



Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie  
**CVT - Consortium de Valorisation Thématique**

# **Enjeux et technologies de refroidissement des Data Centers**

*Avril 2017*

## AVERTISSEMENT

*La méthodologie utilisée, ainsi que les résultats obtenus, relèvent de la seule responsabilité des rédacteurs qui ont réalisé l'étude. Ils n'engagent ni l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Energie (ANCRE), ni l'ensemble des organismes membres de l'Alliance. Les parties intéressées sont invitées, le cas échéant, à faire part de leurs commentaires au CVT Ancre.*

### *Membres du comité de pilotage*

- Laurent FORTI, IFP Énergies nouvelles, co-animateur du GP8 de l'Alliance ANCRE
- Jean-Michel MOST, CNRS, co-animateur du GP8 de l'Alliance ANCRE
- Laurence Musset, CNRS

### *Rédacteur*

- Sébastien GUINARD, Service Bibliométrie-Etudes-Marketing (BEM) du CEA

*La reproduction ou la présentation publique à des fins professionnelles, même partielle par quelque procédé que ce soit, est strictement interdite sans l'autorisation du directeur du CVT Ancre.*

*La reproduction de cette étude et/ou le transfert de fichier à des tiers sont interdits en respect du code de la propriété intellectuelle. Cette étude est strictement réservée au signataire de l'accord de confidentialité.*

Adossé à l'Alliance, le **Consortium de Valorisation Thématique de l'Ancre** a pour objectif d'améliorer l'efficacité et le flux de transfert de technologies de la sphère publique vers les entreprises. Constituées de cartographies de brevets et de publications, d'enquêtes terrain auprès d'industriels français et étrangers et d'analyses de marché, **les études stratégiques mutualisées du CVT Ancre** ont pour but d'identifier des opportunités et de formuler des recommandations sur les filières à promouvoir. La synergie entre experts scientifiques de l'Ancre et analystes en intelligence économique et stratégie apporte une inégalable valeur ajoutée.

## ÉTUDES STRATÉGIQUES DU CVT ANCRE EN COURS

- **Raccordement au réseau et connectique sous-marine des parcs de convertisseurs d'EMR**
- **Transformations biologiques alternatives à la méthanisation : H<sub>2</sub> et produits fermentaires**
- **Etat des lieux et perspectives de la production et des usages des bio- huiles**
- **Stockage souterrain de l'énergie**
- **Potentiel technologique et économique des filières PV à haut rendement**
- **Analyse des scénarios de pénétrations fortes des EnR variables sur les réseaux électriques : méthodologies et conséquences industrielles**
- **Les Combustibles Solides de Récupération (CSR) : Les verrous techniques, réglementaires, économiques et sociétaux de la filière en France**
- **Analyse de la prise en compte des sciences de base dans les politiques de recherche sur l'Énergie**

Pour en savoir plus :

<https://www.allianceenergie.fr/cvt/etudes/>



# **SYNTHESE**

*Les éléments présentés dans ce document sont issus d'études récentes et des propos d'acteurs référents de l'industrie des data center. Si les chiffres sont parfois différents d'un rapport à l'autre, les ordres de grandeur dans lesquels ils s'inscrivent permettent d'argumenter les analyses produites d'une manière cohérente.*

## **LE CVT ANCRE A DECIDÉ DE SE PENCHER SUR LES TECHNOLOGIES DE REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS**

Cette problématique est d'actualité et très bien décrite dans un article du magazine Slate de juin 2015<sup>49</sup> : « On n'y pense pas forcément mais chaque vidéo sur YouTube, statut posté sur Facebook, recherche sur Google a une conséquence sur l'environnement. Comme l'expliquait F. Bordage, de GreenIT.fr en mars 2014, « les data centers du monde, ~ 44 millions, représentent une consommation électrique annuelle d'environ 300 TWh, soit environ les deux tiers de la consommation électrique de la France et la moitié de ses émissions de GES ». La quasi-totalité de la puissance consommée par les équipements informatiques (serveurs, stockage et réseau) est alors convertie en puissance thermique par effet Joule nécessitant de fait un système de refroidissement important pour dissiper la chaleur dégagée. A titre d'exemple, le Wall Street Journal indique que certains data centers ont également besoin de grandes quantités d'eau pour que les systèmes d'air conditionné puissent refroidir les serveurs. Ainsi, en Californie, ce sont plus de 800 data centers qu'il faut refroidir en utilisant l'équivalent de 158 000 piscines olympiques par an remplies avec de l'eau traitée comme pour les restaurants et les hôtels. Le problème, c'est qu'en ce moment la Californie est frappée par une grande sécheresse... ». (extraits simplifiés ou explicités de l'article)

## **UN DATA CENTER EST UN SYSTEME COMPLEXE, TANT DU POINT DE VUE INFORMATIQUE QUE DU POINT DE VUE ÉNERGÉTIQUE**

Un data center est un lieu hébergeant un système complexe dédié au stockage et au traitement de données. Des processeurs et des mémoires y sont regroupés sur des cartes serveurs agencées au sein de baies (Rack) mises en réseaux. Un data Center est ainsi composé de quelques baies à plusieurs milliers, connectées au réseau internet par fibre optique.

Du point de vue énergétique, le data center apparaît comme un système complexe. En effet, ses capacités informatiques sont alimentées en électricité d'origine nucléaire, hydraulique, solaire, éolienne par une ou plusieurs arrivées Haute Tension, couplées à des groupes électrogènes utilisés lors de pannes de courant. Cette Haute Tension est ensuite convertie en Basse Tension par des transformateurs et des TGBT (Tableau Général Basse Tension) présents dans les salles d'alimentation électrique. Afin d'assurer la sécurité des équipements informatiques en cas de surtension ou de panne électrique, les data centers disposent d'onduleurs (UPS, Uninterruptible Power Supply) qui alimentent les armoires électriques des baies informatiques (PDU) et d'autres systèmes électriques. A noter que chaque raccordement ou câblage peut induire une baisse du rendement global des installations (perte en ligne). En général, le rendement des chaînes d'alimentation en énergie se situe entre 90 et 95%<sup>38</sup>.

## **L'EFFICACITÉ ÉNERGETIQUE DES DATA CENTERS EST UN ENJEU CONSIDÉRABLE ET LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DANS LES DATA CENTERS EST CRUCIALE**

L'efficacité énergétique des data centers est un enjeu considérable du point de vue économique et énergétique, ce d'autant qu'ils sont promis à un très fort développement dans les années à venir :

- **Du fait de leur taille et de leur alimentation en électricité 24h/24h, un data center est très énérgivore.** Les plus puissants peuvent atteindre 100 MW<sup>10</sup> et même 138 MW pour deux des

derniers data centers construits par facebook<sup>16</sup>. Aussi, certains d'entre eux situés aux Etats-Unis auraient une consommation électrique équivalente à celle de Strasbourg ou de Bordeaux<sup>3</sup>.

- **Le développement des usages numériques a nécessité la mise en place de nombreux data centers de par le monde - on parle aujourd'hui « d'un parc mondial de data centers » - dont l'impact foncier, énergétique et écologique est considérable.** Ainsi, en 2012, il était estimé<sup>1</sup> que les data centers consommaient 2 % de l'électricité aux Etats Unis - ces derniers pesant pour 25 % à 35 % de la puissance mondiale installée dans les data centers - et 1,3 % de l'électricité dans le monde. Aujourd'hui, 4 % de la consommation énergétique (plus probablement électrique) mondiale et au moins 2 % des émissions carbone leur seraient imputables<sup>10, 63</sup>.
- **La dynamique anticipée dans les usages liés au digital va se répercuter sur les data centers et leur demande d'approvisionnement énergétique.** Mc. Kinsey, affirmait dans l'un de ses derniers rapports que « *la nouvelle ère de la mondialisation, c'est la mondialisation des données* »<sup>8</sup>. En presque 10 ans, de 2005 à 2014, les échanges mondiaux sont passés de 4,7 téraoctets par seconde à 211,3 téraoctets par seconde. Les Echos, indique de son côté que la taille de l'univers numérique double tous les 4 ans<sup>9</sup> et Le Figaro indique<sup>17</sup> que « *l'univers numérique devrait peser 44.000 milliards de gigaoctets en 2020, soit 10 fois plus qu'en 2013* ». D'autre part, tous les signaux vont dans le sens d'une poursuite de cette croissance : big data, boom annoncé de l'internet des objets, émergence de l'usine du futur... Ainsi, en 2013, il était estimé<sup>2</sup> que la consommation électrique des data centers aux Etats Unis était de 91 billions de kWh (l'équivalent de 34 grosses centrales à charbon de 500 MW) et qu'elle augmenterait en 2020 à 140 billions de kWh. D'autres analyses, laissent entendre que la demande énergétique liée aux data centers va croître dans les années à venir au minimum de 5 % par an<sup>9</sup> et peut être même de 15 à 20 % par an<sup>4</sup>.

**L'analyse des data centers du point de vue énergétique permet de constater que la problématique du refroidissement est cruciale :**

- **Deux constats interpellent au regard de la performance énergétique des data centers : le poids des coûts énergétiques et l'importante production de chaleur :**
  - o Selon leur niveau de performance énergétique, la consommation énergétique représenterait 30 à 50 % des coûts d'exploitation des data centers<sup>10</sup>. Pour comparaison, c'est au même niveau que pour une usine de désalinisation d'eau de mer par osmose inverse<sup>18</sup> (~40 %).
  - o L'électricité qui alimente les serveurs d'un data center est ultimement transformée en chaleur<sup>11</sup> et il faut parfois consommer plus d'électricité pour refroidir ces serveurs que pour les faire fonctionner. Un indicateur permet d'appréhender en partie ce phénomène, c'est le PUE « Power Usage Effectiveness » qui mesure le ratio entre l'énergie totale consommée par le data center et l'énergie consommée par les équipements informatiques - le système de refroidissement étant considéré comme le plus énergivore après les équipements informatiques, et très loin devant les onduleurs, les batteries de secours... Il n'y a pas d'étude robuste pour suivre au niveau mondial le PUE, tout juste peut-on noter que de multiples études conduites entre 2013 et 2015 font état de PUE moyens compris entre 1,7<sup>12</sup> et 2,5<sup>13</sup> : on consomme donc parfois plus d'énergie pour refroidir les data centers que pour les faire fonctionner.
- **Aussi, la problématique de la chaleur générée par les data centers est cruciale :**
  - o Tout d'abord, le matériel informatique doit fonctionner en deçà de certaines températures pour s'affranchir de pannes ou être performant - la fréquence des processeurs diminuerait ainsi lorsque la température est trop élevée. Il est donc impératif que la température des processeurs et des mémoires soit maintenue en deçà de 85°C et que celle des disques soit inférieure à 45°C ou à 60°C<sup>14</sup>.

- D'autre part, le développement des usages associés au digital appelle du matériel informatique dont la puissance augmente générant donc de plus en plus de chaleur par unité de volume ; à titre d'exemple, une étude relève que la densité de puissance des serveurs pourrait passer de 8 kW/m<sup>2</sup> à 15 kW/m<sup>2</sup> de 2013 à 2018.
  - Par ailleurs, à de très rares exceptions près, il n'y a pas de valorisation économique ou d'usage (utilisation pour un besoin interne à l'exploitant du data center) de cette chaleur. Une part significative de la facture énergétique d'un data center sert donc à acheter de l'électricité qui génère de la chaleur sans aucun bénéfice, ce qui constitue donc une perte sèche pour l'exploitant.
  - Enfin, une étude menée en 2014 indique que même si un data center est considéré comme dépassé au bout de 7 ans, l'âge moyen de ces derniers est de 9 ans<sup>15</sup>. Autrement dit, la problématique de la gestion de la chaleur aura des conséquences négatives pendant longtemps si elle n'est pas gérée intelligemment dès la conception.
- **A titre d'exemple : Joe Kava, VP opérations des data centers chez Google, affirme avoir économisé plus d'un milliard de dollars dès lors qu'il a considéré avec attention la problématique du refroidissement et indique que Google travaille à une nouvelle conception de ses systèmes de refroidissement tous les 12 à 18 mois (Cloud user conference en 2016).**

## **L'ÉTUDE NÉCESSITE DE CONSIDÉRER UN PÉRIMÈTRE D'ANALYSE ÉLARGI AU COUPLE « REFOUDDISSEMENT DES DATA CENTERS/VALORISATION DE LA CHALEUR DISSIPÉE » ET DONC DE PRENDRE EN COMPTE CINQ ENSEMBLES D'INNOVATIONS**

**Du point de vue énergétique, mieux vaut considérer une problématique duale « refroidissement / valorisation de la chaleur dissipée » car la problématique du refroidissement à elle seule ne permet pas de décider de stratégies énergétiques pertinentes pour un data center. Ce faisant, le data center devient un objet d'étude à la croisée de multiples compétences, une solution optimale combinant alors de multiples technologies et innovations :**

- Une stratégie de conception et d'exploitation efficiente d'un data center doit s'appuyer sur une analyse élargie au couple « refroidissement / valorisation de la chaleur dissipée ». En effet, les solutions de refroidissement mises en œuvre impactent sur la quantité et la qualité (au sens de « température ») de la chaleur dissipée et donc à la fois sur les possibilités de la valoriser et sur les modalités de cette valorisation au sein de son environnement ; à titre d'exemple, selon la stratégie de refroidissement mise en œuvre, la chaleur récupérée peut résulter d'une augmentation de la température du fluide refroidisseur de 15°C et ressortir à 40°C (refroidisseur à air) comme elle peut avoir fait subir une augmentation de température de 2 à 5°C et ressortir à 60°C voir ~75°C (refroidisseur à eau, notamment quand on utilise le « refroidissement dit à eau chaude »)<sup>14</sup>.
- Informaticiens, énergéticiens, concepteurs-constructeurs et aménageurs doivent donc mettre leurs expertises en commun pour adresser les enjeux d'efficacité énergétique des data centers. Aujourd'hui, cette alliance ne semble pas être la norme : *"most mechanical engineers did not truly understand data center operations and design"* (J. Sasser, VP Opérations, Sabey ; Sabey opère des data centers répartis sur plus de 3 millions de m<sup>2</sup>).

**Il faut dès lors étudier 5 ensembles d'innovation pour appréhender la problématique « refroidissement / valorisation de la chaleur dissipée » (détail en annexe)**

- **Le réseau électrique et les équipements associés**
- **Les composants informatiques des data centers et les applications supportées**
- **L'urbanisation et l'exploitation de la salle informatique**
- **Les technologies de refroidissement**

- **Les technologies de valorisation de la chaleur dissipée**

*Sont hors périmètre : les aspects d'aménagement et de construction (au sens BTP), les problématiques d'hydrométrie et de poussières qui causent de la corrosion et limitent les échanges thermiques une fois agglutinées sur le serveur.*

**LES ÉCHOS DES QUELQUES LEADERS DE L'INDUSTRIE DES DATA CENTERS INTERROGÉS LORS DE L'ÉTUDE NE PERMETTENT PAS DE PRIVILÉGIER UNE PISTE TECHNOLOGIQUE AU DÉTRIMENT D'UNE AUTRE.**

L'industrie des data centers présente une dualité marquée au regard du refroidissement et de la valorisation de la chaleur dissipée. D'un côté, une minorité du parc constituée de rares projets vitrines - nouveaux équipements construits pour les GAFAs ou quelques leaders des télécoms qui mettent en œuvre toute une panoplie de solutions destinées à réduire la consommation énergétique, les besoins de refroidissement et permettant parfois une valorisation de la chaleur dégagée. Et de l'autre, des data centers déjà installés ou en cours de construction et qui n'ont pour simplifier pas d'autre ambition que de mettre à disposition de l'espace de stockage et de calcul.

- Google, Facebook, Amazon ou Apple forment un monde à part entière quant aux solutions mises en œuvre pour exploiter de manière efficiente leurs data centers. On ne trouve ailleurs que quelques grands opérateurs télécoms ou hébergeurs pour suivre leur voie, même s'ils ne piochent pas tout à fait dans le même panier technologique : nul doute par exemple qu'aucun d'entre eux n'a accès aux mêmes outils d'intelligence artificielle que Google.
- En regard de ces quelques rares installations, l'immense majorité des data centers déjà construits ou en cours de construction relève d'une infrastructure simple, voire simpliste du point de vue du refroidissement puisque ce n'est généralement pas un facteur impactant les opérations. En témoignent les échos suivants, relatés lors de nos entretiens :
  - o « Les DSI ne paient pas souvent la facture énergétique des infrastructures qu'ils opèrent ».
  - o « La notion de sécurité prime sur tout le reste, cela conduit souvent à des comportements excessifs et à des redondances abusives en terme de climatisation, d'onduleurs... »
  - o « Les fonctions d'économie d'énergie ne sont pas toujours qualifiées dans les procédures opérationnelles, du coup, elles ne sont pas toujours activées ».
  - o « On est loin d'une prise en compte systématique de la problématique du refroidissement et de l'efficacité énergétique, je ne serai pas surpris si on me disait qu'à lui seul le ministère des finances avait 200 data centers et que chacun d'eux était sous utilisé ».

**Pour autant les acteurs interrogés ont dans leur radar quelques pistes technologiques d'intérêt. Aussi, il est manifeste que les considérations sur le refroidissement et la valorisation de la chaleur dégagée n'ont de sens qu'au regard d'une réflexion plus large sur l'exploitation opérationnelle et financière du data center qui priment sur tout le reste :**

- Quelques pistes ont certes été évoquées pour mieux refroidir les data centers : free cooling, liquid cooling, immersion, virtualisation, DCIM, l'interaction entre les différentes unités de refroidissement et l'urbanisation des salles, outils de modélisation...
- Néanmoins, les acteurs interrogés rappellent que les technologies pour le refroidissement des data centers et la valorisation de la chaleur dégagée doivent être éclairées par des réflexions en lien avec des facteurs opérationnels ou financiers :
  - o « Les stratégies de refroidissement ont des répercussions très fortes sur de multiples aspects opérationnels. Prenez l'exemple de l'immersion, une telle option s'accompagne de plus de complexité lors de la maintenance, prend plus de place au sol qu'une solution en rack, demande une architecture de baie aux petits oignons... Donc même si elle est intéressante du point de vue du refroidissement, elle ne l'est pas du point de vue du coût de location du bâtiment, du coût de développement, du coût de maintenance... »

- « Connecter un data center à un réseau de chaleur, c'est d'abord brancher un réseau IT à un autre réseau. C'est une hypothèse que réfutent certains acteurs à qui cela pose des problèmes de sécurité, même si cette réflexion n'est pas complètement fondée ».
- « On regarde les solutions qui permettraient de passer nos data centers en courant continu. Mais, outre le fait que les grands équipementiers ne proposent pas tout le matériel nécessaire pour ce mode de fonctionnement, nous voyons bien qu'un tel choix aurait aussi des répercussions dans nos relations avec les assureurs qui n'en n'ont pas l'habitude ».

**La dynamique insufflée par l'IOT et les usages du numérique pourraient remodeler significativement cette industrie et impacter lourdement les stratégies de refroidissement ou de valorisation de la chaleur dégagée. Et ce que ce soit au niveau des processeurs ou alors en mettant fin à la cohabitation de data centers protéiformes au profit d'une infrastructure plus efficiente et structurée en couche : quelques dizaines de très gros data centers répartis de par le monde, connectés à des centaines de data centers régionaux plus petits, etc...**

- S'il est une constante dans les réflexions des acteurs, c'est bien que le besoin en termes de capacité de stockage et de calcul augmente drastiquement d'année en année et que cette hausse sera soutenue à l'avenir du fait de la révolution digitale.
- Dans ce contexte, on remarque aujourd'hui que de grands opérateurs de data centers conçoivent ou envisagent de concevoir leurs propres puces<sup>42</sup> car ils se questionnent sur le devenir des processeurs : « Les gros processeurs généralistes vont-ils perdurer ? il faudrait alors les refroidir à l'eau ; d'autres types de processeurs plus spécialisés, à l'image des GPU, vont-ils se développer pour les data centers ? on pourrait alors imaginer les refroidir à l'air ou du moins différemment des premiers ».
- Par ailleurs, « aujourd'hui, on peut schématiser en disant que les données sont structurées autour de 100 gros data centers, dont bon nombre opérés par les GAFAs et que demain, avec l'IOT, il faudra peut-être gérer 200 fois plus de données. Est-ce que cela veut dire qu'il y aura demain 10 000 data centers répartis dans le monde ? Si oui, est-il certain que cette infrastructure fonctionnera comme aujourd'hui ? Peut-être pas, peut-être aura-t-on un premier rang de gros data centers alimentés par 100 ou 150 MW, connectés à un deuxième rang de data centers alimentés par 20 ou 30 MW, connectés à un troisième rang alimentés par 500 kW ou 1 MW... Cette infrastructure inviterait alors à revisiter complètement les approches de refroidissement ou de valorisation de la chaleur dégagée. En effet, autant il paraît difficile de connecter un data center alimenté par 20 ou 30 MW à un réseau de chaleur (d'une part car la température dégagée par les data centers est basse et d'autre part car il faudrait trouver une industrie qui utiliserait cette énergie de façon constante, jour et nuit tout au long de l'année), autant il paraît plausible de connecter un data center alimenté par 500 kW ou 1MW pour du chauffage urbain et de la climatisation ».

**Dans cette perspective, il est délicat d'identifier des technologies de refroidissement ou de valorisation de la chaleur dégagée sur lesquelles travailler en priorité car celles qui apparaissent aujourd'hui comme exotiques ou difficilement applicables pourraient s'avérer pertinentes dans le futur. On ne peut donc que recommander de considérer l'ensemble des technologies et des approches présentées précédemment tant il se confirme la nécessité, presque à chaque fois, d'en établir une combinaison unique pour composer au mieux face à la diversité des configurations opérationnelles : data center loué ou en propriété, conçu par l'exploitant ou par un tiers, de telle ou telle capacité, localisé en Scandinavie ou en banlieue parisienne, isolé ou intégré dans un projet d'urbanisme... : « There is no one-size-fits-all model » (Joe Kava, VP opérations des data centers chez Google, intervention à la cloud user conference en 2016).**

## **UNE PROPOSITION DE FEUILLE DE ROUTE DE R&D À DEUX NIVEAUX POUR ADRESSER LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS**

**Est-il pertinent de lancer un programme de recherche lié au refroidissement des data centers ? Oui, tout en étant mesuré dans cette action car la problématique du refroidissement des data centers ne relève pas, pour l'heure, d'un ou de quelques verrous technologiques clairement identifiés et qu'il existe d'autres leviers qui pourraient être actionnés et produire des effets importants.**

- En effet, notre étude montre en synthèse que l'industrie des data centers est très hétérogène : dans sa prise en compte de la problématique du refroidissement d'une part car, c'est à peine un sujet d'intérêt pour certains tandis que d'autres y sont très attentifs, et d'autre part car il n'y a pas de solution unique mais une combinaison de solutions technologiques à spécifier pour chaque data center. Il existe ainsi déjà deux leviers très puissants pour adresser les challenges liés au refroidissement des data centers : mobiliser l'ensemble des acteurs et piocher judicieusement au sein du large éventail de solutions déjà disponibles sur étagère.
- Autrement dit, il n'y a pas de besoin impérieux de lancer un programme de R&D sur la problématique du refroidissement des data centers puisque cette dernière ne relève pas, pour l'heure, d'un ou de quelques verrous technologiques clairement identifiés.

**Si un programme de R&D devait être lancé, quel format pourrait-il revêtir ? Celui d'un programme à deux niveaux : un cœur de programme pour des projets de R&D dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement des data centers et un niveau périphérique dédié à des projets de R&D en lien avec l'une des multiples solutions identifiées et qui déclinerait spécifiquement leurs travaux à l'environnement des data centers :**

- La grande diversité des solutions technologiques à combiner et le fait que chaque data center appelle sa propre combinaison de solutions est une source de complexité qui conduit naturellement à deux réflexions :
  - o Tout d'abord, on peut considérer que ce constat est en soi une opportunité. Il pourrait ainsi être pertinent de favoriser les projets de recherche qui s'attachent à apporter une réponse systémique à la problématique du refroidissement des data centers. Savoir modéliser d'un point de vue énergétique d'abord, économique et opérationnel ensuite, chaque data center, l'impact d'une solution mise en œuvre et l'impact que peuvent avoir les multiples combinaisons de ces solutions est en soi un défi apte à nourrir de nombreux projets de R&D.
  - o Par ailleurs, ce constat est également une source de difficultés. D'abord car il n'est pas possible de dégager quelques sujets plus prioritaires que d'autres. Ensuite, car il apparaît délicat de vouloir rassembler des projets de R&D liés à ces solutions technologiques sous une même bannière « refroidissement des data centers » puisque les solutions à mettre en œuvre font appel à des disciplines éloignées et puisque leur application à l'industrie des data centers semblent marginales vis-à-vis de leurs applications à d'autres industries.
- Une architecture judicieuse d'un programme de R&D dédié au refroidissement des data centers pourrait donc être envisagée autour de deux niveaux :
  - o Un cœur de programme pour des projets de R&D dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement de l'impact des solutions envisagées.
  - o Un niveau périphérique dédié à des projets de R&D en lien avec l'une des multiples solutions identifiées et qui déclinerait spécifiquement leurs travaux à l'environnement des data centers. Ce faisant, des ponts pourraient être construits avec d'autres applications demandeuses de développements technologiques proches : les micro-chaudières ou les échangeurs de chaleur par exemple pour la texturation de surface. Des thèmes traités au sein d'autres programmes de R&D pourraient ainsi trouver une résonance dans un programme « Data Center » et réciproquement.

**Quelles déclinaisons une telle feuille de route pourrait-elle trouver en France ? Les projets « cœurs » étant dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement des data centers nécessitent la mobilisation de nombreuses compétences en R&D dans les logiciels, les capteurs, les systèmes thermiques... Ainsi, de tels projets pourraient être déclinés soit au sein des centres de recherche pluridisciplinaire, soit au travers de projets mobilisant des centres de recherche aux compétences complémentaires. De tels projets pourraient émerger d'une réflexion et d'une animation commune entre 3 alliances : ANCRE pour la partie « énergie », ALLISTENE pour la partie « numérique » et ATHENA pour la partie « usages »**

## SOURCES D'INFORMATION

1. Pollution & the internet, New York Times, 23 sept. 2012
2. The Natural Resources Defense Council, 6 fev. 2016
3. Vinci Energies 2016
4. DOE, Best practices guide for energy efficient data center, 2011
5. Orange, dossier de presse 2012
6. Optimal power allocation in server farms in proceedings of sigmetrics, 2009
7. Etude de cabinet Research 421 citée dans Silicon.fr en 2015
8. Mc. Kinsey, 2016
9. « Data center » : le nécessaire virage de l'efficacité énergétique, 2016
10. Actu-Environnement, 2015
11. The economic impact of Google's data centre in Belgium Copenhagen Economics, 2015
12. Data center knowledge, Survey: Industry Average Data Center PUE Stays Nearly Flat Over Four Years
13. Europe Campos Survey Results, 2013
14. A review of data center cooling technology operating conditions and the corresponding low-grade heat recovery opportunities, 2014
15. 10 Facts You Didn't Know About Server Farms, Cloudyn, 2014
16. Facebook : un data center dans le vent, itespresso, 2015
17. Le nombre de données numériques va exploser, Le Figaro, 2014
18. Dessalement par osmose inverse Analyse financière ; Lenntech 2016
19. Extrait de l'article La consommation d'eau des data centers en Californie pose problème, Slate, 2015
20. Notre objectif: concevoir des centres de données efficaces ; 2016
21. Berkeley Lab Data Center Energy Efficiency Research ; 2016
22. Evaluating the Opportunity for DC Power in the Data Center, Emerson, 2010
23. Neil Rasmussen, Sr. Vice President of Innovation, APC Power in DC power in the data center: A viable option? Published in Searchdata center, 2010
24. The 21st Century Data Center: An overview, ZD Net, 2013
25. Data center, un nouveau mode de chauffage ? Solucom, 2012
26. RFI, 2103
27. Data center as a Computer : une plongée dans les data centers des acteurs du cloud, 2011
28. Facebook Data Centers: Huge Scale at Low Power Density, 2016
29. Schneider Electric, Livre blanc 42, 10 solutions de refroidissement pour prendre en charge le déploiement de serveurs haute densité, révision 4, non daté (mais récent probablement, ~2015)
30. Du courant électrique sans émission de chaleur grâce à un nouveau semi-conducteur, Techniques de l'ingénieur, 2009 ; (de nombreux autres travaux de recherche sont menés sur ce sujet)
31. ENTRA: des logiciels conçus pour diminuer la consommation électrique des ordinateurs, 2014
32. Cooling Capacity Factor (CCF) Reveals Stranded Capacity and Data Center Cost Savings, Data center knowledge, 2013
33. Rise of Direct Liquid Cooling in Data Centers Likely Inevitable, 2014
34. A new European Commission-funded project aims to tackle the energy-efficiency implications of increasing investment in new data centers, 2012
35. <http://news.microsoft.com/natick/>; 2016
36. Current status & futures trends in Data center cooling technologies, Heat transfer engineering, 2015
37. Stimergy invente le data center chaudière numérique, cleantechrepublic, 2015
38. Optimisation énergétique de data centers par utilisation de liquides pour le refroidissement des baies informatiques, Université de Bretagne, 2016
39. Cooling energy hungry data centers, Science, 2010
40. 10 Ways Data Centers Are Becoming Greener ; Gigaom ; 2011 et Spray Cooling Heat Transfer – Test and CFD Analysis ; electronic cooling ; 2012
41. Quelques faits et chiffres sur les centres de données de Google ; Digora ; 2014
42. Comme Apple, Google voudrait son propre processeur ; Igen ; 2015
43. Processeurs : la fin de la loi de Moore... et le début de l'incertitude ; Silicon ; 2016
44. Cooling post ; referring to University of Leeds – Institute of thermofluids ; 2016
45. Seminar: "Data Centre Cooling – minimising environmental impact" by Joint Institute of Refrigeration and CIBSE Regional Event ; 2016
46. Natural Refrigerants in Data Center Cooling with Thermosiphon Application ; KTH Royal Institute of Technology in Stockholm ; 2016
47. Mixed boundary value problems in curvilinear domains relevant to microfluidic cooling using biomimetic structured surfaces ; imperial college ; 2016
48. Saving Water with Sandia's New Datacenter Cooling Technology ; 2016
49. Datacenter frontiers ; Warm Water Cooling for Open Compute ; 2016
50. Dell announces Triton data center cooling solutions used by eBay ; 2016
51. Fujitsu to Showcase Data Center Transformation Solutions for IoT, eCommerce and In-Memory Computing at Oracle OpenWorld 2016
52. Refroidissement d'un composant électronique par immersion dans un fluide diélectrique ; Laboratoire d'ingénierie des matériaux de Bretagne et Orange Labs ; 2016
53. Intel et SGI testent l'immersion liquide pour refroidir les serveurs ; Le Monde Informatique ; 2016
54. Rise of Direct Liquid Cooling in Data Centers Likely Inevitable ; datacenter knowledge ; 2014
55. Facebook throws servers on their back in hot tubs of oil ; The Register ; 2013
56. News & events ; Cool IT Systems ; 2015
57. BitFury to Launch Energy Efficient Immersion Cooling Data Center ; business wire ; 2015
58. ASETEK - Q4 2015: Growth, Profitability and Emerging Data Center Business ; FinanzNachrichten ; 2015
59. Towards Development of a Passive Datacenter Cooling Technology: On-Server Thermosiphon Cooling Loop under Dynamic Workload ; JB. Marcinichen, S. Szczukiewicz, N. Lamaison, JR. Thome Laboratory of Heat and Mass Transfer of École Polytechnique Fédérale de Lausanne ; 2014
60. Iceotope ; Liquid Cooled Server Rack ; 2009
61. Iceotope lève 10 millions de dollars ; GreenIT ; 2014
62. <http://www.iceotope.com/company/about-iceotope/> ; 2016
63. « Data center » : le nécessaire virage de l'efficacité énergétique, Les Echos, 2016

# RAPPORT FINAL

Les éléments présentés dans ce document sont issus d'études récentes et des propos d'acteurs référents de l'industrie des data centers. Si les chiffres sont parfois différents d'un rapport à l'autre, les ordres de grandeur dans lesquels ils s'inscrivent permettent d'argumenter les analyses produites d'une manière cohérente.

## TABLE DES MATIERES

<b>CONTEXTE DE L'ÉTUDE .....</b>	<b>3</b>
<b>LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DANS LES DATA CENTERS .....</b>	<b>3</b>
<b>LES CINQ ENSEMBLES D'INNOVATION À PRENDRE EN COMPTE POUR APPRÉHENDER CORRECTEMENT LA PROBLÉMATIQUE « REFROIDISSEMENT/ VALORISATION DE LA CHALEUR DISSIPÉE » .....</b>	<b>6</b>
- <b>LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE ET LES ÉQUIPEMENTS ASSOCIÉS .....</b>	<b>7</b>
- <b>LES COMPOSANTS INFORMATIQUES DES DATA CENTERS ET APPLICATIONS SUPPORTÉES ....</b>	<b>7</b>
- <b>L'URBANISATION ET L'EXPLOITATION DE LA SALLE INFORMATIQUE .....</b>	<b>7</b>
- <b>LES TECHNOLOGIES DE REFROIDISSEMENT .....</b>	<b>8</b>
- <b>LES TECHNOLOGIES DE VALORISATION DE LA CHALEUR DISSIPÉE .....</b>	<b>10</b>
<b>LES ÉCHOS DE QUELQUES LEADERS DE L'INDUSTRIE DES DATA CENTERS OU L'IMPOSSIBILITÉ DE PRIVILÉGIER UNE PISTE TECHNOLOGIQUE AU DÉTRIMENT D'UNE AUTRE. ....</b>	<b>11</b>
<b>EXEMPLES DE TRAVAUX DE R&amp;D ET D'ACTEURS POSITIONNÉS SUR LE REFROIDISSEMENT LIQUIDE : DIRECT LIQUID COOLING (NON IMMÉRÉ) ET TOTAL LIQUID COOLING (IMMERSION) .....</b>	<b>14</b>
<b>UNE PROPOSITION DE FEUILLE DE ROUTE DE R&amp;D À DEUX NIVEAUX POUR ADRESSER LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS .....</b>	<b>17</b>

## CONTEXTE DE L'ÉTUDE

**Le CVT ANCRE a décidé de se pencher sur les technologies de refroidissement des data centers, une problématique d'actualité très bien décrite dans un article du magazine Slate en juin 2015<sup>19</sup> :**

*« On n'y pense pas forcément mais chaque vidéo sur YouTube, statut posté sur Facebook, recherche sur Google a une conséquence sur l'environnement. Comme l'expliquait F. Bordage, de GreenIT.fr en mars 2014, « les data centers du monde, ~ 44 millions, représentent une consommation électrique annuelle d'environ 300 TWh, soit environ les deux tiers de la consommation électrique de la France et la moitié de ses émissions de GES ». La quasi-totalité de la puissance consommée par les équipements informatiques (serveurs, stockage et réseau) est alors convertie en puissance thermique par effet Joule nécessitant de fait un système de refroidissement important pour dissiper la chaleur dégagée. A titre d'exemple, le Wall Street Journal indique que certains data centers ont également besoin de grandes quantités d'eau pour que les systèmes d'air conditionné puissent refroidir les serveurs. Ainsi, en Californie, ce sont plus de 800 data centers qu'il faut refroidir en utilisant l'équivalent de 158 000 piscines olympiques par an remplies avec de l'eau traitée comme pour les restaurants et les hôtels. Le problème, c'est qu'en ce moment la Californie est frappée par une grande sécheresse... ». (Extraits simplifiés ou explicités de l'article)*

## LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DANS LES DATA CENTERS

**Un data center est un lieu hébergeant un système complexe dédié au stockage et au traitement de données**

- Un data center est un site physique de stockage et de traitement de données.
- Au niveau informatique, des processeurs et des mémoires sont regroupés sur des cartes serveurs, elles-mêmes agencées au sein de baies (Rack) qui comportent également une partie réseau permettant la communication des cartes serveurs entre elles et avec l'extérieur. Un data center est ainsi composé de quelques baies à plusieurs milliers connectées au réseau internet par fibre optique.
- Du point de vue énergétique, le data center apparaît comme un système complexe. En effet, ses capacités informatiques sont alimentées en électricité d'origine nucléaire, hydraulique, solaire, éolienne... par le réseau traditionnel (au sens où, même si l'électricité consommée est d'origine renouvelable, le réseau d'alimentation reste connecté au réseau traditionnel). Plus précisément, le bâtiment est alimenté en électricité par une ou plusieurs arrivées Haute Tension, couplées à des groupes électrogènes utilisés lors de pannes de courant. Cette Haute Tension est ensuite convertie en Basse Tension par des transformateurs et des TGBT (Tableau Général Basse Tension) présents dans les salles d'alimentation électrique. Afin d'assurer la sécurité des équipements informatiques, les data centers disposent d'onduleurs (UPS, Uninterruptible Power Supply). Ces appareils permettent entre autres de protéger les équipements des surtensions, et de les secourir (une dizaine de minutes maximum) lors de pannes électriques à l'aide de nombreuses batteries de secours. Pour terminer, les onduleurs alimentent les armoires électriques des baies informatiques, ou Power Distribution Unit (PDU). Les autres systèmes (climatisation, auxiliaires) peuvent être également alimentés par les UPS ou branchés directement aux TGBT. A noter que chaque raccordement ou câblage peut induire une baisse du rendement global des installations (pertes en ligne). En général, le rendement des chaînes d'alimentation en énergie est compris entre 90 et 95 %<sup>38</sup>.

**L'efficacité énergétique des data centers est un enjeu considérable du point de vue économique et énergétique, ce d'autant qu'ils sont promis à un très fort développement dans les années à venir**

- **Bien qu'utilisés au quotidien par tout un chacun au travers des usages digitaux qu'ils supportent, les data centers sont généralement peu visibles et méconnus. Les quelques métriques associées à un data center présentées ci-après sont donc d'autant frappantes :**
  - o Du fait de leur taille et de leur alimentation en électricité 24h/24h, un data center est très énergivore. Les plus puissants peuvent atteindre 100 MW<sup>10</sup> et même 138 MW pour deux des derniers data centers construits par facebook<sup>16</sup>. Aussi, certains d'entre eux situés aux Etats-Unis auraient une consommation électrique équivalente à celle d'une ville de la taille de Strasbourg ou Bordeaux<sup>3</sup>.
  - o Certains data centers sont engagés dans la course au gigantisme et occupent parfois des superficies de plus de 9 000 m<sup>2</sup>, contenant des milliers de serveurs<sup>1</sup>. Le data center Normandie inauguré par Orange en 2012 dispose de 5 000 m<sup>2</sup> de salles informatiques. À terme le site pourra accueillir 20 000 m<sup>2</sup> de salles informatiques<sup>5</sup> (pour mémoire, la superficie d'un terrain de football est de 6 500 m<sup>2</sup>).
  - o Des estimations avancent un coût de construction d'environ 15 000 \$/m<sup>2</sup> et des coûts d'exploitation annuels d'environ 1 500 \$/m<sup>2</sup> (notons toutefois une très grande variabilité de ces coûts selon l'architecture physique du bâtiment, son ingénierie et ses systèmes)<sup>6</sup>. Orange affirme avoir investi plus de 100 M€ dans son data center Normandie livré en 2012<sup>5</sup>.
  
- **Le développement des usages numériques a nécessité la mise en place de nombreux data centers de par le monde - on parle aujourd'hui « d'un parc mondial de data centers » - dont l'impact foncier, énergétique et écologique est considérable :**
  - o En 2014, on comptait ~27 millions de m<sup>2</sup> d'espace opérationnel liés aux data centers en Europe (l'espace opérationnel n'est pas uniquement constitué de salles informatiques)<sup>7</sup>.
  - o En 2012, il était estimé<sup>1</sup> que les data centers consommaient 2 % de l'électricité aux États Unis - ces derniers pesant pour 25 % à 35 % de la puissance mondiale installée dans les data centers - et 1,3 % de l'électricité dans le monde.
  - o Aujourd'hui, 4 % de la consommation énergétique (plus probablement électrique) mondiale et au moins 2 % des émissions carbone leur seraient imputables<sup>10, 63</sup>.
  - o En 2014, il était estimé que les data centers californiens utiliseraient pour leurs systèmes de refroidissement l'équivalent de 158 000 piscines olympiques par an avec de l'eau traitée comme pour les restaurants et les hôtels »<sup>19</sup>.
  
- **La dynamique anticipée dans les usages liés au digital va se répercuter sur les data centers et leur demande d'approvisionnement énergétique :**
  - o Mc. Kinsey affirmait dans l'un de ses derniers rapports que « *la nouvelle ère de la mondialisation, c'est la mondialisation des données* »<sup>8</sup>. En presque 10 ans, de 2005 à 2014, les échanges mondiaux sont passés de 4,7 téraoctets par seconde à 211,3 téraoctets par seconde. Les Echos indique de son côté que la taille de l'univers numérique double tous les 4 ans<sup>9</sup> et Le Figaro indique<sup>17</sup> que « *l'univers numérique devrait peser 44.000 milliards de gigaoctets en 2020, soit 10 fois plus qu'en 2013* ». D'autre part, tous les signaux vont dans le sens d'une poursuite de cette croissance : big data, boom annoncé de l'internet des objets, émergence de l'usine du futur...
  - o Cette masse croissante de données à stocker et à traiter appelle *de facto* une croissance de la puissance informatique hébergée au sein des data centers. Ainsi, en 2013, il était estimé<sup>2</sup> que la consommation électrique des data centers aux États Unis était de 91 billions de kWh (l'équivalent de 34 grosses centrales à charbon de

500 MW) et qu'elle augmenterait en 2020 à 140 billions de kWh. D'autres analyses, laissent entendre que la demande énergétique liée aux data centers va croître dans les années à venir au minimum de 5 % par an<sup>9</sup> et peut être même de 15 à 20% par an<sup>4</sup>.

**L'analyse des data centers du point de vue énergétique permet de constater que la problématique du refroidissement est cruciale :**

- **Deux constats interpellent au regard de la performance énergétique des data centers : le poids des coûts énergétiques et l'importante production de chaleur :**
  - o Selon leur niveau de performance énergétique, la consommation énergétique représenterait 30 à 50 % des coûts d'exploitation des data centers<sup>10</sup>. Pour comparaison, c'est au même niveau que pour une usine de désalinisation d'eau de mer par osmose inverse<sup>18</sup> (~40 %).
  - o L'électricité qui alimente les serveurs d'un data center est ultimement transformée en chaleur<sup>11</sup> et il faut parfois consommer plus d'électricité pour refroidir ces serveurs que pour les faire fonctionner. Un indicateur permet d'appréhender en partie ce phénomène, c'est le PUE « Power Usage Effectiveness » qui mesure le ratio entre l'énergie totale consommée par le data center et l'énergie consommée par les équipements informatiques - le système de refroidissement étant considéré comme le plus énergivore après les équipements informatiques, et très loin devant les onduleurs, les batteries de secours... Il n'y a pas d'étude robuste pour suivre au niveau mondial le PUE, tout juste peut-on noter que de multiples études conduites entre 2013 et 2015 font état de PUE moyens compris entre 1,7<sup>12</sup> et 2,5<sup>13</sup> : on dépense donc parfois plus d'énergie pour refroidir les data centers que pour les faire fonctionner.
  
- **Aussi, la problématique de la chaleur générée par les data centers est cruciale :**
  - o Tout d'abord, le matériel informatique doit fonctionner en deçà de certaines températures pour s'affranchir de pannes ou être performant – la fréquence des processeurs diminuerait ainsi lorsque la température est trop élevée. Il est donc impératif que la température des processeurs et des mémoires soit maintenue en deçà de 85°C et que celle des disques soit inférieure à 45°C ou à 60°C<sup>14</sup>.
  - o Par ailleurs, à de très rares exceptions près, il n'y a pas de valorisation économique ou d'usage (utilisation pour un besoin interne à l'exploitant du data center) de cette chaleur. Une part significative de la facture énergétique d'un data center sert donc à acheter de l'électricité qui génère de la chaleur sans aucun bénéfice, ce qui constitue donc une perte sèche pour l'exploitant.
  - o D'autre part, pour les nouveaux data centers, le développement des usages associés au digital appelle du matériel informatique dont la puissance augmente générant donc de plus en plus de chaleur par unité de volume ; à titre d'exemple, une étude relève que la densité de puissance des serveurs pourrait passer de 8 kW/m<sup>2</sup> à 15 kW/m<sup>2</sup> de 2013 à 2018.
  - o Enfin, une étude de Green Computing menée en 2014 indique que même si un data center est considéré comme dépassé au bout de 7 ans, l'âge moyen de ces derniers est de 9 ans<sup>15</sup>. Autrement dit, la problématique de la gestion de la chaleur aura des conséquences négatives pendant longtemps si elle n'est pas gérée intelligemment dès la conception.

- **A titre d'exemple : Joe Kava, VP opérations des data centers chez Google, affirme avoir économisé plus d'un milliard de dollars dès lors qu'il a considéré avec attention la problématique du refroidissement et indique que Google travaille à une nouvelle conception de ses systèmes de refroidissement tous les 12 à 18 mois (intervention à la « Cloud user conference » en 2016).**

**Du point de vue énergétique, mieux vaut considérer une problématique duale « refroidissement/valorisation de la chaleur dissipée ». En effet, il est nécessaire de ne pas s'arrêter à la problématique du refroidissement qui à elle seule ne permet pas de décider de stratégies énergétiques pertinentes pour un data center. Ce faisant, le data center devient un objet d'étude à la croisée de multiples compétences, une solution optimale combinant alors des technologies ou des innovations liées à ces dernières :**

- Une stratégie de conception et d'exploitation efficiente d'un data center ne peut pas se baser uniquement sur des problématiques de refroidissement, aussi cruciales soient-elles. Elle doit s'appuyer sur une analyse élargie au couple « refroidissement/valorisation de la chaleur dissipée ». En effet, les solutions de refroidissement mises en œuvre impactent sur la quantité et la qualité (au sens de « température ») de la chaleur dissipée et donc à la fois sur les possibilités de la valoriser et sur les modalités de cette valorisation au sein de son environnement ; à titre d'exemple, selon la stratégie de refroidissement mise en œuvre, la chaleur récupérée peut résulter d'une augmentation de la température du fluide refroidisseur de 15°C et ressortir à 40°C (refroidisseur à air) comme elle peut avoir fait subir une augmentation de température de 2 à 5°C et ressortir à 60°C voir ~75°C (refroidisseur à eau, notamment quand on utilise le « refroidissement dit à eau chaude »)<sup>14</sup>.
- Informaticiens, énergéticiens, concepteurs-constructeurs et aménageurs doivent donc mettre leurs expertises en commun pour adresser les enjeux d'efficacité énergétique des data centers. Aujourd'hui, cette alliance ne semble pas être la norme : *"most mechanical engineers did not truly understand data center operations and design"* (J. Sasser, VP Opérations, Sabey ; Sabey opère des data centers répartis sur plus de 3 millions de m<sup>2</sup>).
- **La gestion de la problématique « refroidissement/valorisation de la chaleur dissipée » passe par la combinaison de solutions déjà établies ou innovantes : « There is no one-size-fits-all model » (Joe Kava, VP opérations des data centers chez Google, intervention à la cloud user conference en 2016).**

## **LES CINQ ENSEMBLES D'INNOVATION À PRENDRE EN COMPTE POUR APPRÉHENDER CORRECTEMENT LA PROBLÉMATIQUE « REFROIDISSEMENT/VALORISATION DE LA CHALEUR DISSIPÉE »**

**Il faut dès lors étudier 5 ensembles d'innovation pour appréhender la problématique « refroidissement/valorisation de la chaleur dissipée » :**

- **Le réseau électrique et les équipements associés**
- **Les composants informatiques des data centers et les applications supportées**
- **L'urbanisation et l'exploitation de la salle informatique**
- **Les technologies de refroidissement**
- **Les technologies de valorisation de la chaleur dissipée.**

Notez qu'ont été considérés hors du périmètre de l'étude : les aspects d'aménagement et de construction (au sens BTP), les problématiques d'hydrométrie et de poussières (hygrometric dust particles) qui causent de la corrosion et limitent les échanges thermiques une fois agglutinées sur le serveur.

- **LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE ET LES ÉQUIPEMENTS ASSOCIÉS**

Google indique que près d'un tiers de l'énergie consommée par un serveur standard est perdue avant même d'atteindre les composants informatiques<sup>20</sup>. Plusieurs options peuvent être combinées pour réduire ces pertes et les technologies disponibles aujourd'hui permettraient déjà de les limiter à 15 %<sup>20</sup> :

- Optimisation du rendement lors des conversions AC / DC.
- Optimisation de l'installation pour limiter le nombre de conversions AC / DC<sup>20 & 22</sup>.
- Modification du matériel pour qu'il fonctionne en courant continu<sup>21</sup>.
- Optimisation du matériel fonctionnant en courant alternatif<sup>23</sup>, y compris UPS (Uninterruptible Power Supply), PDU (power distribution units) et leurs solutions de secours<sup>21</sup>.

- **LES COMPOSANTS INFORMATIQUES DES DATA CENTERS ET APPLICATIONS SUPPORTÉES**

- Développement de matériaux qui permettent la fabrication de composants informatiques moins consommateurs d'énergie ou moins émetteurs de chaleur<sup>29</sup>.
- Développement de systèmes informatiques moins consommateurs d'énergie ou moins émetteurs de chaleur, comme par exemple les mémoires SSD (Solid-State Drive avec stockage sur mémoire flash) qui ont des performances énergétiques 22 fois supérieures aux HDD (Hard Drive Disk ; constitués de pièces mécaniques, de têtes d'écriture/lecture et de plateaux mobiles) et sont 138 % moins énergivores<sup>38</sup>.
- Utilisation de matériel informatique supportant des températures plus élevées qu'auparavant tout en délivrant le même niveau de performance (notons d'ailleurs les récentes recommandations de l'ASRAHE qui promeut désormais une température d'entrée sur les serveurs plus chaude : 27°C).
- Adaptation de la consommation énergétique de la RAM ou du disque pour qu'elle soit proportionnelle à leur utilisation<sup>27</sup>.
- Développement d'outils capables d'indiquer aux programmeurs l'énergie utilisée par leur programme et de montrer comment différentes options de conception peuvent diminuer cette consommation énergétique<sup>31</sup>.

- **L'URBANISATION ET L'EXPLOITATION DE LA SALLE INFORMATIQUE**

- Dépassement des approches classiques d'urbanisation au travers de l'éclatement d'un data center en une multitude de microserveurs domestiques. Microsoft<sup>25</sup> et quelques autres sociétés (dont Stymergy<sup>37</sup> et Qarnot computing<sup>26</sup>) affirment y travailler même s'il est difficile d'appréhender finement les sujets de recherche y afférent. Notez d'autre part que si cette approche est pertinente pour de faibles capacités de calcul, elle ne l'est pas pour le reste et qu'elle se heurte à différents freins (sécurité, temps de latence...). L'approche devrait rester minoritaire ; ainsi IHS iSuppli estimait en 2013 que les micro-serveurs pèseraient au maximum 10 % du marché en 2016<sup>24</sup>.
- Désagrégation des composants informatiques : serveurs, mémoires et disques :
  - Pour profiter du fait qu'ils peuvent endurer des températures maximales différentes<sup>14</sup>.

- Pour faciliter la consommation de ressources au plus juste en fonction des tâches à accomplir d'une part et permettre la mise en veille des composants non utilisés à l'instant t d'autre part<sup>28</sup>.
- Mise en place d'une allocation dynamique des ressources informatiques au travers d'algorithmes permettant de distribuer les processus ou de les retarder tout en respectant les engagements de performances :
  - Pour répartir la puissance de calcul utilisée au sein d'un même data center<sup>29</sup>.
  - Pour augmenter le taux de charge d'un data center si celui-ci fonctionne en réseau avec d'autres. Notons à ce titre que « la plupart du temps les serveurs sont utilisés à moins de 50 % de leur capacité, tout en consommant presque autant d'énergie qu'un serveur chargé à 100 % » (C. Weiss, Directeur Général d'APL, 2016).
- Dans le cadre d'une approche plus large préconisée par Joe Kava, VP opérations des data centers chez Google, lors de la « Cloud user conference » en 2016 qui considère le data center comme un système à part entière :
  - Utilisation de données liées à l'exploitation du data center afin d'optimiser le couplage entre les technologies de refroidissement, le parc informatique et le réseau électrique au travers de simulation holistique des data centers et de logiciels d'optimisation :
    - Notons à ce titre, les propos remarquables quant à l'utilisation de l'intelligence artificielle pour l'exploitation du data center : « Google utilise le « machine learning » basé sur 19 variables indépendantes qui affectent la performance du data center »
    - « Les données sont importantes si vous souhaitez optimiser encore plus votre efficacité... Ayez donc recours à certains outils et agrégez toutes les données pour identifier les trésors qui s'y cachent ; attention cependant à la qualité des données : si les données sont mauvaises en entrée, elles seront mauvaises en sortie - Garbage In, Garbage out ».
  - Modélisation de l'impact des options retenues pour la conception ou la maintenance : « repousser les limites mais de façon éclairée en testant vos nouvelles idées sur une machine virtuelle dans un environnement avant de le placer en production ».
- Et enfin, pour les quelques concepteurs et opérateurs de parcs de data centers, gestion optimisée des différents sites en fonction du prix de l'électricité, des contraintes du réseau...

## - LES TECHNOLOGIES DE REFROIDISSEMENT

- Tout d'abord, il convient de noter quelques éléments de contexte qui font l'objet de discussions entre spécialistes du secteur, avec parfois des opinions divergentes :
  - Il y aurait à l'avenir une hausse du nombre d'installations avec refroidissement liquide au détriment du refroidissement à air pour accompagner le déploiement de data centers de plus en plus puissants. Néanmoins, en 2014, l'institut Uptime indique que 11 % seulement des data centers analysés dans leur étude utilisent le refroidissement liquide. La plupart restant à des niveaux de puissance inférieurs à 5kW par rack tout à fait gérables par des technologies de refroidissement par air<sup>34</sup>.
  - Les pays scandinaves bénéficient d'un intérêt de la part des gros opérateurs de data centers de par leur conditions atmosphériques permettant le « free cooling » - utilisation de l'air extérieur pour rafraîchir le data center - lorsque

la température extérieure est inférieure à un certain niveau. Ceci étant, il n'y a pas de consensus pour en conclure qu'une tendance géographique majeure est en train de naître : « Microsoft ouvre des data centers dans le monde entier, et pas uniquement dans les pays du Nord. Je dirais que seulement une minorité des fournisseurs considère la région comme un hub clé ; les ambitions de ces régions, à devenir des centres névralgiques en Europe, risquent d'être contenues par le fait que de nombreux fournisseurs, servant l'Europe de l'ouest, n'accepteront pas des niveaux de latence si leurs serveurs sont situés aux extrémités de l'Europe du Nord » (A. Lawrence, VP recherche, 451 Research).

- D'autre part, on peut constater que les technologies permettant de capter l'énergie thermique de l'espace informatique au travers d'air ou de fluides puis de l'amener à un échangeur de chaleur avant de la libérer structurent certains livres blancs de fournisseurs d'équipements comme Schneider Electric qui les déclinent au travers de plusieurs variantes : refroidisseur évaporatif direct à air frais, refroidisseur évaporatif direct à air indirect, refroidisseur sec... Aussi, la plupart des technologies de refroidissement sont déjà sur étagère, qu'il s'agisse de refroidissement à air ou de refroidissement liquide (à eau ou autre). Pour autant, il est manifeste que la mise en œuvre de ces technologies nécessite un véritable savoir-faire ne serait-ce que pour éviter de sur-dimensionner le système de refroidissement comme cela semble souvent être le cas ; à titre indicatif, une étude menée par Upsite (« *an industry leader in data center airflow management and cooling* ») - sur 45 sites indique que les systèmes de refroidissement sont surdimensionnés d'un facteur 4 en moyenne vis-à-vis de la chaleur dégagée par le data center<sup>32</sup>.
- Dans ce contexte, les innovations les plus notables semblent être les suivantes :
  - Mettre en œuvre des systèmes de refroidissement diphasiques optimisés. Ces derniers permettant de transmettre des flux thermiques importants avec un faible gradient de température. Dans cette voie, on peut noter les travaux sur les boucles diphasiques dans lesquelles vapeur et liquide circulent dans des canalisations distinctes et pour lesquelles on peut parfois s'affranchir de pompes<sup>38, 59</sup> ; ces boucles diphasiques pouvant être mises en œuvre au niveau des cartes serveurs ou des armoires par exemple.
  - Concevoir des microcircuits de refroidissement liquide, typiquement quatre par armoires, qui viennent compléter et soulager le circuit de refroidissement principal qui peut dès lors être réduit<sup>39</sup>.
  - Intégrer de l'eau pulvérisée (« spray cooling ») afin d'humidifier et rafraîchir l'air qui sera utilisé dans le système de refroidissement<sup>40</sup>.
  - Proposer des équipements de climatisation dont le débit est variable et qui sont asservis à un réseau de capteurs implantés dans la salle informatique afin d'adapter sa capacité de refroidissement à son niveau de charge informatique réel. On parle de Data Center Infrastructure Management : DCIM.
  - Mettre en œuvre le refroidissement par immersion qui consiste à plonger les composants informatiques dans un liquide non conducteur. Le liquide pouvant parfois être porté à ébullition pour améliorer les transferts de chaleur - on parle de « pool boiling »<sup>36</sup>. Les transferts de chaleur sont ainsi maximisés. Plusieurs démonstrateurs ont été réalisés, notamment par 3M ou Green Revolution Cooling, mais rien n'indique une généralisation de cette approche.
  - Etudier la faisabilité d'immerger l'ensemble du data center comme le fait Microsoft au travers de son projet Natick<sup>35</sup> - projet très médiatisé car insolite puisqu'il consiste à placer un data center dans un container de

transport (20 pouces) et à plonger l'ensemble dans la mer ou dans un lac. L'objectif recherché n'est pas la diminution de la quantité de chaleur émise mais la facilité de la transférer à un milieu extérieur.

- Modéliser les flux thermiques de manière précise et à différentes échelles afin d'orienter la conception ou l'exploitation des data centers et des systèmes de refroidissement associés<sup>34</sup>.

- **LES TECHNOLOGIES DE VALORISATION DE LA CHALEUR DISSIPÉE**

- Tout d'abord, il convient de garder en tête que, du point de vue de la récupération de chaleur, les data centers fonctionnent à de « basses températures », autrement dit à une température insuffisante pour que la chaleur puisse être directement valorisée pour un usage industriel, ou convertie en électricité par les moyens conventionnels. Un des leaders mondiaux des systèmes de refroidissement nous a ainsi indiqué que les températures de sortie typiques du fluide refroidisseur sont respectivement de 45°C pour un système de refroidissement à air et de 27°C pour un refroidissement à eau.
- Ainsi, les technologies à considérer dans le cadre de notre étude sont celles permettant la récupération de chaleur à basse température : cycle Rankine, cycle Kalina, Thermoélectricité (effet Seebeck), cycle à absorption, cycles hybrides et moteurs à combustion externe. Plusieurs innovations sont aujourd'hui développées autour de ces technologies qui ont été identifiées par le Ministère de l'industrie comme un sujet clé dans son étude « Technologies clés 2020 ».
- Aussi, il a été décidé de ne pas les traiter plus en détail afin de rester proche du thème principal de l'étude : le refroidissement.

## **LES ÉCHOS DE QUELQUES LEADERS DE L'INDUSTRIE DES DATA CENTERS OU L'IMPOSSIBILITÉ DE PRIVILÉGIER UNE PISTE TECHNOLOGIQUE AU DÉTRIMENT D'UNE AUTRE.**

*Le panorama technologique établi précédemment a été enrichi par les propos de leaders de l'industrie des data centers afin de mieux décrire les besoins et les attentes auxquels de futurs travaux de recherche doivent répondre.*

**L'industrie des data centers présente une dualité marquée au regard du refroidissement et de la valorisation de la chaleur dissipée.**

D'un côté, une minorité du parc constituée de rares projets vitrines - nouveaux équipements construits pour les GAFAs ou quelques leaders des télécoms qui mettent en œuvre toute une panoplie de solutions destinées à réduire la consommation énergétique, les besoins de refroidissement et permettant parfois une valorisation de la chaleur dégagée. Et de l'autre, des data centers déjà installés ou en cours de construction et qui n'ont, pour simplifier, pas d'autre ambition que de mettre à disposition de l'espace de stockage et de calcul.

- Google, Facebook, Amazon ou Apple forment un monde à part entière quant aux solutions mises en œuvre pour exploiter de manière efficiente leurs data centers. On ne trouve ailleurs que quelques grands opérateurs télécoms ou hébergeurs pour suivre leur voie, même s'ils ne piochent pas tout à fait dans le même panier technologique : nul doute par exemple qu'aucun d'entre eux n'a accès aux mêmes outils d'intelligence artificielle que Google. Bien qu'en nombre très limité, tous ces data centers sont de véritables vitrines au sein desquelles de multiples technologies sont combinées pour permettre une meilleure efficacité énergétique et un refroidissement optimisé. Communiqués de presse, articles dédiés, reportages vidéos, etc foisonnent alors dès qu'un nouveau data center est inauguré afin de mettre à l'honneur les stratégies pourtant adoptées pour une faible partie seulement des capacités installées - en 2008, Google avait 2 % des serveurs dans le monde<sup>41</sup>.
- En regard de ces quelques rares installations, l'immense majorité des data centers déjà construits ou en cours de construction relève d'une infrastructure simple, voir simpliste du point de vue du refroidissement puisque ce n'est généralement pas un facteur impactant les opérations. En témoignent les échos suivants, relatés lors de nos entretiens :
  - « Les DSI ne paient pas souvent la facture énergétique des infrastructures qu'ils opèrent ».
  - « La notion de sécurité prime sur tout le reste, cela conduit souvent à des comportements excessifs et à des redondances abusives en terme de climatisation, d'onduleurs... »
  - « Les fonctions d'économie d'énergie ne sont pas toujours qualifiées dans les procédures opérationnelles, du coup, elles ne sont pas toujours activées ».
  - « On est loin d'une prise en compte systématique de la problématique du refroidissement et de l'efficacité énergétique, je ne serai pas surpris si on me disait qu'à lui seul le ministère des finances avait 200 data centers et que chacun d'eux était sous utilisé ».

**Pour autant les acteurs interrogés ont dans leur radar quelques pistes technologiques d'intérêt. Aussi, il est manifeste que les considérations sur le refroidissement et la valorisation de la chaleur dégagée n'ont de sens qu'au regard d'une réflexion plus large sur l'exploitation opérationnelle et financière du data center qui priment sur tout le reste :**

- Quelques pistes ont certes été évoquées pour mieux refroidir les data centers :

- Tout d'abord, la mise en œuvre du free cooling et de la séparation en allée chaude et allée froide qui sont aujourd'hui au cœur des interventions des équipementiers. C'est en tout état de cause, une réponse « de premier niveau » qui, bien que porteuse de progrès nous enseigne également à quel point la plupart des opérateurs et des propriétaires de data centers ont été et sont peu sensibilisés aux enjeux liés au refroidissement auparavant...
- Puis l'instrumentation des salles (DCIM), l'interaction entre les différentes unités de refroidissement et l'urbanisation des salles, parfois décidée avec l'appui d'outils de modélisation.
- D'autres pistes matérielles ont été évoquées bien qu'elles ne semblaient pas applicables en l'état par les acteurs cités. Notons à ce titre que le refroidissement à eau est bien connu même si rarement mis en œuvre dans les faits : « la réalité du secteur, c'est qu'en France, c'est une application de niche ». L'immersion est également connue, tout comme les équipements fonctionnant en courant continu.
- Enfin, dans un autre registre, plus « logiciel », on peut noter que la virtualisation est suivie de près, même si sa mise en œuvre n'est pas jugée optimale et qu'il semble y avoir de grosses marges de progression du côté de l'optimisation des codes qui pourraient être écrits de manière à être moins énergivores (ce qui aurait alors un impact sur le dégagement de chaleur et le refroidissement associé).
- Néanmoins, les acteurs interrogés rappellent que les technologies pour le refroidissement des data centers et la valorisation de la chaleur dégagée doivent être éclairées par des réflexions en lien avec des facteurs opérationnels ou financiers :
  - « Les stratégies de refroidissement ont des répercussions très fortes sur de multiples aspects opérationnels. Prenez l'exemple de l'immersion, une telle option s'accompagne de plus de complexité lors de la maintenance, prend plus de place au sol qu'une solution en rack, demande une architecture de baie « aux petits oignons... ». Donc même si elle est intéressante du point de vue du refroidissement, elle ne l'est pas du point de vue du coût de location du bâtiment, du coût de développement, du coût de maintenance... »
  - « Connecter un data center à un réseau de chaleur, c'est d'abord brancher un réseau IT à un autre réseau. C'est une hypothèse que réfutent certains acteurs à qui cela pose des problèmes de sécurité, même si cette réflexion n'est pas complètement fondée ».
  - « On regarde les solutions qui permettraient de passer nos data centers en courant continu. Mais, outre le fait que les grands équipementiers ne proposent pas tout le matériel nécessaire pour ce mode de fonctionnement, nous voyons bien qu'un tel choix aurait aussi des répercussions dans nos relations avec les assureurs qui n'en n'ont pas l'habitude ».

**La dynamique insufflée par l'IOT et les usages du numérique pourraient remodeler significativement cette industrie et impacter lourdement les stratégies de refroidissement ou de valorisation de la chaleur dégagée.**

Et ce que ce soit au niveau des processeurs ou alors en mettant fin à la cohabitation de data centers protéiformes au profit d'une infrastructure plus efficiente et structurée en couche : quelques dizaines de très gros data centers répartis de par le monde, connectés à des centaines de data centers régionaux plus petits, etc...

- S'il est une constante dans les réflexions des acteurs, c'est bien que le besoin en termes de capacité de stockage et de calcul augmente drastiquement d'année en année et que cette hausse sera soutenue à l'avenir du fait de la révolution digitale.

- Dans ce contexte, on remarque aujourd'hui que de grands opérateurs de data centers conçoivent ou envisagent de concevoir leurs propres puces<sup>42</sup>. En effet, les dérives vis-à-vis de la loi de Moore<sup>43</sup> conjuguées à des développements de matériel non optimisé pour les data centers les questionnent sur le devenir des processeurs et les amènent à vouloir être en position d'influer les développements en leur faveur : « Les gros processeurs généralistes vont-ils perdurer ? il faudrait alors les refroidir à l'eau ; d'autres types de processeurs plus spécialisés, à l'image des GPU, vont-ils se développer pour les data centers ? on pourrait alors imaginer les refroidir à l'air ou du moins différemment des premiers ».
- Par ailleurs, « aujourd'hui, on peut schématiser en disant que les données sont structurées autour de 100 gros data centers, dont bon nombre opérés par les GAFAs et que demain, avec l'IOT, il faudra peut-être gérer 200 fois plus de données. Est-ce que cela veut dire qu'il y aura demain 10 000 data centers répartis dans le monde ? Si oui, est-il certain que cette infrastructure fonctionnera comme aujourd'hui ? Peut-être pas, peut-être aura-t-on un premier rang de gros data centers alimentés par 100 ou 150 MW, connectés à un deuxième rang de data centers alimentés par 20 ou 30 MW, connectés à un troisième rang alimentés par 500 kW ou 1 MW... Cette infrastructure inviterait alors à revisiter complètement les conséquences en termes de refroidissement ou de valorisation de la chaleur dégagée. En effet, autant il paraît difficile de connecter un data center alimenté par 20 ou 30 MW à un réseau de chaleur (d'une part car la température dégagée par les data centers est basse et d'autre part car il faudrait trouver une industrie qui utiliserait cette énergie de façon constante, jour et nuit tout au long de l'année), autant il paraît plausible de connecter un data center alimenté par 500 kW ou 1 MW pour du chauffage urbain et de la climatisation ».

**Dans cette perspective, il est délicat d'identifier des technologies de refroidissement ou de valorisation de la chaleur dégagée sur lesquelles travailler en priorité car celles qui apparaissent aujourd'hui comme exotiques ou difficilement applicables pourraient s'avérer pertinentes dans le futur. On ne peut donc que recommander de considérer l'ensemble des approches présentées précédemment tant il se confirme la nécessité, presque à chaque fois, d'en établir une combinaison unique pour composer au mieux face à la diversité des configurations opérationnelles : data center loué ou en propriété, conçu par l'exploitant ou par un tiers, de telle ou telle capacité, localisé en Scandinavie ou en banlieue parisienne, isolé ou intégré dans un projet d'urbanisme...**

## EXEMPLES DE TRAVAUX DE R&D ET D'ACTEURS POSITIONNÉS SUR LE REFROIDISSEMENT LIQUIDE : DIRECT LIQUID COOLING (NON IMMERGÉ) ET TOTAL LIQUID COOLING (IMMERSION)

*À la demande du comité de pilotage, il a été décidé de caractériser plus en détail les travaux de recherche et développement relatifs au refroidissement liquide et de préciser la nature des acteurs qui les conduisent.*

**De multiples approches sont dérivées du principe du refroidissement liquide.**

- A première vue, on peut penser que le refroidissement liquide est une appellation correspondant à une seule approche, éventuellement déclinée autour de quelques légères variantes, comme l'est finalement le refroidissement par air. Il n'en n'est rien. Basées sur le fait qu'un liquide a généralement un pouvoir caloporteur bien supérieur à celui d'un gaz, deux approches, mises en œuvre très différemment, s'attachent à extraire les calories dégagées par les composants informatiques par un liquide.
- Parmi ces dernières, il faut distinguer le Direct Liquid Cooling (DLC) où le liquide n'est jamais au contact direct des composants du Total Liquid Cooling (TLC) où les composants sont littéralement immergés dans le liquide de refroidissement. Une dernière approche conjugue les deux approches précédemment citées.

**Cinq principales pistes de recherche et développement peuvent être associées au Direct Liquid Cooling :**

- Le dimensionnement, la géométrie et la localisation des pièges à chaleur fait ainsi l'objet de travaux de recherche. Si un fluide à l'état liquide passera bien « pomper » les calories émises par les composants informatiques, encore faut-il qu'elles soient concentrées dans un endroit et dans une géométrie judicieuse afin que le transfert de chaleur puisse être maximisé<sup>44</sup>.
- Le choix des fluides caloporteurs<sup>45 et 46</sup>. On peut d'ailleurs noter les travaux sur les échanges de chaleur effectués par des fluides au travers de changement de phase. Ces derniers permettent de « pomper » de grandes quantités d'énergie sans changement important de températures<sup>51</sup> et éventuellement de limiter l'utilisation de pompes<sup>48</sup>.
- La texturation des tubes. En effet, un réseau de canalisations doit être mis en place pour faire circuler le fluide au plus près des composants à refroidir. Au vu de la miniaturisation des composants électroniques, de la géométrie des serveurs et des flux nécessaires aux échanges thermiques, la pression requise pour faire circuler le fluide caloporteur peut être considérable. Ainsi, la géométrie du réseau fluidique et la texturation de la surface des tubes peut significativement réduire les pertes de charges. L'enjeu des travaux liés à la texturation est de diminuer les frottements du fluide sur les parois tout en maintenant un transfert thermique optimal au voisinage des pièges à calories<sup>47</sup>.
- Le refroidissement au dos des armoires : quelques travaux sur la géométrie et le dimensionnement du circuit de refroidissement (mais ne nourrit pas à elle seule une thématique de R&D).
- Le refroidissement au voisinage des composants. Les stratégies peuvent alors varier : échange de chaleur via une plaque métallique de même surface que la carte serveur ou une plaque métallique située juste au-dessus du composant à refroidir<sup>49, 50</sup>. Notons que Dell travaille sur ces aspects et vise à terme de pouvoir intégrer directement une tour de refroidissement aux armoires afin de s'affranchir du besoin de mettre en place un réseau hydraulique dans tout le data center<sup>50</sup>.

**Le refroidissement par immersion fait l'objet de plusieurs offres commerciales et les travaux de recherche semblent moins nombreux que pour d'autres approches, peut-être du fait de la simplicité de la méthode ?**

- Comme le soulignent plusieurs acteurs, le refroidissement par immersion frappe autant par son originalité que par sa simplicité puisqu'il s'agit d'extraire la chaleur dégagée par les composants informatiques en les immergeant au sein d'un liquide spécifique. Nul besoin alors de dimensionner un piège à chaleur, de mettre en place des plaques métalliques au sein desquelles on fera circuler un fluide de refroidissement ou de mettre en œuvre un réseau complexe de distribution de fluides. Pour schématiser, les technologies de refroidissement par immersion suivent deux approches selon que<sup>52</sup> :
  - o L'on s'attache à faire re-circuler le fluide par le biais d'une pompe couplée à un échangeur externe qui assure le transfert de calories et permet la réutilisation du fluide ;
  - o L'on immerge le système dans un fluide diélectrique dont la température de vaporisation avoisine la température optimale de fonctionnement des composants à la pression d'usage. Ainsi, les puissances dissipées par les composants induisent la vaporisation du liquide et un condenseur associé à l'enceinte « étanche » permet une condensation de la vapeur produite. Notez que dans cette configuration aucune pompe n'est installée pour assurer une recirculation.
- Aujourd'hui, on note quelques travaux de R&D sur la nature même du fluide employé pour le refroidissement par immersion ou sur le dimensionnement des bacs qui accueillent les serveurs immergés. En effet, le fluide utilisé se doit d'avoir des propriétés particulières incluant un grand potentiel diélectrique, des propriétés thermophysiques particulières, un impact environnemental réduit, une compatibilité chimique acceptable avec les composants électroniques, une inflammabilité et une toxicité très faibles<sup>52</sup>.
- Plusieurs sociétés font des offres commerciales autour de cette approche qui est regardée de près par des géants de l'informatique tel qu'Intel et SGI<sup>53</sup>.

**Une dernière approche, donnant lieu à une offre commerciale, consiste à conjuguer le Direct Liquid Cooling et le Total Liquid Cooling :**

- Deux idées directrices fondent cette approche<sup>60</sup> :
  - o Tout d'abord il convient d'utiliser la grande capacité de transfert thermique des liquides au regard de l'air. Il convient aussi d'aller capter les calories au plus près des composants ; la solution immerge donc directement les composants dans un liquide.
  - o Ensuite il faut remédier à deux contraintes majeures associées au refroidissement liquide par immersion (TLC) : d'une part une maintenance plus délicate (il faut plonger les mains dans les bacs pour en retirer les serveurs, les essuyer et les sécher...) et d'autre part la perte de densité en termes de nombre de serveurs exploités par m<sup>2</sup>. Pour ce faire la solution consiste à construire un « pack étanche » dans lequel une carte serveur est plongée dans un liquide non conducteur qui va alors chauffer (on est proche du TLC). Ce pack est ensuite mis au contact d'une canalisation dans laquelle circule un fluide qui va évacuer les calories piégées par le pack (on est proche du DLC). Plusieurs pack sont ainsi placés verticalement et horizontalement d'une manière similaire à la disposition des cartes serveurs dans une armoire traditionnelle refroidie par DLC.
- Cette approche est promue par Iceotope depuis 2005 et on peut noter que la société a levé 10 millions de dollars auprès d'Aster Capital en 2014, un fond spécialisé dans les cleantech et qui compte Schneider Electric et Solvay pour investisseurs<sup>61, 62</sup>.

**Aussi, on peut noter que même si le refroidissement liquide n'a pas connu, pour l'heure, le succès escompté, il fait déjà l'objet d'un marché qui alimente les réflexions de fournisseurs ou d'utilisateurs potentiels dont la stratégie semble être de viser en premier lieu le marché du Calcul Haute Performance (HPC) puis de s'étendre sur les data centers les plus puissants.**

- "It's been a decade since cooling vendors began predicting that power densities would force servers to be cooled by liquid rather than cool air. Instead, the industry has seen major advances in the efficiency of air cooling – and the huge spike in data center power densities have also proven premature - while liquid cooling has been largely confined to specialized computing niches"<sup>54</sup>.
- Pour autant plusieurs entreprises sont déjà positionnées sur ce créneau :
  - o Pour l'immersion : 3M en tant que fournisseur du fluide diélectrique de refroidissement ou Green Revolution Cooling qui fournit également des huiles minérales à cet effet ; Les utilisateurs sont par exemple :
    - En 2015, Bit Flury Group qui se revendique comme étant le principal fournisseur de l'infrastructure informatique supportant les transactions en bitcoin et qui a affirmé mettre en œuvre cette approche dans leur data center de Géorgie (alimenté par 40 MW)<sup>57</sup>.
    - En 2014, le cluster scientifique de Vienne. L'installation est promue par le cluster et ses partenaires industriels, dont le spécialiste européen du HPC, ClusterVision, et les fournisseurs américains Intel, Supermicro et Green Revolution Cooling (GRC), qui a conçu le système de refroidissement.
    - En 2014, Intel et SGI qui font des tests autour de cette approche.
    - En 2012, Facebook aurait testé cette stratégie, sans qu'elle ne soit pour l'heure déployée à grande échelle.
  - o Pour le refroidissement direct, on peut noter que la société Cool IT Systems a été identifiée par le cabinet d'audit Deloitte comme l'une des 50 sociétés à plus forte croissance au Canada en 2014<sup>54</sup>. Son chiffre d'affaires avoisinerait les 27 M\$ en 2014<sup>56</sup>. Une autre société, Asetek qui est spécialisée dans le refroidissement des data center et d'autres systèmes informatiques a revendiqué en 2014 une augmentation de ses ventes pour sa division « data center » de plus de 53 % (poids de cette division inconnue vis-à-vis du CA 2015 total du groupe à 36 M\$)<sup>58</sup>.

**Enfin, il convient de noter que le refroidissement liquide des data centers fait l'objet de peu de publications académiques**

En effet, nos recherches d'articles rédigés depuis 2010 (compris) ayant trait au refroidissement liquide des data centers (Direct ou Total) ne font remonter que 28 publications. Bien que les articles ne représentent qu'une partie des travaux conduits au sein des centres de recherche, ce faible nombre reflète néanmoins le fait que le refroidissement liquide est plus un sujet d'ingénierie que de recherche.

*Pour information, la recherche a été conduite en octobre 2016 sur l'outil Scopus en étant limitée aux articles selon l'équation de recherche suivante : « TITLE-ABS-KEY ( ( "data center" OR datacenter ) AND cooling AND liquid ) AND DOCTYPE ( ar ) AND PUBYEAR > 2009 »*

## UNE PROPOSITION DE FEUILLE DE ROUTE DE R&D À DEUX NIVEAUX POUR ADRESSER LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS

**Est-il pertinent de lancer un programme de recherche lié au refroidissement des data centers ? Oui, tout en étant mesuré dans cette action car la problématique du refroidissement des data centers ne relève pas, pour l'heure, d'un ou de quelques verrous technologiques clairement identifiés et qu'il existe d'autres leviers qui pourraient être actionnés et produire des effets importants.**

- En effet, notre étude montre en synthèse que l'industrie des data centers est très hétérogène : dans sa prise en compte de la problématique du refroidissement d'une part car, c'est à peine un sujet d'intérêt pour certains tandis que d'autres y sont très attentifs, et d'autre part car il n'y a pas de solution unique mais une combinaison de solutions technologiques à spécifier pour chaque data center. Il existe ainsi déjà deux leviers très puissants pour adresser les challenges liés au refroidissement des data centers : mobiliser l'ensemble des acteurs et piocher judicieusement au sein du large éventail de solutions déjà disponibles sur étagère.
- Autrement dit, il n'y a pas de besoin impérieux de lancer un programme de R&D sur la problématique du refroidissement des data centers puisque cette dernière ne relève pas, pour l'heure, d'un ou de quelques verrous technologiques clairement identifiés.

**Si un programme de R&D devait être lancé, quel format pourrait-il revêtir ? Celui d'un programme à deux niveaux : un cœur de programme pour des projets de R&D dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement des data centers et un niveau périphérique dédié à des projets de R&D en lien avec l'une des multiples solutions identifiées et qui déclinerait spécifiquement leurs travaux à l'environnement des data centers.**

- La grande diversité des solutions technologiques à combiner et le fait que chaque data center appelle sa propre combinaison de solutions est une source de complexité qui conduit naturellement à deux réflexions :
  - o Tout d'abord, on peut considérer que ce constat est en soi une opportunité. Il pourrait ainsi être pertinent de favoriser les projets de recherche qui s'attachent à apporter une réponse systémique à la problématique du refroidissement des data centers. Savoir modéliser d'un point de vue énergétique d'abord, économique et opérationnel ensuite, chaque data center, l'impact d'une solution mise en œuvre et l'impact que peuvent avoir les multiples combinaisons de ces solutions est en soi un défi apte à nourrir de nombreux projets de R&D.
  - o Par ailleurs, ce constat est également une source de difficultés. D'abord car il n'est pas possible de dégager quelques sujets plus prioritaires que d'autres. Ensuite, car il apparaît délicat de vouloir rassembler des projets de R&D liés à ces solutions technologiques sous une même bannière « refroidissement des data centers ».
    - Les solutions à mettre en œuvre font appel à des disciplines éloignées : les sciences informatiques pour la virtualisation des serveurs ou des opérations et les sciences de la matière pour la texturation des surfaces des tuyaux déployés lors du refroidissement liquide par exemple.

- Leur application à l'industrie des data centers semble marginale vis-à-vis de leurs applications à d'autres industries : ce ne sont pas, par exemple, les problématiques des data centers qui nourrissent les projets d'intelligence artificielle même si l'on a vu au cours de l'étude qu'ils y trouvent un débouché.
- Une architecture judicieuse d'un programme de R&D dédié au refroidissement des data centers pourrait donc être envisagée autour de deux niveaux :
  - Un cœur de programme pour des projets de R&D dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement et de l'impact des solutions envisagées.
  - Un niveau périphérique dédié à des projets de R&D en lien avec l'une des multiples solutions identifiées et qui déclinerait spécifiquement leurs travaux à l'environnement des data centers. Ce faisant, des ponts pourraient être construits avec d'autres applications demandeuses de développements technologiques proches : les micro-chaudières ou les échangeurs de chaleur par exemple pour la texturation de surface. Des thèmes traités au sein d'autres programmes de R&D pourraient ainsi trouver une résonance dans un programme « Data Center » et réciproquement.

**Quelles déclinaisons une telle feuille de route pourrait-elle trouver en France ? Les projets « cœurs » étant dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement des data centers nécessitent la mobilisation de nombreuses compétences en R&D dans les logiciels, les capteurs, les systèmes thermiques... Ainsi, de tels projets pourraient être déclinés soit au sein des centres de recherche pluridisciplinaires, soit au travers de projets mobilisant des centres de recherche aux compétences complémentaires. De tels projets pourraient émerger d'une réflexion et d'une animation commune entre 3 alliances : ANCRE pour la partie « énergie », ALLISTENE pour la partie « numérique » et ATHENA pour la partie « usages ».**

## SOURCES D'INFORMATION

1. *Pollution & the internet*, New York Times, 23 sept. 2012
2. *The Natural Resources Defense Council*, 6 fev. 2016
3. *Vinci Energies* 2016
4. *DOE, Best practices guide for energy efficient data center*, 2011
5. *Orange*, dossier de presse 2012
6. *Optimal power allocation in server farms in proceedings of sigmetrics*, 2009
7. *Etude de cabinet Research 421 citée dans Silicon.fr* en 2015
8. *Mc. Kinsey*, 2016
9. « *Data center* » : le nécessaire virage de l'efficacité énergétique, 2016
10. *Actu-Environnement*, 2015
11. *The economic impact of Google's data centre in Belgium* Copenhagen Economics, 2015
12. *Data center knowledge, Survey: Industry Average Data Center PUE Stays Nearly Flat Over Four Years*
13. *Europe Campos Survey Results*, 2013
14. *A review of data center cooling technology operating conditions and the corresponding low-grade heat recovery opportunities*, 2014
15. *10 Facts You Didn't Know About Server Farms*, Cloudyn,. 2014
16. *Facebook : un data center dans le vent*, itespresso, 2015
17. *Le nombre de données numériques va exploser*, Le Figaro, 2014
18. *Dessalement par osmose inverse Analyse financière ; Lenntech* 2016
19. *Extrait de l'article La consommation d'eau des data centers en Californie pose problème*, Slate, 2015
20. *Notre objectif: concevoir des centres de données efficaces ;* 2016
21. *Berkeley Lab Data Center Energy Efficiency Research ;* 2016
22. *Evaluating the Opportunity for DC Power in the Data Center*, Emerson, 2010
23. *Neil Rasmussen, Sr. Vice President of Innovation, APC Power in DC power in the data center: A viable option? Published in Searchdata center*, 2010
24. *The 21st Century Data Center: An overview*, ZD Net, 2013
25. *Data center, un nouveau mode de chauffage ?* Solucom, 2012
26. *RFI*, 2103
27. *Data center as a Computer : une plongée dans les data centers des acteurs du cloud*, 2011
28. *Facebook Data Centers: Huge Scale at Low Power Density*, 2016
29. *Schneider Electric, Livre blanc 42, 10 solutions de refroidissement pour prendre en charge le déploiement de serveurs haute densité, révision 4, non daté (mais récent probablement, ~2015)*
30. *Du courant électrique sans émission de chaleur grâce à un nouveau semi-conducteur*, Techniques de l'ingénieur, 2009 ; (de nombreux autres travaux de recherche sont menés sur ce sujet)
31. *ENTRA: des logiciels conçus pour diminuer la consommation électrique des ordinateurs*, 2014
32. *Cooling Capacity Factor (CCF) Reveals Stranded Capacity and Data Center Cost Savings*, Data center knowledge, 2013
33. *Rise of Direct Liquid Cooling in Data Centers Likely Inevitable*, 2014
34. *A new European Commission-funded project aims to tackle the energy-efficiency implications of increasing investment in new data centers*, 2012
35. <http://news.microsoft.com/natick/>; 2016
36. *Current status & futures trends in Data center cooling technologies*, Heat transfer engineering, 2015
37. *Stimergy invente le data center chaudière numérique*, cleantechrepublic, 2015
38. *Optimisation énergétique de data centers par utilisation de liquides pour le refroidissement des baies informatiques*, Université de Bretagne, 2016
39. *Cooling energy hungry data centers*, Science, 2010

40. *10 Ways Data Centers Are Becoming Greener* ; Gigaom ; 2011 et *Spray Cooling Heat Transfer – Test and CFD Analysis* ; electronic cooling ; 2012
41. *Quelques faits et chiffres sur les centres de données de Google* ; Digora ; 2014
42. *Comme Apple, Google voudrait son propre processeur* ; Igen ; 2015
43. *Processeurs : la fin de la loi de Moore... et le début de l'incertitude* ; Silicon ; 2016
44. *Cooling post* ; referring to Universtiy of Leeds – Institute of thermofluids ; 2016
45. *Seminar: "Data Centre Cooling – minimising environmental impact"* by Joint Institute of Refrigeration and CIBSE Regional Event ; 2016
46. *Natural Refrigerants in Data Center Cooling with Thermosiphon Application* ; KTH Royal Institute of Technology in Stockholm ; 2016
47. *Mixed boundary value problems in curvilinear domains relevant to microfluidic cooling using biomimetic structured surfaces* ; imperial college ; 2016
48. *Saving Water with Sandia's New Datacenter Cooling Technology* ; 2016
49. *Datacenter frontiers* ; Warm Water Cooling for Open Compute ; 2016
50. *Dell announces Triton data center cooling solutions used by eBay* ; 2016
51. *Fujitsu to Showcase Data Center Transformation Solutions for IoT, eCommerce and In-Memory Computing at Oracle OpenWorld 2016*
52. *Refroidissement d'un composant électronique par immersion dans un fluide diélectrique* ; Laboratoire d'ingénierie des matériaux de Bretagne et Orange Labs ; 2016
53. *Intel et SGI testent l'immersion liquide pour refroidir les serveurs* ; Le Monde Informatique ; 2016
54. *Rise of Direct Liquid Cooling in Data Centers Likely Inevitable* ; datacenter knowledge ; 2014
55. *Facebook throws servers on their back in hot tubs of oil* ; The Register ; 2013
56. *News & events* ; Cool IT Systems ; 2015
57. *BitFury to Launch Energy Efficient Immersion Cooling Data Center* ; business wire ; 2015
58. *ASETEK - Q4 2015: Growth, Profitability and Emerging Data Center Business* ; FinanzNachricthen ; 2015
59. *Towards Development of a Passive Datacenter Cooling Technology: On-Server Thermosyphon Cooling Loop under Dynamic Workload* ; JB. Marcinichen, S. Szczukiewicz, N. Lamaison, JR. Thome Laboratory of Heat and Mass Transfer of École Polytechnique Fédérale de Lausanne ; 2014
60. *Iceotope* ; Liquid Cooled Server Rack ; 2009
61. *Iceotope lève 10 millions de dollars* ; GreenIT ; 2014
62. <http://www.iceotope.com/company/about-iceotope/> ; 2016
63. « *Data center* » : le nécessaire virage de l'efficience énergétique, Les Echos, 2016

# Enjeux et technologies de refroidissement des Data Centers

*Les chiffres et les faits présentés dans ce document sont issus d'études et de propos d'acteurs référents de l'industrie des data centers. Si ces chiffres sont parfois différents d'un rapport à l'autre, les ordres de grandeurs sont les mêmes et les fourchettes dans lesquels ils s'inscrivent permettent d'argumenter les analyses produites d'une manière cohérente.*

Consortium de Valorisation Thématique ANCRE



Alliance Nationale de coordination de la Recherche pour l'Énergie  
**CVT - Consortium de Valorisation Thématique**

**CONTEXTE DE LA MISSION ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE**

**LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS ET  
LES 5 ENSEMBLES DE TECHNOLOGIES ASSOCIÉS**

**DES ÉCHOS DE LEADERS DU SECTEUR ET L'IMPOSSIBILITÉ DE  
PRIVILÉGIER UNE PISTE TECHNOLOGIQUE PLUTÔT QU'UNE AUTRE**

**VALEUR AJOUTÉE DE L'ÉTUDE ET  
PROPOSITION DE FEUILLE DE ROUTE DE R&D À DEUX NIVEAUX**

➤ Le CVT ANCRE a décidé de se pencher sur les technologies de refroidissement des data centers

**Un article « choc » publié en juin 2015 justifie pleinement l'attention que le CVT ANCRE porte à la problématique du refroidissement des data centers\***

- « On n'y pense pas forcément mais chaque vidéo sur YouTube, statut posté sur Facebook, recherche sur Google a une conséquence sur l'environnement. Comme l'expliquait F.Bordage, de GreenIT.fr en mars 2014, les ~44 millions de data centers du monde représentent une consommation électrique annuelle d'environ 300 TWh, soit environ les 2/3 de la consommation électrique et 50 % des émissions de GES de la France ».
- « La quasi-totalité de la puissance consommée par les équipements informatiques (serveurs, stockage et réseau) est alors convertie en puissance thermique par effet Joule nécessitant de fait un système de refroidissement important pour dissiper la chaleur dégagée. A titre d'exemple, le Wall Street Journal indique que certains data centers ont également besoin de grandes quantités d'eau pour que les systèmes d'air conditionné puissent refroidir les serveurs. Ainsi, en Californie, ce sont plus de 800 data centers qu'il faut refroidir en utilisant l'équivalent de 158 000 piscines olympiques par an remplies avec de l'eau traitée comme pour les restaurants et les hôtels. Le problème, c'est qu'en ce moment la Californie est frappée par une grande sécheresse... ».

\*. Extraits simplifiés ou explicités issus de l'article publié dans le magazine Slate de juin 2015

- **Les analyses ont été conduites sur la base de nombreux documents et rapports, de données bibliométriques et de quelques entretiens avec des leaders représentatifs de l'industrie des data centers**

**Rapports, articles et documents écrits**



- Plus de 60 documents ont été exploités, la plupart publiés lors des 2 dernières années
- Sources : NewYork Times, Le Figaro, Mc Kinsey, Science, École Polytechnique Fédérale de Lausanne...

**Données bibliométriques**



- Exploitation de la base de données SCOPUS pour éclairer une demande particulière sur le « refroidissement liquide »

**4 entretiens en plus des nombreux témoignages relevés sur le web**



- Bertrand HUDZIA, VP Research & Development, OVH
- Damien Giroud, Directeur France Solutions Datacenter & Secure Business, Schneider Electric
- Francois SALOMON, France Cooling Business Developer, Schneider Electric
- Eric Arbaretaz, Directeur commercial Cofely Data Center Engineering, ENGIE Cofely France

**CONTEXTE DE LA MISSION ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE**

**LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS ET  
LES 5 ENSEMBLES DE TECHNOLOGIES ASSOCIÉS**

**DES ÉCHOS DE LEADERS DU SECTEUR ET L'IMPOSSIBILITÉ DE  
PRIVILÉGIER UNE PISTE TECHNOLOGIQUE PLUTÔT QU'UNE AUTRE**

**VALEUR AJOUTÉE DE L'ÉTUDE ET  
PROPOSITION DE FEUILLE DE ROUTE DE R&D À DEUX NIVEAUX**

- **Un data center est un espace dédié au stockage et au traitement de données ; c'est aussi un système complexe, tant du point de vue informatique que du point de vue énergétique**

### **INFORMATIQUEMENT COMPLEXE**

- Des processeurs et des mémoires y sont regroupés sur des cartes serveurs agencées au sein de baies (Rack) mises en réseaux
- Un data center est ainsi composé de quelques baies à plusieurs milliers, connectées au réseau internet par fibre optique

### **ENERGÉTIQUEMENT COMPLEXE**

- Alimenté en électricité d'origine nucléaire ou autre par des arrivées Haute Tension, couplées à des groupes électrogènes (*utilisés lors de pannes de courant*)
- Haute Tension convertie en Basse Tension par des équipements spéciaux
- Aussi présents : des onduleurs, des alimentations d'armoires informatiques et d'autres systèmes électriques

- **L'efficacité énergétique des data centers est un enjeu considérable du point de vue économique, ce d'autant qu'ils sont promis à un très fort développement dans les années à venir**

**Un data center est énergivore**



- Les deux derniers data centers construits par facebook nécessitent une puissance d'alimentation de 138 MW
- Aux États-Unis, certains auraient une consommation électrique équivalente à celle de Strasbourg ou Bordeaux

**... et il y en a tout un parc**



- En 2012, il était estimé qu'ils consommaient 2 % de l'électricité aux USA et 1,3 % de l'électricité dans le monde
- D'après d'autres sources on leur doit aujourd'hui, 4 % de la consommation électrique mondiale et 2 % des émissions carbone

**... et la révolution digitale va aggraver la situation**



- « La nouvelle ère, c'est la mondialisation des données » ; L'univers numérique devrait peser 44.000 milliards de GO en 2020, soit 10 fois plus qu'en 2013 (*Mc Kinsey et Le Figaro, 2016*)
- La demande énergétique liée aux data centers pourrait croître dans les années à venir de 5 à 20 % par an selon les études

- L'énergie utilisée dans les data centers constitue un poste de coût très important et produit beaucoup de chaleur, qui doit *in fine* être évacuée au travers d'équipements de climatisation énergivores : « c'est le serpent qui se mord la queue... »

### L'ÉNERGIE DANS LES DATA CENTERS

=

### DES COÛTS IMPORTANTS

*30 à 50 % des coûts d'exploitation (même niveau qu'une usine de désalinisation d'eau de mer par osmose inverse ; ~40 %)*

+

### UNE IMPORTANTE PRODUCTION DE CHALEUR



**On consomme souvent plus d'énergie pour refroidir le DC que pour en faire fonctionner les équipements informatiques !**



*Le PUE : ratio « énergie totale consommée (refroidissement, éclairage, informatique...) / énergie consommée par les équipements informatiques »  
PUE moyen compris entre 1,7 et 2,5*

➤ **La problématique du refroidissement est cruciale**

- **IL FAUT ÉVITER LA SURCHAUFFE DU MATÉRIEL INFORMATIQUE** : *baisse de performances et pannes si  $T^{\circ}\text{C}$  des disques  $> 45^{\circ}\text{C}$  ou  $60^{\circ}\text{C}$  et  $T^{\circ}\text{C}$  des processeurs et des mémoires  $> 85^{\circ}\text{C}$*
- **ALORS QUE CELUI-CI DÉGAGE DE PLUS EN PLUS DE CHALEUR** : *La densité de puissance des serveurs pourrait passer de  $8 \text{ kW/m}^2$  à  $15 \text{ kW/m}^2$  de 2013 à 2018*
- **A DE RARES EXCEPTIONS PRÈS, IL N'Y A PAS DE VALORISATION ÉCONOMIQUE OU D'USAGE DE CETTE CHALEUR** : *c'est une perte sèche pour l'exploitant*
- **L'ÂGE MOYEN DES DATA CENTERS EST DE 9 ANS** : *la problématique de la gestion de la chaleur aura des conséquences négatives pendant longtemps si elle n'est pas gérée intelligemment dès la conception*

**« Nous avons économisé 1 Mds\$ depuis que nous regardons la problématique du refroidissement. Tous les 12/18 mois, nous renouvelons, notre conception des systèmes de refroidissement »**  
(J. Kava, VP opérations DC, Google, 2016)

- Il faut dès lors étudier 5 ensembles d'innovation pour appréhender la problématique « refroidissement / valorisation de la chaleur dissipée »

- 1** LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE ET LES ÉQUIPEMENTS ASSOCIÉS
- 2** LES COMPOSANTS INFORMATIQUES DES DATA CENTERS ET LES APPLICATIONS SUPPORTÉES
- 3** L'URBANISATION ET L'EXPLOITATION DE LA SALLE INFORMATIQUE
- 4** LES TECHNOLOGIES DE REFROIDISSEMENT
- 5** LES TECHNOLOGIES DE VALORISATION DE LA CHALEUR DISSIPÉE

➤ Ces ensembles recouvrent une myriade de technologies\*

1 LE RÉSEAU ÉLECTRIQUE ET LES ÉQUIPEMENTS ASSOCIÉS

2 LES COMPOSANTS INFORMATIQUES DES DATA CENTERS ET LES APPLICATIONS SUPPORTÉES

3 L'URBANISATION ET L'EXPLOITATION DE LA SALLE INFORMATIQUE

4 LES TECHNOLOGIES DE REFROIDISSEMENT

5 LES TECHNOLOGIES DE VALORISATION DE LA CHALEUR DISSIPÉE

~30 (familles de) technologies recensées dans l'étude

- Matériaux pour l'optimisation du rendement lors des conversions AC / DC
- Développement de matériaux pour des composants informatiques moins consommateurs d'énergie
- Matériel informatique supportant des températures plus élevées avec le même niveau de performance
- Développement d'outils indiquant aux programmeurs l'énergie utilisée par leur programme
- Désagrégation des composants informatiques : serveurs, mémoires et disques
- Mise en place d'une allocation dynamique des ressources informatiques au travers d'algorithmes permettant de distribuer les processus dans un DC ou au cours du temps
- Systèmes de refroidissement diphasiques optimisés
- Microcircuits de refroidissement liquide
- Refroidissement par immersion : plonger les composants informatiques dans un liquide non conducteur...

\*. Les technologies pour la valorisation de la chaleur sont celles permettant la récupération de chaleur à basse température : cycle Rankine, cycle Kalina, Thermoélectricité (effet Seebeck), cycle à absorption, cycles hybrides et moteurs à combustion externe. Elles ont été étudiées par le Ministère de l'industrie dans son étude « technologies clés 2020 » et n'ont pas été creusées plus en détail dans notre étude

**CONTEXTE DE LA MISSION ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE**

**LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS ET  
LES 5 ENSEMBLES DE TECHNOLOGIES ASSOCIÉS**

**DES ÉCHOS DE LEADERS DU SECTEUR ET L'IMPOSSIBILITÉ DE  
PRIVILÉGIER UNE PISTE TECHNOLOGIQUE PLUTÔT QU'UNE AUTRE**

**VALEUR AJOUTÉE DE L'ÉTUDE ET  
PROPOSITION DE FEUILLE DE ROUTE DE R&D À DEUX NIVEAUX**

- Bien qu'en théorie incontournable, la problématique du refroidissement des data centers n'apparaît pas comme cruciale pour la majorité des acteurs

**« Les rares vertueux »  
GAFAs et géants des télécoms**

- Google, Facebook, Amazon ou Apple forment un monde à part. La taille de leurs DC et de leur parc font que les enjeux financiers et d'image liés au refroidissement sont prioritaires
- Quelques grands opérateurs télécoms ou hébergeurs suivent leur voie, sans piocher tout à fait dans les mêmes technologies : aucun d'entre eux par exemple n'a accès aux mêmes outils d'intelligence artificielle que Google...

**« la majorité silencieuse »  
La majorité des exploitants de DC**

**La plupart des DC ont une infrastructure simpliste pour le refroidissement car c'est un facteur impactant peu les opérations :**

- « Les DSI ne paient pas souvent la facture énergétique des infrastructures opérées »
- « La notion de sécurité prime sur tout le reste, cela conduit souvent à des redondances abusives en terme de climatisation, d'onduleurs... »
- « Les fonctions d'économie d'énergie ne sont pas toujours qualifiées dans les procédures, elles ne sont donc pas toujours activées »
- « On est loin d'une prise en compte systématique de la problématique du refroidissement ; je ne serai pas surpris si on me disait que le ministère des finances avait 200 data centers et que chacun était sous utilisé »

- Il est manifeste que les considérations sur le refroidissement n'ont de sens qu'au regard d'une réflexion élargie à l'exploitation opérationnelle et financière du data center qui prime sur tout le reste

*« Connecter un data center à un réseau de chaleur, c'est d'abord brancher un réseau IT à un autre réseau. C'est une hypothèse que réfutent certains acteurs à qui cela pose des problèmes de sécurité, même si cette réflexion n'est pas complètement fondée ».*

*« On regarde les solutions qui permettraient de passer nos data centers en courant continu. Mais, outre le fait que les grands équipementiers ne proposent pas tout le matériel nécessaire pour ce mode de fonctionnement, nous voyons bien qu'un tel choix aurait aussi des répercussions dans nos relations avec les assureurs qui n'en n'ont pas l'habitude ».*

*« Les stratégies de refroidissement ont de fortes répercussions sur les opérations. Ainsi l'immersion s'accompagne de complexité pour la maintenance, prend de la place au sol, requiert une architecture de baie spéciale... Si elle est intéressante pour refroidir, elle ne l'est pas pour le coût de location du bâtiment, le coût de développement, le coût de maintenance... »*

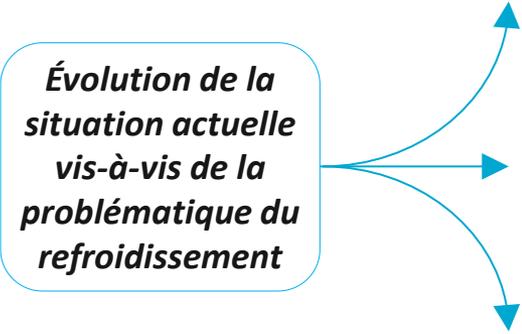
- À terme, la dynamique insufflée par les usages du numérique pourrait remodeler significativement cette industrie et impacter lourdement les stratégies de refroidissement

### LA STRATÉGIE VIENT DES PUCES

De grands opérateurs conçoivent leurs propres puces du fait des dérives vis-à-vis de la loi de Moore et du développement de matériel non optimisé pour les DC ; cela impacte les stratégies de refroidissement :

- « Les gros processeurs généralistes vont- ils perdurer ? il faut les refroidir à l'eau... »
- « Des processeurs spécialisés, à l'image des GPU, vont- ils se développer pour les data centers ? On pourrait alors les refroidir à l'air ou différemment des premiers »

*Évolution de la situation actuelle vis-à-vis de la problématique du refroidissement*



### LA STRATÉGIE EST INCRÉMENTALE

« business as usual » : *free cooling* d'abord, puis cohabitation de solutions technologiques à combiner selon l'attention portée au refroidissement.

### LA STRATÉGIE VIENT DE L'INFRASTRUCTURE

Fin des data centers protéiformes au profit d'une infrastructure en couche : quelques dizaines de très gros data centers répartis de par le monde, connectés à des centaines de data centers régionaux plus petits, etc...

- Structurant pour les technologies de refroidissement
- ... et la potentielle valorisation de la chaleur dégagée car il est plus plausible de connecter un data center alimenté par 500 kW ou 1MW pour du chauffage urbain et de la climatisation que de le faire avec un data center alimenté par 20 ou 30 MW

**« THERE IS NO ONE-SIZE-FITS-ALL MODEL »**  
(J. Kava, VP opérations DC, Google, 2016).



- Il est délicat d'identifier des technologies de refroidissement ou de valorisation de la chaleur dégagée sur lesquelles travailler en priorité
- Il convient de considérer l'ensemble des approches présentées précédemment pour en établir à chaque fois la combinaison unique convenant le mieux à la diversité opérationnelle : *« data center loué ou en propriété, conçu par l'exploitant ou par un tiers, de telle ou telle capacité, localisé en Scandinavie ou en banlieue parisienne, isolé ou intégré dans un projet d'urbanisme... »*

**CONTEXTE DE LA MISSION ET MÉTHODOLOGIE DE L'ÉTUDE**

**LA PROBLÉMATIQUE DU REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS ET  
LES 5 ENSEMBLES DE TECHNOLOGIES ASSOCIÉS**

**DES ÉCHOS DE LEADERS DU SECTEUR ET L'IMPOSSIBILITÉ DE  
PRIVILÉGIER UNE PISTE TECHNOLOGIQUE PLUTÔT QU'UNE AUTRE**

**PROPOSITION DE FEUILLE DE ROUTE DE R&D À DEUX NIVEAUX  
ET VALEUR AJOUTÉE DE L'ÉTUDE**

- **Est-il pertinent de lancer un programme de recherche lié au refroidissement des data centers ?**  
Oui, tout en étant mesuré dans cette action car la problématique du refroidissement des data centers ne relève pas, pour l'heure, d'un ou de quelques verrous technologiques clairement identifiés et qu'il existe d'autres leviers qui pourraient être actionnés et produire des effets importants.

*Impact relatif des leviers à actionner pour traiter la problématique du refroidissement des data centers*

**FAIRE EN SORTE QUE TOUS LES ACTEURS DU  
DOMAINE Y ACCORDENT DE L'ATTENTION**

**FORT**

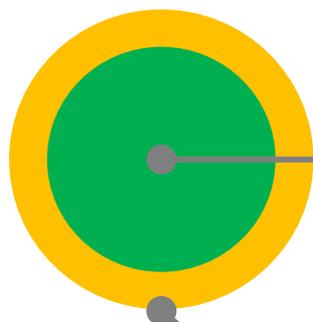
**COMBINER JUDICIEUSEMENT LES NOMBREUSES  
SOLUTIONS TECHNOLOGIQUES DÉJÀ EXISTANTES**

**FORT**

**OPTIMISER ET DÉVELOPPER DES SOLUTIONS AU  
TRAVERS DE PROJETS DE R&D**

**MOYEN**

- **Si un programme de R&D devait être lancé, quel format pourrait-il revêtir ?**  
Celui d'un programme à deux niveaux.



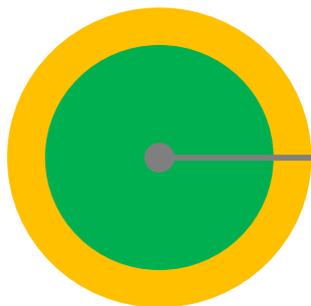
**Un cœur pour des projets dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement des data centers**

*Modéliser d'un point de vue énergétique d'abord, économique et opérationnel ensuite, chaque data center, l'impact d'une solution mise en œuvre et l'impact que peuvent avoir les multiples combinaisons de ces solutions.*

**Un niveau périphérique pour des projets en lien avec l'une des multiples solutions identifiées et déclinant spécifiquement leurs travaux à l'environnement des data centers**

*Des ponts pourraient alors être construits avec des applications demandeuses de développements technologiques proches : les échangeurs de chaleur par exemple pour la texturation de surface. Des thèmes traités au sein d'autres programmes de R&D pourraient ainsi trouver une résonance dans un programme « Data Center » et réciproquement.*

- **Quelles déclinaisons une telle feuille de route pourrait-elle trouver en France ?**
- **Soutenir des projets « cœurs » dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement des data centers nécessite de mobiliser de nombreuses compétences en R&D dans les logiciels, les capteurs, les systèmes thermiques... Ainsi, de tels projets pourraient être déclinés :**
  - **Au sein des centres de recherche pluridisciplinaires**
  - **Au travers de projets mobilisant des centres de recherche aux compétences complémentaires. De tels projets pourraient émerger d'une réflexion et d'une animation commune entre 3 alliances : ANCRE pour la partie « énergie », ALLISTENE pour la partie « numérique » et ATHENA pour la partie « usages ».**



**Un cœur pour des projets dédiés à une approche systémique de la problématique du refroidissement des data centers**

- **Décliné au sein de centres de recherche pluridisciplinaires**
- **Décliné dans le cadre d'une réflexion commune ANCRE + ALLISTENE + ATHENA**

## VALEUR AJOUTÉE DE L'ÉTUDE

1

**LA SEULE ÉTUDE QUI DONNE LE PANORAMA DES SOLUTIONS POUR LE REFROIDISSEMENT DES DATA CENTERS : DES ÉQUIPEMENTS DE CLIMATISATION AUX LOGICIELS EN PASSANT PAR LES COMPOSANTS ÉLECTRONIQUES**

2

**TIENT COMPTE DES OPINIONS DE LEADERS POSITIONNÉS SUR DIFFÉRENTS MAILLONS DE LA CHÂÎNE DE VALEUR DES DATA CENTERS : ÉNERGÉTICIENS-CONCEPTEURS DE DATA CENTERS, ÉQUIPEMENTIERS ET EXPLOITANTS**

3

**MET EN LUMIÈRE QU'IL N'Y A PAS DE SOLUTION UNIQUE ET QU'IL VAUT MIEUX CONSIDÉRER UNE COMBINAISON DE SOLUTION SPÉCIFIQUE À CHAQUE DATA CENTER**

4

**ESQUISSE UNE FEUILLE DE ROUTE R&D EN COHÉRENCE AVEC LES BESOINS RÉELS DU SECTEUR ET LES PRATIQUES EN VIGUEUR**



Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie  
**CVT - Consortium de Valorisation Thématique**