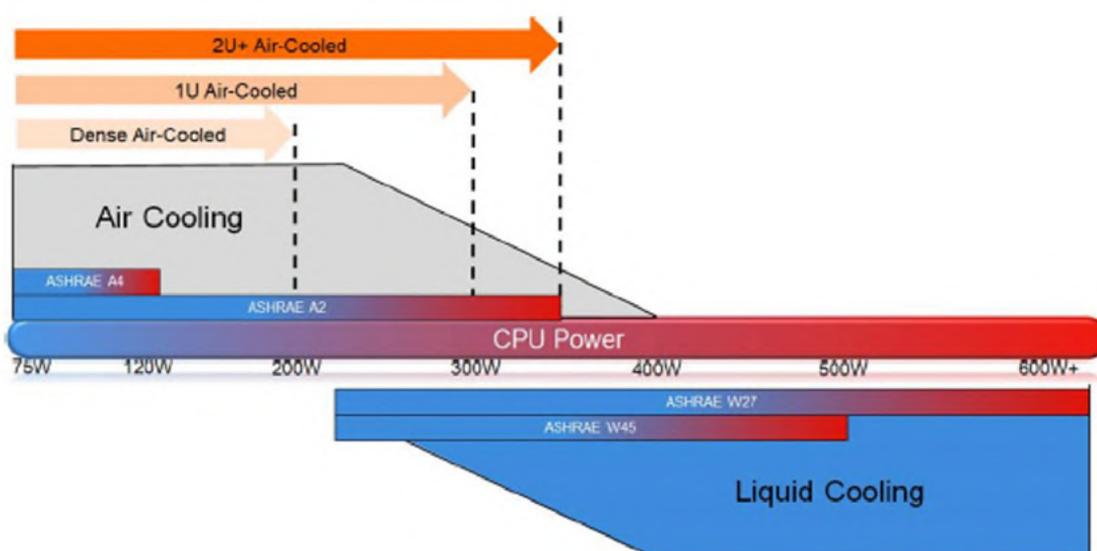


Figure 1 : domaines d'utilisation de l'Air Cooling et du Liquid Cooling selon la puissance des processeurs



Figure 2 : le DLC - du rack vide de serveurs au rack raccordé hydrauliquement

## >>> Refroidissement monophasé ou biphasé

Le refroidissement monophasé utilise un liquide diélectrique, similaire à l'huile minérale, qui ne change pas d'état en accumulant la chaleur. Un échangeur est installé sur le composant, sans contact direct avec le liquide, et des ventilateurs évacuent la chaleur résiduelle. Le refroidissement biphasé repose sur l'évaporation d'un fluide diélectrique à basse pression, qui passe de liquide à vapeur en extrayant la chaleur. Ce fluide, souvent à base de fluorocarbone, bout à environ 45 °C, mais est plus coûteux et nocif pour l'environnement. Ces deux technologies évacuent environ 70 à 75 % de la chaleur générée par les serveurs, le reste étant éliminé par des systèmes de refroidissement à air.

## Performance énergétique et environnementale

Réduire l'usage des systèmes à air et utiliser des régimes d'eau plus élevés améliore l'efficacité énergétique des centres de données (moins de consommation au niveau de la production d'énergie). Les ventilateurs des systèmes à air, qui consomment en moyenne 3 à 6 % du global, sont moins sollicités et le PUE s'améliore.

Le DLC associé à des plages de conditions élargies (ASHRAE A2) augmente la durée de recours au free cooling et réduit l'usage des groupes frigorifiques (jusqu'à les supprimer parfois), améliorant le bilan environnemental. Pour certaines installations de calcul, le DLC permet des régimes d'eau supérieurs à 45 °C, facilitant la valorisation de la chaleur fatale dans les réseaux urbains.

## Niveau sonore

Réduire l'usage des ventilateurs des systèmes traditionnels à air diminue le niveau sonore ambiant dans les espaces IT. Réduire l'usage de systèmes de production frigorifique à compression et les remplacer par des systèmes de type dry-coolers réduit également l'impact acoustique extérieur des installations.

## Flexibilité et résilience

Les datacenters traditionnels sont limités par les systèmes de traitement d'air (densité énergétique et flux d'air). Le DLC, avec ses boucles locales, offre une plus grande liberté d'aménagement. L'augmentation de capacité est moins coûteuse, et il est plus facile et économique de surdimensionner un CDU et sa boucle associée à la construction, comparé aux systèmes traditionnels à air.

Les boucles d'eau de refroidissement sont au plus proche des équipements à refroidir. Ainsi, les risques de pertes de production / exploitation sont en quelque sorte dilués du fait de l'augmentation du nombre de boucles hydrauliques.

## Cependant, quelques inconvénients

Le coût d'acquisition des équipements informatiques DLC est plus élevé que ceux traditionnels. Le manque de formation des équipes de maintenance ou d'administration réseau est aussi un inconvénient, d'autant plus qu'il existe plusieurs technologies de DLC et qu'aucune ne s'est actuellement imposée sur le marché. Le dernier point concerne la mixité des flux de personnels liés à l'utilisation et l'exploitation de ces équipements : en effet les salles informatiques sont accessibles à la fois par les utilisateurs et les équipes chargées d'assurer la maintenance des réseaux hydrauliques.

## Retours d'expérience sur un datacenter parisien

L'entité IDRIS (Institut du Développement et des Ressources Informatiques Spécifiques) exploite le supercalculateur convergé, Jean Zay (fig 3), qui avec une puissance de crête de 36,85 Pétaflop/s (évolution en cours pour passer à 110 Pétaflop/s) est un des plus puissants d'Europe dédié au calcul numérique intensif de très haute performance (HPC) et à l'intelligence artificielle (IA). Jean Zay est installé dans la salle d'ordinateurs de l'IDRIS (Paris-Saclay) d'une superficie de 1000 m<sup>2</sup> et avec une capacité électrique de 2.5 MW IT. Les équipements informatiques fonctionnent sans interruption 365 jours sur 365, 7 jours sur 7 et 24 heures sur 24. Cap Ingelec assure la mission d'extension des capacités de calcul de ce site. Le projet a pour objectif de déployer les installations primaires qui permettront d'exploiter le maximum de puissance sur le site et ainsi accueillir le futur super calculateur :

- Augmenter la capacité d'accueil du site en conservant la surface IT pour couvrir les besoins à 5 ans ;
- Augmenter la capacité de refroidissement par eau tiède/chaude ;
- Améliorer la performance énergétique.

L'IDRIS met en œuvre plusieurs systèmes de refroidissement (fig.4), suivant les besoins des configurations informatiques et notamment :

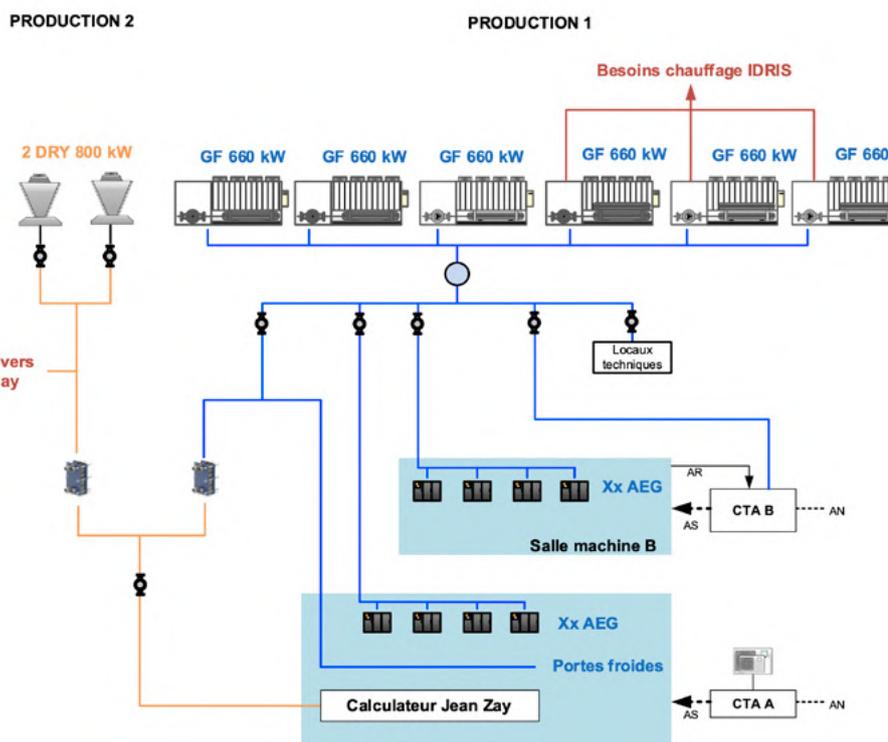
- Par un système DLC à eau tiède pour les éléments (racks) de calculs du supercalculateur ;
- Par des portes froides (extension) et pour 2 des configurations hébergées ;
- Par air, à l'aide d'armoires de climatisation, pour tous les autres éléments : stockage, réseaux et serveurs de service et administration.

Le régime d'eau tiède du système de refroidissement du su-



**Figure 3 : Institut du développement et des ressources en informatique scientifique**

© Cyril Fresillon/IDRIS/CNRS Photothèque



**Figure 4 : schéma de principe de l'installation**

percalculateur est de 30 - 36 °C, assuré par deux aérorefrigérants adiabatiques, et celui des réseaux d'eau froide est de 10 - 16 °C, maintenu par 6 groupes froids à eau glacée (ce réseau pouvant alimenter, par l'intermédiaire d'un échangeur, le réseau du supercalculateur, dans certaines configurations).

## Chauffage des bâtiments et future récupération de chaleur

Le chauffage du bâtiment est actuellement assuré par la récupération de chaleur des groupes froids pendant la majeure partie de l'année. En hiver, lorsque les températures extérieures sont négatives, un complément de chauffage (à 65 °C) provient du réseau de chauffage d'un campus universitaire. A l'avenir, il est prévu une interconnexion avec un autre réseau de chaleur basse température (EPAPS) pour mise à disposition des calories issues du réseau des refroidisseurs adiabatiques. L'énergie récupérée sera de l'ordre de 4 GWh/an, soit l'équivalent de 1000 logements neufs du campus Paris-Saclay. Cette capacité sera doublée à l'issue du projet en cours.

Le PUE du site est actuellement d'environ 1,2, tout en valorisant une partie de la chaleur produite.

**Florian Viriat, Directeur technique HVAC, Cap Ingelec.**

➔ BOUCLE DE REFROIDISSEMENT ➔ FREE-COOLING HYDRAULIQUE ➔ GROUPE FRIGORIFIQUE

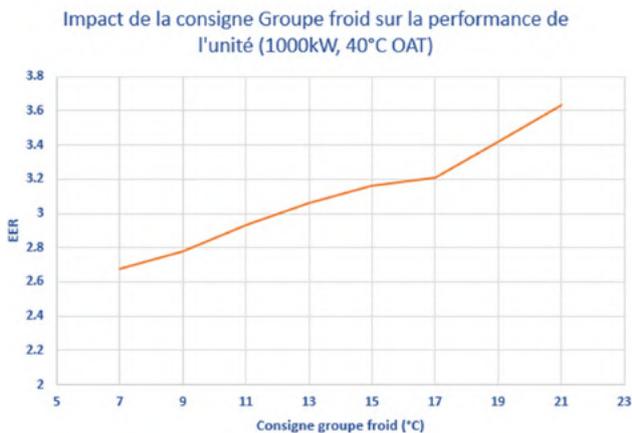
# Le free-cooling hydraulique pour le refroidissement des datacenters

➔ Avec l'avènement de la révolution numérique, les datacenters ont pris une place prépondérante dans le fonctionnement des entreprises et nos vies quotidiennes. Cette évolution a engendré une explosion des besoins en stockage de données et en capacité de traitement, mettant ainsi en lumière l'importance cruciale des infrastructures de datacenters.

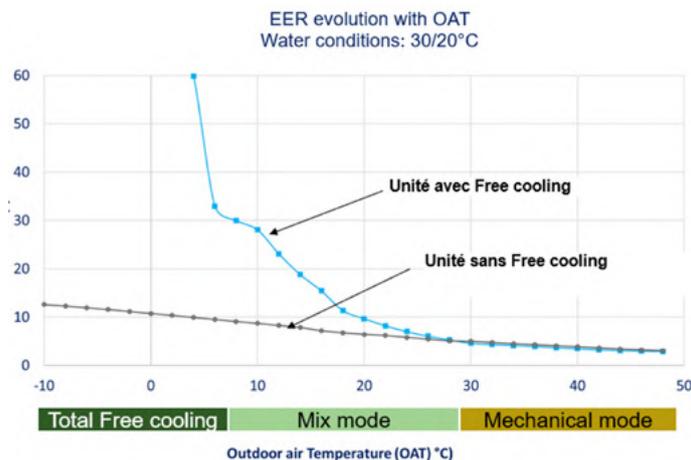
Les acteurs du secteur doivent aujourd'hui relever de nombreux défis, de la conception à l'exploitation des installations, en passant par la gestion efficace de la consommation énergétique. En effet, les datacenters sont notoirement énergivores, et les dépenses liées au refroidissement des équipements occupent une part significative des coûts opérationnels. L'amélioration des équipements informatiques au cours des dernières années a permis une exploitation des salles informatiques à des températures plus hautes. Ces nouvelles caractéristiques ouvrent la voie à l'augmentation des températures utilisées pour le refroidissement des serveurs. Là où les boucles d'eau de refroidissement avaient une température de consigne de 7 °C en 2006, il est désormais classique de travailler avec des températures de consigne de 20 °C. De manière directe et sans tenir compte des évolutions technologiques sur les systèmes frigorifiques, l'élévation des consignes a permis une amélioration des performances des groupes frigorifiques à compression de près de 35 % (cf. graphique 1). Cependant, le gain le plus important provient de l'intégration

de l'option de refroidissement Free-Cooling (FC) dans les groupes froids. D'un point de vue technique, nous parlons ici d'un FC hydraulique indirect en opposition au FC aéraulique direct ou indirect utilisé sur les CTA. Le graphique ci-dessous illustre l'impact de l'utilisation du FC sur les performances des groupes froids avec une augmentation drastique des EER à mesure que la température extérieure diminue (cf. graphique 2).

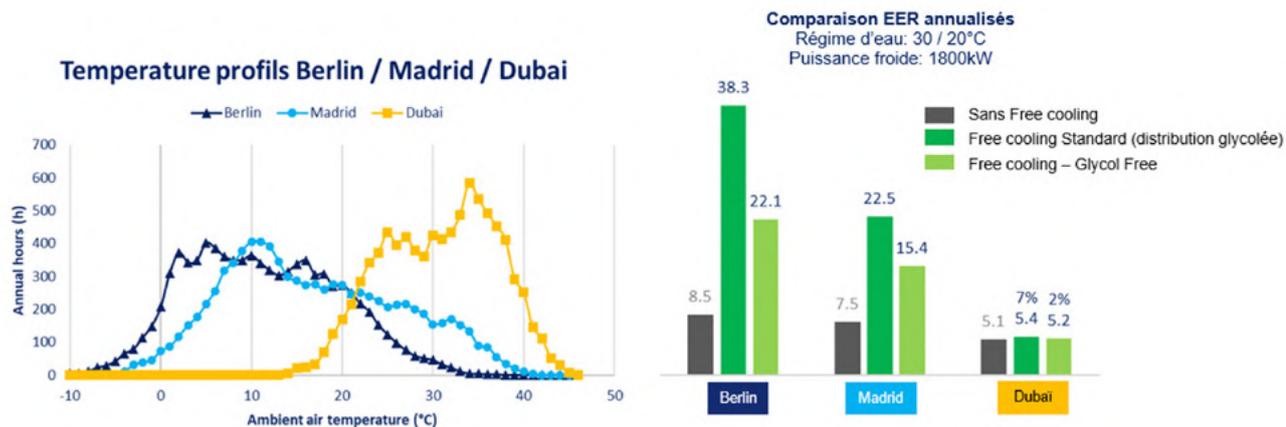
Le besoin de sécurité et de continuité de production sur les datacenters implique des températures de design allant régulièrement jusqu'à 45 °C en fonction des localisations et des références retenues. Cependant dans les faits, ces températures sont rarement atteintes et les systèmes opèrent la majorité du temps à des températures plus clémentes permettant ainsi l'utilisation de la fonction FC. L'analyse des profils annuels de température renforce cette vision (cf. fig. 1). On constate assez logiquement que les sites les plus septentrionaux offrent la plus grande capacité d'utilisation du FC. Ainsi à Berlin, il permet de diviser par plus de 4 les consommations électriques d'un groupe froid (hors distribution hydraulique). A Madrid qui est un des hubs les plus



graphique 1 : Impact de la température de consigne sur l'EER d'un groupe froid (OAT : Outside Air Temperature)



graphique 2 : Impact du FC sur l'EER d'un groupe froid



**Fig. 1 : Impact du FC sur les performances annualisées d'un groupe froid**

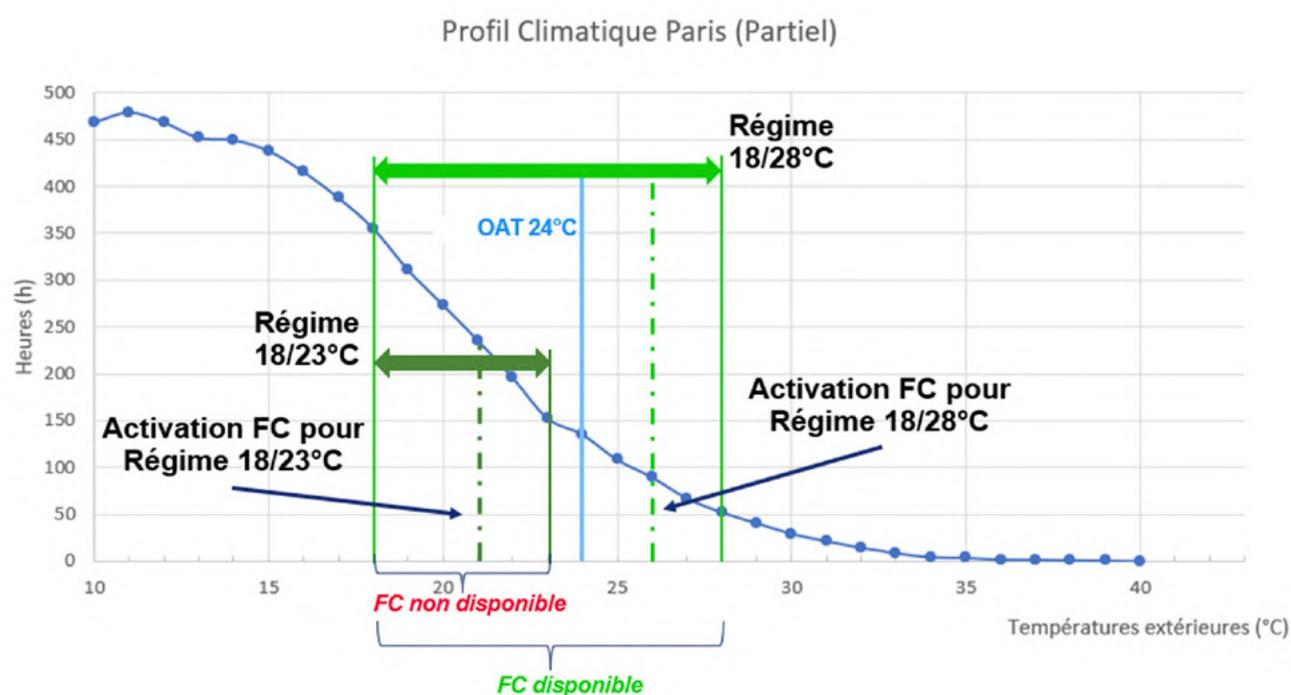
au sud de l'Europe continentale, le FC permet de réduire par 3 les consommations. Même Dubai, dont le climat n'est pas le plus propice au FC, présente un gain de 7 % sur les consommations annuelles.

Les datacenters opèrent régulièrement à des charges inférieures à leur puissance de dimensionnement que ce soit sur les phases de « ramp-up » ou même après plusieurs années d'exploitation. Les groupes froids sont donc amenés à travailler à charges partielles. Dans le cas d'un pilotage des pompes à débit fixe, on aura donc une réduction l'écart de températures entre le retour et la consigne de fonctionnement (Delta T) à charge partielle. Pour permettre d'atteindre des performances optimisées, le Delta T doit rester le plus grand possible et si possible constant. Un Delta T faible limitera la plage de degré-jours où le FC peut fonctionner. Comme illustré sur l'exemple ci-dessous (cf. graphique 3), pour une OAT de 24 °C, le passage d'un régime 18/28 °C à un régime 18/23 °C, supprime la possibilité d'utiliser le FC. Dans

la mesure du possible, il est ainsi préférable de travailler avec un delta T fixe avec pour étendre la plage de fonctionnement du FC.

Technologiquement, le système FC intégré sur les groupes de refroidissement à condensation par air utilise des batteries hydrauliques positionnées en amont (dans le sens de l'air) des batteries de condensation utilisées pour le cycle à compression (cf. illustration 1). Hydrauliquement, le système équivaut à la mise en série d'un aérorefrigérant et d'un groupe froid. On considère que la FC commence à fonctionner à partir du moment où la température extérieure est inférieure de 2 °C à la température de retour réseau. Cette valeur peut évoluer en fonction des constructeurs, des logiques de régulation et du dimensionnement initial de l'unité. Lorsque la fonction FC est active, l'eau du process passe d'abord dans les batteries FC puis passe ensuite dans l'évaporateur. Si en sortie des batteries FC, le point de consigne

>>>



**graphique 3 : Impact du régime de fonctionnement sur la disponibilité du FC**

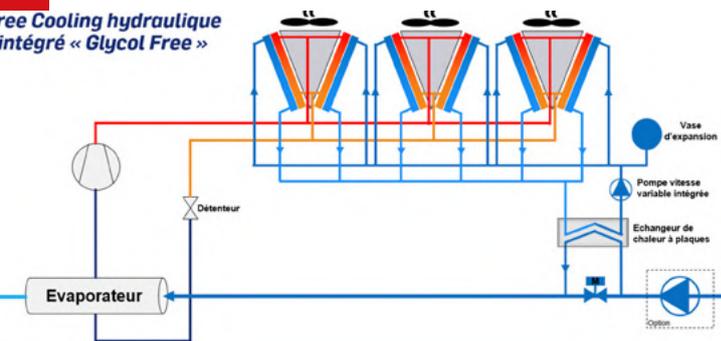


**Illustration 1 : Groupe froid à condensation à air équipé de la fonction free cooling.**

>>> n'est pas atteint, les compresseurs sont utilisés pour refroidir l'eau jusqu'au point de consigne. On parle alors de mode « mixte » (FC + compression). Lorsque que le FC permet une couverture à 100 % du besoin, les compresseurs sont arrêtés, on est alors en mode FC intégral. Pour détailler le fonctionnement hydraulique du système, cette conception impose une vigilance sur le risque d'exposition au gel des batteries FC. Deux solutions existent :

- Mise en place d'un échangeur intermédiaire dit « Glycol free » (cf. schéma 1), qui permet de limiter l'utilisation du glycol à l'irrigation des batteries FC. Cette solution permet d'avoir une boucle d'eau glacée sans glycol. En contrepartie, le pincement de l'échangeur impacte les performances en mode FC.

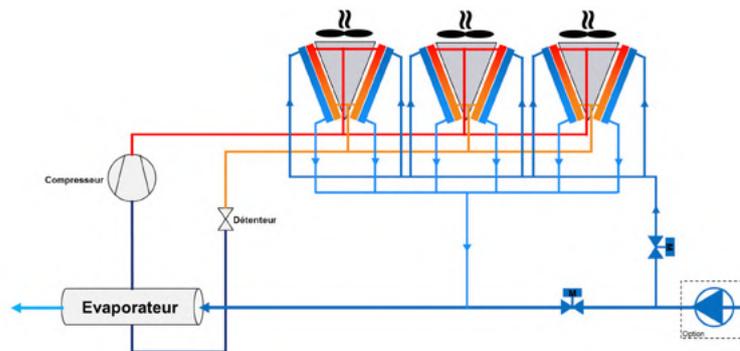
Free Cooling hydraulique intégré « Glycol Free »



**Schéma 1: Système FC "Glycol free"**

- Utilisation d'une solution antigel type monoéthylène glycol (cf. schéma 2). L'absence d'échangeur permet de compenser la baisse de la capacité calorifique du fluide caloporteur et donne une meilleure performance annualisée. Notons que l'utilisation de solution glycolée est proscrite chez certains utilisateurs et que cette solution peut être vue comme une contrainte en phase d'explo-

tation.



**Schéma 2 : Système FC glycolé**

Le FC représente une avancée majeure dans le domaine du refroidissement des datacenters, offrant une solution à la fois économique et écologique. À mesure que la demande pour des infrastructures numériques durables continue de croître, le FC est appelé à jouer un rôle central dans l'évolution des datacenters modernes.

Les avancées technologiques du secteur numérique offrent des opportunités uniques pour améliorer l'efficacité énergétique, réduire les coûts opérationnels et promouvoir la durabilité environnementale. Profitant de ces évolutions, le FC représente ainsi une étape importante dans le domaine du refroidissement des datacenters. L'adoption de cette technologie favorise la transition vers une infrastructure numérique plus durable et résistante.

**Maxime Gobin, Responsable de ventes Grands Projets Carrier**



# Le refroidissement par immersion des datacenters vu par un acteur français

Le refroidissement par immersion est probablement la technologie la plus simple à mettre en place dans les datacenters pour atteindre un haut niveau de performance, diminuer la consommation électrique et récupérer la chaleur fatale.

Dans le fond, le principe n'est pas nouveau. Cela fait des décennies dans l'industrie qu'on utilise de l'huile pour dissiper la chaleur des gros transformateurs électriques.

En effet, l'huile, qui dispose souvent de propriétés diélectriques, est un bien meilleur caloporteur que l'air qui est un isolant. Ainsi, il est bien plus facile et moins coûteux de dissiper directement la chaleur en mettant des pièces au contact d'un fluide de ce type qu'en climatisant à grands frais un local contenant des m<sup>3</sup> d'un air isolant contre lequel il faudra lutter.

Non, ce qui est nouveau, c'est la mise au point de solutions d'immersion cooling conçues pour être utilisées dans les datacenters. Elle permet dorénavant la récupération directe de l'énergie fatale sous forme de chaleur. Ce, dans un contexte de croissance des usages numériques et d'émergence de nouvelles applications réclamant toujours plus de puissance de calcul.

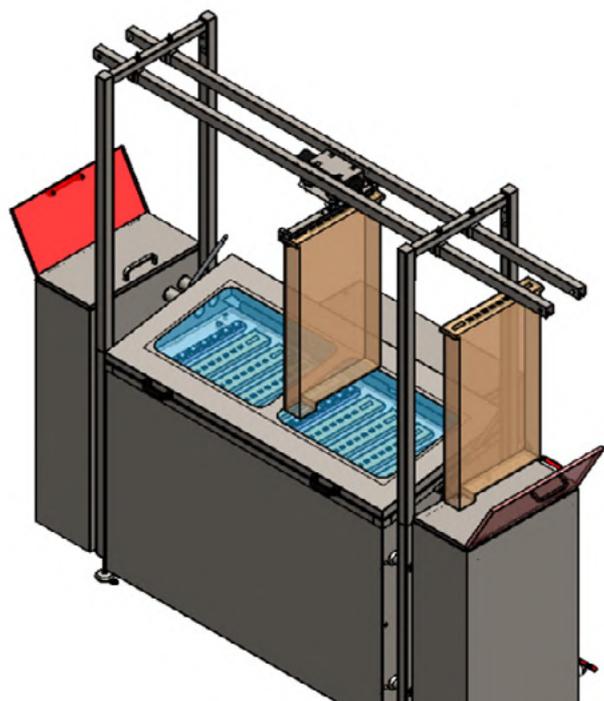


Photo 1 : Hyperion



Photo 2 : Hyperion

Dans les dernières générations de serveurs, commercialisées depuis l'année dernière, un constructeur nous indiquait que **le seul ventilateur du CPU pouvait représenter jusque 40 % de la consommation électrique totale de la machine...** En immersion cooling, le ventilateur en question est tout simplement inutile et retiré.

Le refroidissement conventionnel en air cooling atteint ainsi ses limites, avec l'arrivée de composants toujours plus puissants (CPU de plus de 300 W, GPU annoncés jusque 1.5 kW). En immersion cooling, plus besoin de climatisation car on exploite le caractère caloporteur intrinsèque du fluide. De ce fait, on économise de 40 à 50 % de la consommation électrique habituelle d'un datacenter. C'est ce que montrent les analyses qui ont accompagné la mise au point de la solution Hyperion et qui ont été réalisées par le Pôle Cristal, laboratoire d'essai en génie climatique basé à Dinan.

De notre côté, exploitant depuis plus de 10 ans à Laval des infrastructures de datacenters pour rendre des services d'hébergement de données à nos clients, nous sommes passés par les étapes classiques d'améliorations : segmentation des allées, free cooling, adiabatique... Puis, nous avons testé les tanks disponibles en immersion cooling, en constatant les limites et en décidant de mettre au point notre propre solution.

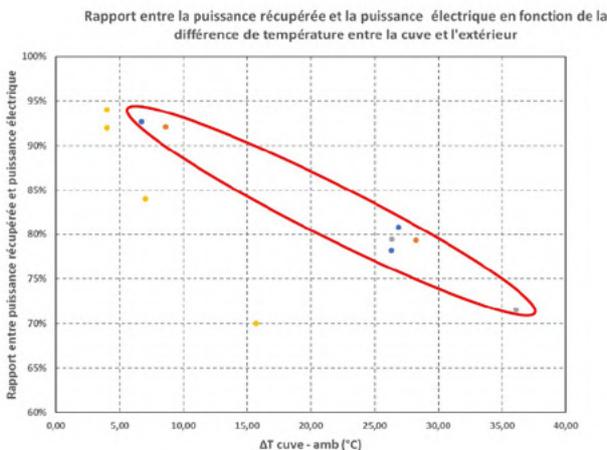
Cette solution (cf. photos 1 et 2), Hyperion, comporte un





photo 3 : des déploiements outdoor, en shelter ou en container intégré sont possibles

>>> certain nombre d'avancées (trop plein, cale sèche, portique électrique de levage...) en matière de conditions opérationnelles car elle se veut pensée par un exploitant de datacenters pour les exploitants de datacenters. Elle a été mise au point notamment pour atteindre un haut niveau de valorisation de l'énergie fatale, en étant conçue autour d'une cuve dotée d'une double paroi inox dans laquelle se loge un isolant et en intégrant nativement un échangeur à plaques. Cette conception nous permet d'optimiser la quantité d'énergie fatale dont le rendement devient, comme le montre le résultat ci-après, proportionnel à l'écart de températures entre celle de la cuve et celle régnant dans le local où elle est installée (cf. graphique ci-dessous).



Avec un retour d'expérience de plus de deux années en situation opérationnelle, nous pouvons ainsi proposer quelques éléments de bilan sur l'immersion cooling.

Concernant les bénéfices, on peut notamment relever :

- La diminution de la consommation électrique de plus de 40 % (PuE < 1.1) ;
- Jusqu'à 90 % de l'énergie fatale récupérable sous forme de chaleur ;
- Une meilleure protection des équipements au niveau du risque incendie et conséquences de fumées (les fluides sont non inflammables avec des points d'auto-inflammation de l'ordre de 250 °C) ;
- L'utilisation sans problème d'une boucle d'eau fermée (Water Use Effectiveness = 0, contrairement à l'adiabatique) à température ambiante (non réfrigérée) ;
- Et un plus grand confort d'exploitation avec une autonomie de plusieurs heures même en cas de panne sur le

circuit de refroidissement du fait de l'inertie du volume d'huile (à comparer avec le stress à la minute en cas de panne de climatisation en air cooling).

A contrario, rappelons les points sur lesquels la technologie impose de rester attentif :

- La non-utilisation de disques durs mécaniques non protégés dans les serveurs. Mais les générations récentes de matériels utilisent quasi systématiquement le SSD qui ne pose aucun problème ;
- La surveillance du fluide - a minima annuelle, par prélèvement - pour qu'il reste dans la plage de propriétés définies notamment au niveau diélectrique ;
- L'étanchéité de la cuve (c'est la raison pour laquelle nous avons opté de notre côté pour une double paroi en inox qui permet également comme expliqué plus haut un meilleur rendement de récupération) ;
- Les interactions chimiques entre le fluide et les peintures de paroi ou les matières plastiques (gainnes de cordons notamment). Il est souvent décrit, lorsque les cordons sont totalement immergés (ce qui n'est pas le cas dans Hyperion), un phénomène de rigidification des gainnes, pouvant les rendre cassantes dans les cas extrêmes.

A ces points s'ajoute l'amélioration, difficilement quantifiable pour l'heure, de la durée de vie du matériel qui ne subit plus, dans le fluide diélectrique, ni l'oxydation ni la poussière. Enfin, comme il n'y a pas besoin de climatisation ni de faux plancher, l'immersion cooling s'installe facilement dans des locaux bruts, à l'intérieur d'un bâtiment, qu'il soit de nature tertiaire ou industrielle. Selon les cas, la chaleur fatale pourra ainsi être valorisée pour le chauffage du bâtiment ou dans un processus de production (par exemple vers des serres ou bassins de pisciculture en agri/agro). Pour ces raisons, l'immersion cooling peut également très bien se contextualiser en déploiement outdoor, dans un shelter ou un container intégré et préconfiguré (cf. photo 3), ce qui permet de disposer très rapidement d'une capacité opérationnelle pour des besoins de projection ou de secours, en Plan de Reprise d'Activité (PRA) par exemple.

En conclusion, la technologie d'immersion cooling qui est maintenant industrialisée devrait rapidement s'imposer pour les datacenters durables du fait de son retour rapide sur investissement - par les économies importantes générées - et de son impact énergétique et environnemental positif.

Hyperion est une solution française, labellisée French Tech, French Fab, Coq Vert et Solar Impulse Efficient Solution.



**Xavier Colas, Directeur Innovation, Groupe Numains, solution HYPERION**



# ITrium et l'Immersion Cooling : un programme innovant de datacenters en France

➤ **Hausse généralisée des tarifs de l'énergie, raréfaction des matières premières et des ressources en eau, incertitude géopolitique et climatique... Il existe bien des freins à l'augmentation quasi exponentielle des besoins actuels du numérique... Une petite entreprise française travaille depuis plusieurs années pour proposer la meilleure alternative possible pour construire un réseau de datacenters Edge utilisant la technologie de l'Immersion Cooling et ses possibilités de récupération de chaleur fatale. Cet article propose une plongée dans le programme ITrium...**

**N**otre monde est numérique, c'est incontestable. Partout dans le monde, et quelle que soit la culture, l'éducation, ou la catégorie sociale, le numérique s'impose chaque jour un peu plus dans nos vies.

Ainsi le nombre d'objets connectés explose (75 milliards d'ici l'année prochaine ! contre à peine une trentaine de milliards en 2020...) et avec eux les applications et les infrastructures pour héberger les calculs et stocker les données. Ces centres de données - ou datacenters - poussent comme des champignons sur la planète et cette tendance ne fait que croître, surtout avec l'émergence fulgurante de l'IA et ses besoins en calculs hors normes.

Problème : ces datacenters sont tout sauf virtuels comme le suggère trop souvent l'appellation usuelle du « Cloud ». La pollution numérique n'est pas un nuage et elle est bien réelle. Un datacenter, ça consomme, ça dépense, ça pollue. Beaucoup même. Et les actions menées partout pour baisser le Power Usage Effectiveness (PUE) du parc mondial de 1,5 environ à 1,3 d'ici 2030 n'y suffiront pas. En 2030, le monde numérique, boosté par l'IA, sera d'ailleurs très probablement le premier consommateur d'électricité de la planète, et le premier pollueur. Les prévisions d'augmentation des GES du numérique sont d'au moins + 45 % en 2030 et de + 300 % d'ici 2050... (source : Acerp 2023).

Même constat du côté d'une ressource appelée à devenir rare : l'eau. Selon la même source, en 2022, le volume annuel d'eau prélevé par les centres de données français progresse de 20 % par rapport à 2021 pour atteindre 482 000 m<sup>3</sup>. Cette hausse s'explique en partie par des températures élevées en 2022 qui ont eu des conséquences en particulier pour les centres de données disposant de systèmes de refroidissement à air extérieur, qui sont très dépendants des conditions climatiques.

Bref, il est temps d'agir et de proposer un autre modèle. Parmi les Liquid Cooling technologies, la plus efficace (et la plus radicale) est assurément l'Immersion Cooling, autre-

ment dit le refroidissement par immersion des composants électroniques dans un fluide à la fois diélectrique et caloporteur. En théorie, les fluides diélectriques utilisés peuvent être soit des huiles (minérales, de synthèse voire même végétales) soit des produits fluorés : PFC (PerFluroCarbures), HFE (HydroFluorEther) ou plus rarement des FK (Flurokétone). Mais si l'on compare ces produits, notamment en termes de GWP (Global Warming Potential), de risques sanitaires pour les travailleurs de l'IT liés à une exposition prolongée aux vapeurs, les produits fluorés seront éliminés. In fine, les huiles de synthèse s'avèrent les meilleures candidates, notamment au regard de leurs qualités diélectriques, avec les nouvelles huiles biosourcées d'origine végétale, dérivées du recyclage d'huiles de cuisson et promises elles aussi à un bel avenir. La filière a mené de nombreux tests (mécaniques, électriques, analyse microscopique, etc.), les dernières années, sur la compatibilité de ses produits avec les composants des serveurs. Lors des premiers essais sur l'Immersion Cooling, des défauts ont été observés : décomposition des câbles, des colles, des encres, gonflement des condensateurs électrolytiques, etc. Mais, les constructeurs ont apporté des solutions à chacun de ces problèmes, permettant de voir apparaître, en 2022, les premiers serveurs garantis pour l'immersion.

La technologie est donc prête, encore fallait-il être capable de la démocratiser vers des clients. Une entreprise a choisi d'en faire sa raison d'être. Et cocorico ! Il s'agit d'une entreprise française, TotalinUX, un intégrateur spécialiste de l'Hybrid Cloud IT, du HPC et de l'IA, qui a conçu ITrium, un programme de construction de datacenters 100 % immergés écoresponsables. Les équipes d'ITrium proposent en effet un service clé en mains de construction ou d'adaptation d'infrastructures existantes en bénéficiant des nombreux avantages de l'immersion cooling : réduction de la consommation électrique (PUE inférieur à 1,1), pas de consommations d'eau, allongement du cycle de vie des composants immergés,

➤➤➤



Fig 1 : vue projetée du futur centre de calcul Irium1, 100 % immergé

>>> pas de pollution sonore, faible risque d'incendie (le point de flamme du fluide d'immersion varie suivant sa viscosité mais demeure toujours supérieur à 150 °C).

Irium 1, dont la livraison est prévue fin 2024, abritera non seulement le futur siège de TotalinuX mais aussi des surfaces de bureaux et un centre fitness (pour un total de 2500 m<sup>2</sup>), mais surtout son premier datacenter (1000 m<sup>2</sup> toutes infrastructures incluses) fonctionnant à 100 % en immersion cooling. Sa puissance - 1 MW - reste mesurée et le positionne sur le marché du Edge Computing, mais une installation d'une telle puissance, en immersion, est encore rare en Europe. 20 bacs d'immersion remplis de fluide monophasique biosourcé (20 000 litres au total) abriteront 1680 serveurs immergés et 3360 CPUs/GPUs destinés aux calculs. Pour cette première française, le projet se veut une vitrine technologique (fig. 1) : c'est pourquoi différents constructeurs de bacs seront disponibles et étudiés : citons, GRC, Submer ou Midas.

Au-delà des avantages précédemment cités, notons que cette technologie permet aussi de faciliter la récupération de chaleur. En effet, une installation en immersion rejette de l'eau à 55 °C environ, qui peut être facilement valorisée pour ses propres besoins et ceux de son entourage. Ce sera le

cas sur Irium 1, où 10 échangeurs à plaques récupéreront l'énergie provenant des bacs. Celle-ci sera utilisée pour, d'une part, chauffer les 2500 m<sup>2</sup> de surfaces tertiaires, mais aussi, d'autre part, un futur quartier attenant qui hébergera 80 logements sociaux.

La figure 2 présente une illustration du concept de récupération de chaleur mis en place sur Irium 1. En mode hiver, une fraction de l'énergie rejetée est dirigée vers la zone bureaux/centre fitness. Le reste de l'énergie dissipée sera dirigée vers les logements sociaux. Une pompe à chaleur assurera le relèvement en température. En hiver et le reste de l'année, l'énergie excédentaire est évacuée vers la nappe phréatique en géothermie.

Alors que généralement, l'implantation de tels bâtiments en milieu urbain suscite des craintes, la solution performante mise en place permet ainsi de lever les doutes. Bref, un programme tout à fait en phase avec les besoins et les perspectives de croissance actuelle, à suivre absolument dans les mois qui viennent...

**Edouard Bergevin,**  
Irium Communication Officer

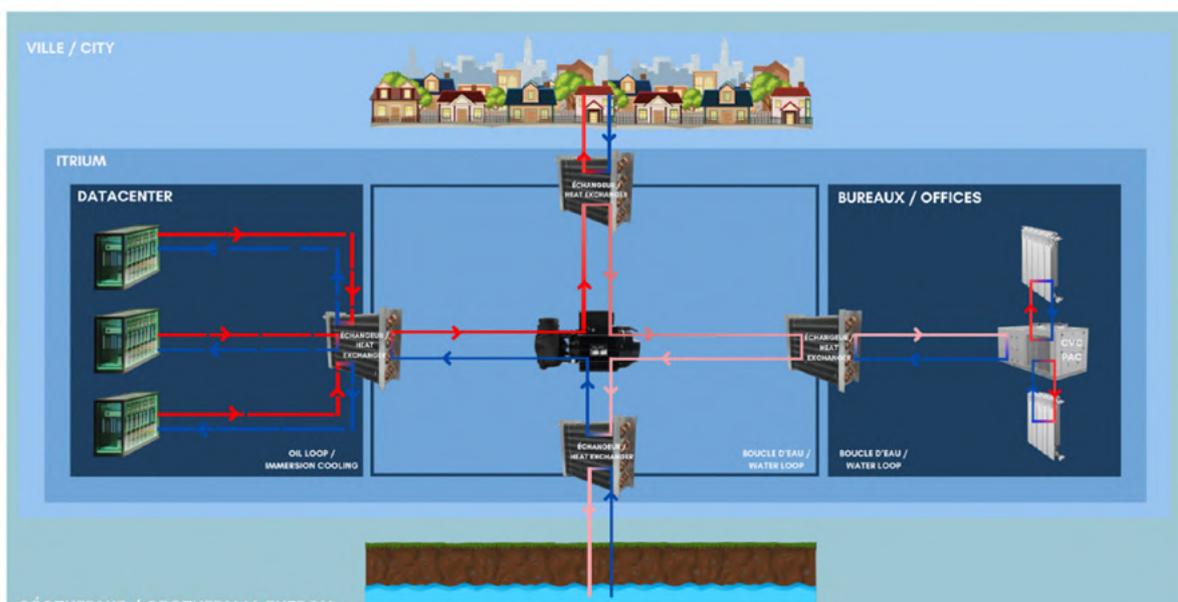


Fig 2 : concept de récupération de chaleur mis en place sur Irium 1

# Refrondissement des salles à charge thermique importante : les solutions traditionnelles restent souvent pertinentes !

→ Oui ! il faut toujours se remettre en question et garder l'œil ouvert sur les nouvelles technologies, mais il ne faut pas oublier les solutions plus classiques qui répondent à de nombreuses situations, notamment dans les petites et moyennes installations et dans les installations avec quelques « anciens » serveurs.

## Les configurations possibles

Il y a beaucoup de salles informatiques dans lesquelles le traitement par une ou plusieurs armoires de climatisation périphériques fera parfaitement l'affaire et où tout autre système soi-disant plus moderne n'apportera rien de plus tout en étant plus onéreux.

Dans le passé, les serveurs informatiques nécessitaient des températures de fonctionnement très basses (20 °C) et il n'existait quasiment que des armoires à « soufflage bas » distribuant l'air très froid (12 °C) via un faux-plancher (cf. photo 1). Cela imposait d'avoir un local ayant une hauteur dalle à dalle de près de 3 mètres :

Cette solution reste très répandue, ne serait-ce que dans les salles qui conservent encore d'anciens serveurs, mais, dès que les équipements à refroidir le permettent, les températures de fonctionnement sont remontées afin de gagner en efficacité, comme en confort pour le technicien qui doit intervenir dans la salle.

Il existe aussi d'autres configurations (cf. photo 2) à soufflage « par le haut » avec reprise d'air frontal ou par le dessous et plus récemment des armoires à « soufflage frontal, parfois appelées « à déplacement d'air ». Différents choix qui permettent l'installation dans des locaux nettement plus conventionnels. Ces solutions sont tout à fait adaptées aux nombreux « mini data centers » que l'on retrouve maintenant dans la plupart des bâtiments tertiaires.

## Les technologies de production de froid

Du côté du système d'apport de froid dans ces armoires (ou d'extraction des calories, pour faire plaisir à nos enseignants), il existe 4 solutions principales qui permettent de s'adapter à chaque site en fonction des puissances en jeu, des redondances demandées et des contraintes de place

>>>

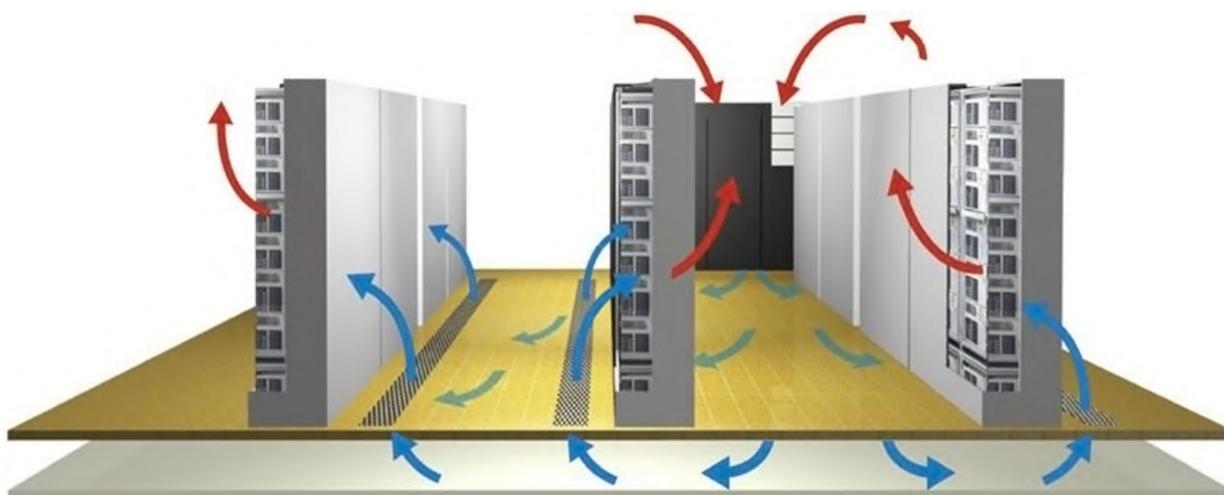
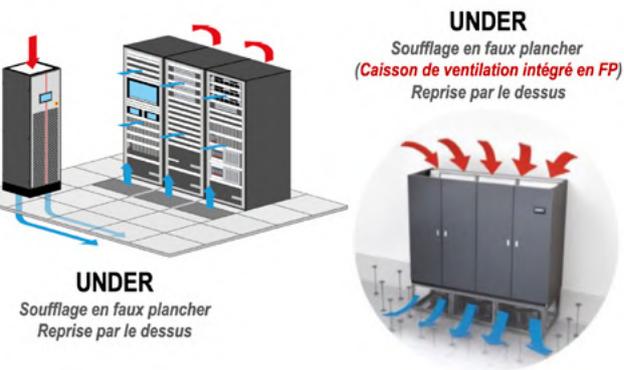
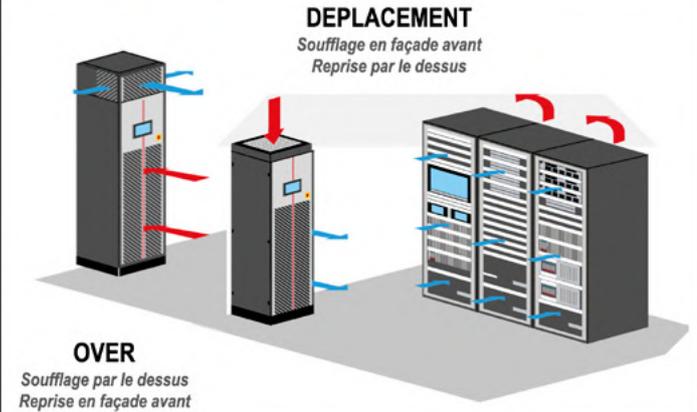


Photo 1 : armoires à soufflage bas, via un faux-plancher technique

**PRESENCE FAUX PLANCHER TECHNIQUE**



**PAS DE FAUX PLANCHER TECHNIQUE**



glacée distinctes. Solution que l'on retrouve dans la plupart des datacenters de taille

**Photo 2 : différentes configurations de soufflage**

>>> autant dans les salles à traiter qu'à l'extérieur, sans compter les impératifs acoustiques :

- L'eau glacée, avec un ou des groupes de production d'eau glacée externe parfois ayant la fonction « froid seul », mais plus souvent avec une fonction « free-cooling intégrée » ou bien « récupération totale » quand le site s'y prête (cf. exemple en fin d'article). Les puissances par unité vont d'environ 5 kW à plus de 200 kW :
- La détente directe avec compresseur(s) dans l'armoire et condenseur(s) déporté(s) : souvent retenue sur des petites installations, ou pour du secours, cette solution nécessite des compétences frigorifiques (pose de siphon, pièges à huiles, etc.) et requiert en général une quantité de gaz relativement importante :
- La détente directe avec unité extérieure comprenant le compresseur tel un « mono-split », et même dans certains cas la variante se rapprochant d'une solution DRV. Une solution qui prend de l'ampleur et permet de basculer sur le fluide R32 en remplacement du plus traditionnel R410A :
- La détente directe « à condensation à eau » couplée avec un dry qui permet des installations avec des très grandes longueurs et confinant le circuit frigorifique dans l'armoire. Cette solution peut assez facilement être améliorée en version « free-cooling indirecte » en programmant le « dry cooler » pour qu'il reste en marche jusqu'à « produire » de l'eau suffisamment froide pour être utilisée directement par l'armoire via une batterie dédiée.  
Notons que les solutions à détente directe dépassent rarement les 140 kW.

Pour finir sur cette partie « gamme », il existe, en général à partir de 20 kW, des armoires « doubles sources » qui peuvent mélanger deux solutions afin de créer de la redondance sans forcément doubler le nombre d'armoires dans chaque salle à traiter.

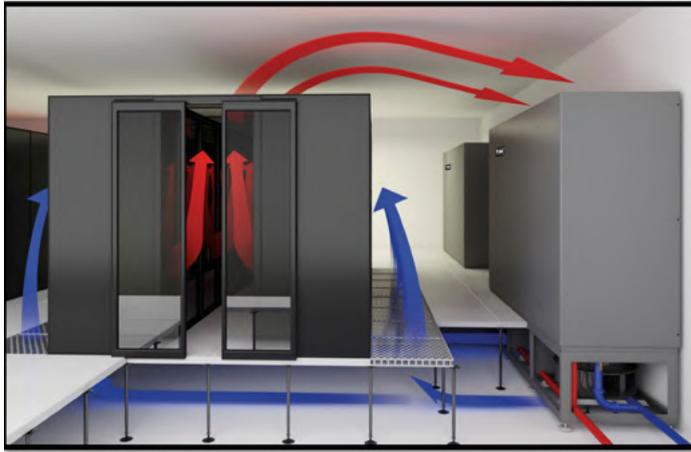
Les configurations que l'on retrouve sont :  
2 batteries à eau glacée pour liaison à 2 productions d'eau

moyenne. Solution aussi dans les industries possédant une production « process » et une production « confort » qui sont alors mises toutes deux à contribution afin de sécuriser les quelques salles informatiques et autres locaux sensibles :

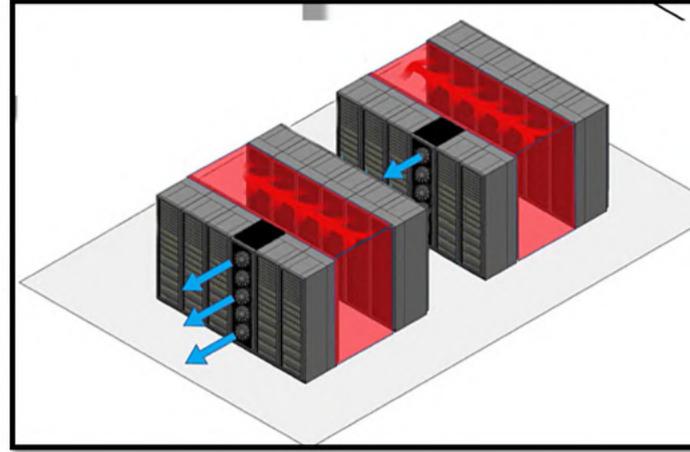
- 1 batterie à eau glacée + 1 système à détente directe avec condenseur à distance. Système traditionnellement utilisé pour des bâtiments tertiaires dont le groupe froid est arrêté l'hiver, le circuit frigorifique interne prenant alors le relais ;
- 1 batterie à eau glacée + 1 système à détente directe avec condenseur à eau. Solution retenue lorsqu'il y a la possibilité de faire un réseau d'eau glycolée commun à plusieurs armoires pour n'avoir qu'un seul « dry cooler » commun à placer en toiture. Solution aussi utilisée, quand il n'y a pas d'autres choix, pour avoir un secours « à eau perdue ».

**Les évolutions et améliorations**

Maintenant que nous avons fait « le tour » des technologies d'armoires les plus classiques placées « en périphérie » de la salle à traiter, il convient de mentionner les améliorations majeures qui les ont fait progresser et perdurer. Mentionnons en premier lieu l'évolution des températures autorisées par les baies informatiques qui sont passées progressivement de 20 °C dans les années 2000 à environ 27 °C dans les salles les plus classiques. Mentionnons ensuite l'arrivée des « confinements en allées froides ou chaudes » qui permettent d'augmenter encore les températures de reprise jusqu'à atteindre et même dépasser les 36 °C de nos jours. Solution devenue classique ! La création de ces confinements, appelés « cubes », a aussi permis la création d'une nouvelle gamme de refroidisseurs placée entre les baies informatiques : les Rack coolers (cf. photo 3) qui reprennent quasiment toutes les technologies de leurs grandes sœurs que sont les armoires de clim. Ces nouveaux régimes sont favorables aux économies d'énergie, et donc à un faible PUE., car ils améliorent la performance des systèmes de production de froid et diminuent en même temps la consommation des ventilateurs des armoires.



**Solution avec  
ARMOIRE DE CLIMATISATION PERIPHERIQUE**



**Solution avec  
INROWS - RACKCOOLER**

**Photo 3 : rack cooler**

## Un exemple d'utilisation traditionnelle amélioré

L'espace Clément Ader à Toulouse dispose d'un des plus puissants calculateurs de l'Hexagone, au service notamment de Météo France, de la recherche universitaire et de la région. En 2012, lors de la reconversion de l'ancien site de maintenance d'Air France dans ce qui est maintenant la ZAC Toulouse Aérospatial, le concepteur a intégré la récupération totale d'énergie sur les 4 groupes refroidissant le calculateur

permettant produire jusqu'à 4500 kW d'eau chaude à 50 °C. Cela participe idéalement au réseau de chaleur « basse température » de la nouvelle zone. Cette belle réalisation, plutôt en avance sur son temps, doit nous motiver à faire toujours mieux !

**Benoît de Marcillac, Mitsubishi**



## Vous souhaitez recevoir la revue ?

Devenez membre de l'AICVF en suivant ce lien :

<https://aicvf.org/aicvf/adhesion/>

et accédez à une bibliothèque de dossiers, d'articles ou d'avis d'experts et restez informé(e) des 70 événements organisés partout en France

### ENERJMEETING

Le 19 septembre à Lyon

### INTERCLIMA-MONDIAL DU BÂTIMENT

Du 30/09 au 03/10 à Paris

### H'EXPO

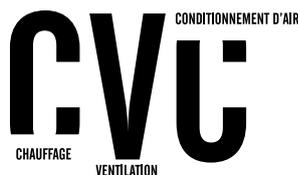
Du 24 au 26/09 à Montpellier

### SALON DE L'IMMOBILIER BAS CARBONE

Du 07 au 09/10 à Paris

### SALON COPROPRIETE ET HABITAT

Les 06 et 07/11 à Paris



### LA REVUE DES CLIMATICIENS

66, rue de Rome - 75008 Paris  
Tél. : 01 53 04 36 10  
Fax : 01 42 94 04 54  
[www.aicvf.org](http://www.aicvf.org)  
[cvc@aicvf.org](mailto:cvc@aicvf.org)

#### ÉDITION

**Directeur de la publication :** Frank Hovorka  
**Rédacteur en chef :** Frédéric Massip  
**Comité de rédaction :** Mohamed Abdelmoumene, Charles Arquin, Franck Benassis, Christian Feldmann, Vianney Fullhardt, Philippe Herbulot, Jean-Christophe Leonard, Pierre Picard, Carine Serreli, Jean-Marie Souchet, Philippe Vail  
**Chargé de mission :** Michel Laval

#### RÉALISATION

**Editions Parisiennes SAS (Edipa)**  
6, passage Tenaille  
75014 Paris  
Tél. : 01 45 40 30 60  
Fax : 01 45 40 30 61  
[contact@edipa.fr](mailto:contact@edipa.fr)  
[www.lebatimentperformant.fr](http://www.lebatimentperformant.fr)  
Conception graphique : Julien Josset

Photo de couverture : Le collège Les Chatenades à Mussidan

*Les articles publiés sont sélectionnés avec soin en regard de leur intérêt pour les professionnels de la climatique ; les auteurs expriment en toute liberté leur point de vue et ni l'AICVF ni les Éditions Parisiennes ne sauraient être tenus responsables des articles publiés, ceux-ci relevant de la seule responsabilité de leurs auteurs. Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans la présente publication, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'oeuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 11 mars 1957 - art. 40 et 41 et Code pénal art. 425).*



### CLIM'AGORA 04

• Bâtiment et mobilité, deux secteurs qui se rejoignent

### QUESTIONS À 06

• Thierry Laquitaine, président de Circolab

### VIE DE L'ASSOCIATION 09

• Interview de Frank Hovorka, président de l'AICVF, sur « Radio immo »

### UN MÉTIER, DES TALENTS 12

• Mireille Rameh  
• Philippe Nunes

### UN MÉTIER, DES ÉLANS 14

• La Rochelle Université  
• Le Costic

### PROFESSION 22

• Diamètre des réseaux hydrauliques de chauffage dans les bâtiments et pertes de charges, quels critères optimaux ?  
• Hommage à Bernard Missenard  
• Les pieux géothermiques : faire d'une contrainte un atout pour la résilience climatique  
• Brouillard d'eau : une avancée dans la protection des charpentes de cathédrales

### AVIS D'EXPERTS 26

• Principaux acronymes, termes et définitions employés dans le génie climatique  
• Directive EPBD révisée : ce qui change  
• L'édition 2024 de la « Rehva Student Competition »

### DOSSIER 38

#### DÉCRET TERTIAIRE/DÉCRET BACS : LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE DES BÂTIMENTS D'ENSEIGNEMENT

### DOSSIER 60

#### DATA CENTERS : LE DÉFI ÉNERGÉTIQUE

### RÉGLEMENTATION 74

• Réglementation du Génie Climatique : textes réglementaires publiés au 2<sup>ème</sup> trimestre 2024  
• Arrêté du 24 avril 2024 : un texte attendu pour préciser les modalités de pilotage des bornes

### INNOVATIONS 76

Une sélection de produits et solutions techniques