

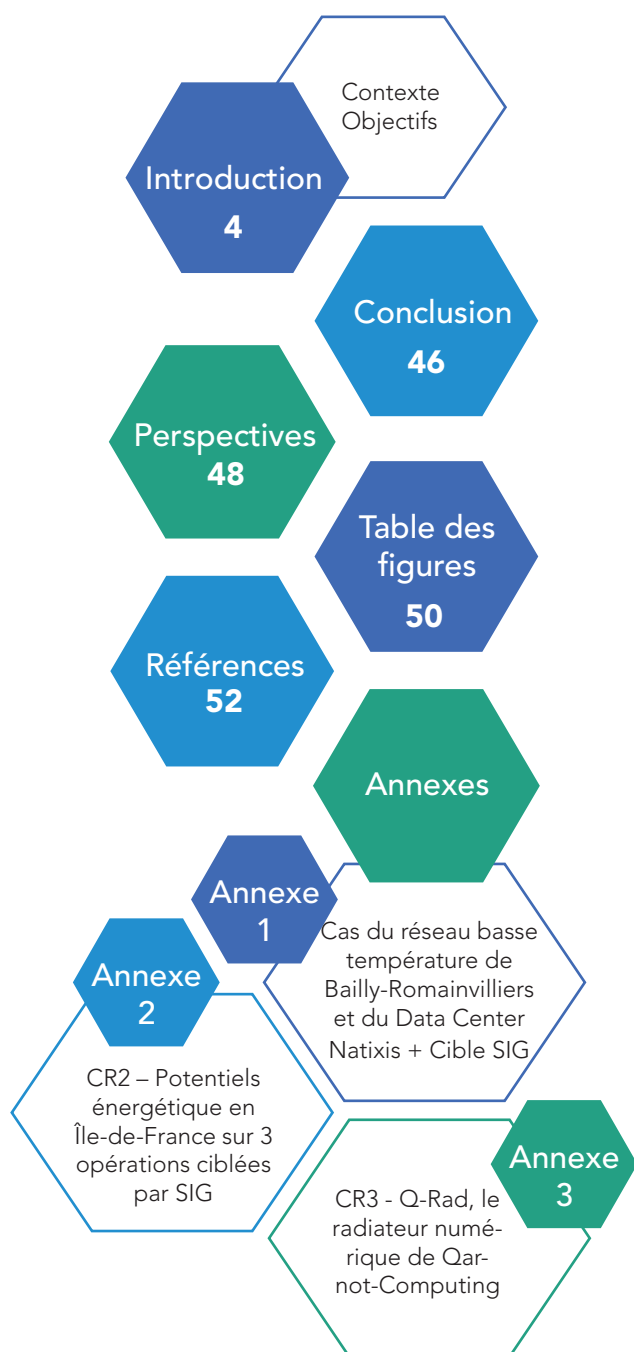
Data Center État des lieux

Florence DE CARLAN
Thierry GUIOT
Jean-Christophe LEONARD
Gennaro CASTAGNA



Janvier 2017

Table des matières



1 DATA CENTER, LES GENERALITES

1.1	Caractérisation d'un Data Center.....	6
1.1.1	Quelques chiffres.....	6
1.1.2	Typologie.....	7
1.1.3	Niveau TIER.....	7
1.1.4	Le PUE (Power Usage Effectiveness).....	8
1.2	Visites de Data Centers.....	9
1.3	Technologie de Climatisation.....	10
1.3.1	Système de production par groupe froid eau-eau.....	10
1.3.2	Système de production par groupe froid air-eau.....	11
1.3.3	Système à détente directe.....	12
1.3.4	Système à base de Free-Cooling.....	13
1.4	Cas n°1 : un Data Center d'Entreprise (15 500 m ²).....	14
1.4.1	Présentation du Data Center.....	15
1.4.2	Les surfaces et les fonctionnalités....	15
1.4.3	Les salles serveurs.....	16
1.4.4	Les installations techniques.....	18
1.4.5	Les consommations.....	19
1.4.6	Performance des systèmes de production de froid.....	22
1.4.7	Energie récupérable.....	23
1.5	Cas n°2 : un Data Center d'Entreprise (1 300 m ²) avec Free-Cooling.....	24
1.5.1	Présentation du Data Center.....	24
1.5.2	Principe de refroidissement par Free-Cooling.....	25
1.5.3	Description du mode de fonctionnement du Free-Cooling.....	26

2 LA RECUPERATION D'ENERGIE FATALE

2.1	La chaleur fatale	28
2.1.1	Principe d'énergie récupérable sur un groupe frigorifique	28
2.1.2	Caractérisation de la chaleur fatale	29
2.1.3	Décomposition du principe d'estimation d'énergie fatale.....	30
2.1.4	Algorithme de détermination du potentiel d'énergie récupérable sur un Data Center.....	31
2.1.5	Accroissement du potentiel d'énergie récupérable.....	32
2.2	Récupération de l'énergie fatale d'un Data Center sur un réseau de chaleur.....	33
2.2.1	Data Center NATIXIS.....	33
2.2.2	Centre Aquatique.....	34
2.2.3	Pépinière d'entreprises.....	34
2.2.4	La chaufferie Dalkia.....	34
2.2.5	Principe du système.....	34
2.2.6	Quelques résultats.....	35
2.3	L'énergie fatale nouvelle génération.....	36
2.3.1	Le radiateur numérique.....	36
2.3.2	L'Eau Chaude Sanitaire numérique.....	38

3 ETUDE D'OPPORTUNITE SUR L'EXPLOITATION DE L'ENERGIE FATALE RECUPEREE AUPRES DES DATA CENTERS

3.1.1	Ciblage SIG du couple Data Center / Réseaux de chaleur en Île-de-France ...	40
3.1.2	Potentielle du couple Data Center Réseau de chaleur en Île-de-France	41
3.1.3	Ciblage SIG du couple Data Center / Piscine en France	42
3.1.4	Pompe à chaleur Haute Température (PAC HT)	43





Introduction



Contexte

L'institut Efficacy [1], porte un programme de recherche sur la performance énergétique des villes de demain. Six industriels, 7 ingénieristes et 15 structures académiques conjuguent ainsi leurs efforts pour réduire l'empreinte carbone de la ville à ses différentes échelles urbaines (bâtiment, quartier, ville).

Efficacy mène six projets de recherche, dont un (projet 2.1) concerne la récupération d'énergie fatale, en milieu urbain. Différentes sources de récupération sont à ce jour étudiées [2]. Citons notamment les incinérateurs, les eaux usées, les blanchisseries, les industries agro-alimentaires, la méthanisation, etc.

Les Data Centers font aussi partie du scope du projet 2.1. En effet, ces bâtiments ont des besoins de rafraîchissement très importants, même en hiver. L'énergie qu'ils rejettent aux condenseurs de leurs groupes froids pourrait, en effet, être valorisée. Il reste cependant à l'évaluer et à savoir comment.

Dans le cas de ce projet, la première étape a été de réaliser une bibliographie de ce qui se dit et se fait autour des Data Centers : revue de presse, études, diverses documentations et publications scientifiques. Cette étape a fait l'objet d'un premier rendu en juillet 2015 : Etat des lieux des ressources de chaleur fatale en milieu urbain.

Objectifs

Compréhension des Data Center

Après la réalisation de l'état de l'art autour des Data Centers, nous nous sommes mis en relation avec des gestionnaires, visités leurs locaux, et échangés avec eux sur la possibilité de faire de la récupération d'énergie. Ces rencontres nous ont permis de mieux comprendre comment est conçu un Data Center, comment il fonctionne, quelle est sa consommation et la répartition de celle-ci, quelles sont les différentes technologies de climatisation et les préoccupations principales du gestionnaire.

Dans un premier temps, l'objectif de ce document est de faire une synthèse et une compilation des différentes données, notamment à travers la description de 2 cas d'études.

A savoir, que l'univers des Data Centers est un lieu hautement sécurisé : sécurité du site, sécurité de fonctionnement, sécurité des données... comme les données obtenues sont confidentielles (hors données diffusées en revue de presse), les résultats sont transcrits de manière anonyme.

Compilation des données

Amélioration et simplification du calcul du potentiel d'énergie fatale

Une première méthode de généralisation de calcul du potentiel d'énergie fatale d'un site Data Center quelconque avait été réalisée et intégrée à l'outil **Recov'Heat [3]** (Outil d'estimation du potentiel de sources d'énergie fatale en milieu urbain, développé à Efficacity). A partir des visites de sites et la synthèse des différents cas, nous présentons une amélioration et une simplification, du calcul du potentiel d'énergie fatale d'un Data Center. Ce nouveau mode de calcul sera intégré à la nouvelle version de l'outil **Recov'Heat**.

En deuxième étape, nous ferons un retour d'expérience, suite à une opportunité de visite, du réseau basse température de Bailly Romainvilliers, dont sa source principale d'énergie est issue de la récupération d'un Data Center, seule opération de ce type en France.

Retour d'expérience

Nouveaux modèles de récupération de chaleur

Ensuite, nous ferons un point sur de nouveaux modèles de récupération de chaleur, qui au lieu de récupérer de la chaleur à la sortie du Data Center, déplacent le Data Center chez l'utilisateur ou en pied d'immeuble.

A partir de ces retours d'expériences, nous nous sommes attachés à étudier l'opportunité d'exploiter l'énergie fatale auprès de Data Centers. Nous nous sommes d'abord concentrés sur la proximité du couple Data Center / Réseaux de chaleur, en utilisant le SIG (Système d'information Géographique), pour pouvoir déterminer les affaires potentielles en île-de-France, avec transfert d'énergie entre les 2 systèmes. Ensuite, fort du retour d'expérience du réseau basse température de Bailly Romainvilliers, nous nous sommes orientés sur le couple Data Center / Piscine, site à forte demande énergétique

Opportunité d'exploiter l'énergie fatale

Relever la température de récupération à partir de PCHT

Dans les des paragraphes précédents, le couple Data Center (avec des températures de récupération de 35°C) / Réseau de chaleur existant (avec des températures de 80 à 110°C) présente une différence importante de température. Pour pouvoir utiliser le vecteur réseau de chaleur pour transporter l'énergie récupérable (dans le cadre des réseaux existants), nous faisons un point sur la possibilité de relever cette température de récupération à partir de Pompes à Chaleur Haute Température.



Data Center, les généralités

1.1 Caractérisation d'un Data Center

Un Data Center est un bâtiment, ou partie de bâtiment, intégrant des équipements informatiques. Le matériel installé, des serveurs, des baies de stockage, des systèmes de réseaux et de télécommunications permettent d'échanger, de traiter et de stocker les données quel que soit son origine (particuliers ou entreprises) et sa provenance (pays d'origine ou monde).

«Généralement, un Data Center est caractérisé par l'espace occupé ou dédié aux serveurs.»

Le regroupement d'informations, de données en un seul lieu, avec de multiples clients en fait un site très sensible, d'où la particularité de sécurité des Data Centers, avec une sécurisation du site et des données, de la sensibilité de la disponibilité et de la production... Certains organismes ont mis en place une certification pour les Data Centers, permettant d'évaluer le niveau de sécurité, le niveau de disponibilité.

Généralement, un Data Center est caractérisé par l'espace occupé ou dédié aux serveurs. Les termes utilisés dans la littérature sont variés et peuvent prêter à confusion : salle informatique, salle serveur, salle blanche, salle IT (Informatique Technology)... Dans l'ensemble du document, nous utiliserons, le plus souvent, la dénomination la plus utilisée par les professionnels de l'informatique : la salle IT.

1.1.1 Quelques chiffres...

182

Data Center
en France

42

Data Center
en Ile de France

5 MW

par Data Center

5 MW

par Data Center

Si la définition d'un Data Center est assez simple, par contre, avoir une cartographie complète est très complexe, voire impossible. Le nombre d'acteurs des services de l'informatique est très important et peut être regroupé en 4 familles [4] : les hébergeurs, les opérateurs de télécoms, les entreprises de services numériques et les services de « Cloud Computing ». A cela, il faut ajouter les Data Centers propres ou dédiés aux entreprises et toutes les salles IT intégrées à un bâtiment.

En juin 2016, 3 885 Data Centers de colocation ont été recensés dans 117 pays [5], avec 182 Data Centers en France (dont 26 en construction) [6]. Ce recensement ne présente qu'une catégorie des acteurs du secteur qui sont les hébergeurs de colocation.

Les Data Centers sont réputés comme des locaux très énergivores du fait de leur forte concentration en serveurs, avec des puissances annoncées de 250 à 1 500 W/m²IT. Certains affichent même pouvoir concentrer jusqu'à 3 000 W/m²IT.

Selon RTE (Réseau de Transport de l'Electricité), en 2014 la consommation électrique France des Data Centers [7] représentait 1,4 TWh, soit 1% du secteur tertiaire (ou 0,3% de la consommation électrique France).

Aujourd'hui en Ile-de-France, le RTE dénombre 42 Data Centers raccordés au réseau électrique, ils nécessitent de fortes puissances électriques et le besoin en puissance est de 210 MW [8]. Ce qui correspond à une puissance moyenne appelée de 5 MW par Data Center : cela équivaut à une surface IT d'environ 5 000 m². Si nous nous référons à la « Figure 1 : répartition de la taille de la salle IT (m²) » cela ne représente que 11% du marché (extrapolation d'une enquête US).

La vision du RTE pour 2025 prévoit une augmentation de 36 Data Centers en Ile-de-France, projets connus, soit une augmentation de +86% [8].

1.1.2 Typologie

Le graphe ci-dessous représente un découpage de la typologie des Data Centers par rapport à leurs surfaces IT.

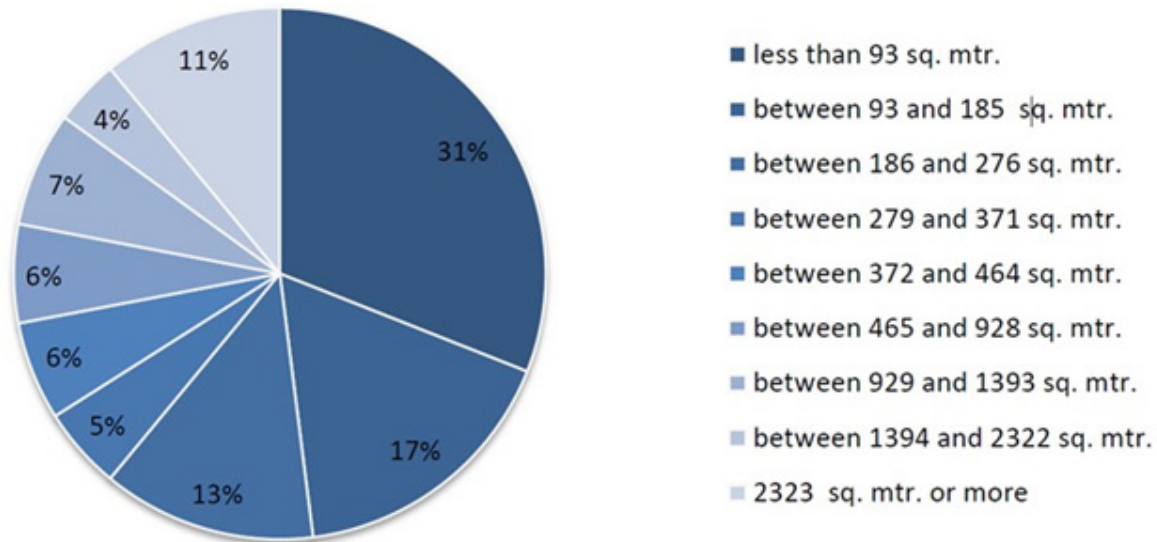


Figure 1 : répartition de la taille de la salle IT (m²)

La taille d'une salle IT varie fortement, suivant qu'elle soit intégrée à un bâtiment (petite salle) ou que ce soit un bâtiment dédié au service de l'informatique [9]. L'enquête¹ réalisée par InformationWeek Analytics [10] fait apparaître que près de 50% des salles IT ont une taille inférieure à 185 m².

1.1.3 Niveau TIER

L'organisme Uptime Institute [11], créé dans les années 90, est un consortium d'entreprises proposant une certification conception, construction et durabilité opérationnelle pour les Data Centers dans le monde. Cette certification est déclinée en 4 niveaux, sous forme de « Tier de I à IV ».

« Tiers » / Catégories	I	II	III	IV
Durée annuelle moyenne d'indisponibilité tolérée	28,8 heures	22 heures	96 minutes	24 minutes
Niveau de redondance	Pas ou peu de redondance	Redondance des équipements importants	Redondance passive des voies d'alimentation* et de refroidissement	Redondance active des voies d'alimentation* et de refroidissement
Maintenance sans indisponibilité	Non	Non	Oui	Oui
Résistance à toute défaillance	Non	Non	Non	Oui**
Densité énergétique permise	≥ 250 Watts/ m²	≥ 500 Watts/m²	≥ 1 000 Watts/m²	≥ 1 500 Watts/m²

* Les « tiers » III et IV requièrent également des générateurs d'électricité redondants, des réserves de carburant et des batteries pour pallier sans interruption et durablement à une défaillance du fournisseur d'électricité.

** La capacité de résistance à toute défaillance du « tier » IV implique que les voies soient physiquement isolées les unes des autres.

Source : CBRE d'après l'Uptime Institute et la norme TIA-942

Figure 2 : Niveaux Tier, source CBRE [12]

¹ Etude réalisée par InformationWeek Analytics [10] au Etats-Unis auprès de 370 gestionnaires de l'informatique.

Figure 2 : Niveaux Tier, source CBRE [12]

- **Tier I** : Pas de redondance, le data center n'a qu'une alimentation électrique et qu'une seule production de froid. Le niveau de disponibilité est de 99,671 %, soit 28,8 h/an d'indisponibilité annuelle moyenne tolérée.
- **Tier II** : Redondance partielle, idem au niveau « I », avec des éléments redondants sur les systèmes critiques (onduleurs, générateurs). Le niveau de disponibilité est de 99,749 %, soit 22 h/an d'indisponibilité annuelle moyenne tolérée.
- **Tier III** : Maintenabilité, idem au niveau « II », avec plusieurs voies d'alimentation et de production de froid. La maintenance peut être effectuée sans arrêt de l'installation. Le niveau de disponibilité est de 99,928 %, soit 96 mn/an d'indisponibilité annuelle moyenne tolérée.
- **Tier IV** : Tolérance aux pannes², le Data Center est conçu avec plusieurs voies actives en parallèle pour l'alimentation et la production de froid. Des éléments d'infrastructure sont doublés. Le niveau de disponibilité est de 99,995 %, soit 24 mn/an d'indisponibilité annuelle moyenne tolérée.

La certification TIER d'un Data Center comporte 2 versions :

1. Tier Certification of Design Documents (TCDD), la certification est obtenue sur la cohérence des documents de construction du Data Center par rapport au niveau des exigences du Tier. Pour exemple, à ce niveau, un Data Center certifié TIER IV sera « TIER IV DESIGN ».

2. Tier Certification of Constructed Facility (TCCF), la certification est obtenue après visite d'un expert Uptime Institute sur site, avec une validation entre documents de conception et réalisation. Cette certification s'obtient après l'obtention du « Tier Certification of Design Documents ». Pour exemple, à ce niveau, un Data Center certifié TIER IV sera « TIER IV FACILITY ».

Uptime Institute a aussi développé une certification sur la gestion, l'exploitation et la maintenance : Opérationnal Sustainability Certification (Tier Opération Gold, Silver ou Bronze).

Sur son site (Octobre 2016), Uptime Institute annonce avoir délivré 805 certifications à travers 79 pays. En France, seulement 3 Data Centers sont certifiés : 1 Data Center en « TIER IV DESIGN » et 2 Data Center en « TIER III DESIGN ».

La plupart des Data Centers rencontrés se positionnent par rapport à cette certification, sans être certifiés.

Le graphe ci-dessus (Figure 2), fait apparaître la notion de densité énergétique par rapport au niveau Tier du Data Center.

1.1.4 Le PUE (Power Usage Effectiveness)

Le PUE (Power Usage Effectiveness) est un indicateur de performance énergétique normalisé mondialement par le Green Grid (consortium industriel rassemblant plus de 500 membres issus du monde de l'informatique).

Depuis Avril 2016, le PUE est devenu un standard international ISO/IEC 30134-2 « Technologies de l'information - Centres de données - Indicateurs de performance clés - Partie 2 : Efficacité dans l'utilisation de la puissance (PUE) ». Cette norme détaille également la méthode de calcul du PUE pour un Data Center utilisant diverses sources d'énergies. Pour un Data Center tout électrique, le PUE se résume à la formule suivante :

$$PUE = \frac{\text{(Consommation énergétique totale du Data Center [kWh])}}{\text{(Consommation énergétique des équipements informatiques [kWh])}}$$

² Méthode de conception d'une installation assurant son fonctionnement, voire en mode dégradée, lorsque l'un ou plusieurs de ses systèmes ou composants ne fonctionnent plus correctement.

La valeur idéale du PUE (mais inatteignable) est de 1. En 2014, dans la revue « énergie plus », il était précisé que le PUE « avoisinait encore 2,5 en moyenne en France il y a quelques années et elle atteint plutôt 1,7 à 2 en moyenne en 2014 ». Ce même article, évoque le cas d'un PUE atteignant 1,3, pour un Data Center refroidi par free-cooling direct.

La caractérisation de la valeur du PUE a ses limites, il ne reflète pas toujours la réalité au sein du Data Center. Dans l'équation du PUE, la « consommation énergétique totale du Data Center » est au numérateur, cela signifie que plus le site aura une sécurité et une disponibilité élevée, cas du Tier IV avec de multiples redondances, plus il va consommer, donc augmenter la valeur du PUE. De même que la valeur du PUE va dépendre du taux de charge de la salle serveur. La Figure 3 ci-dessous reflète l'impact du taux de charge de la salle IT, sur la valeur du PUE.

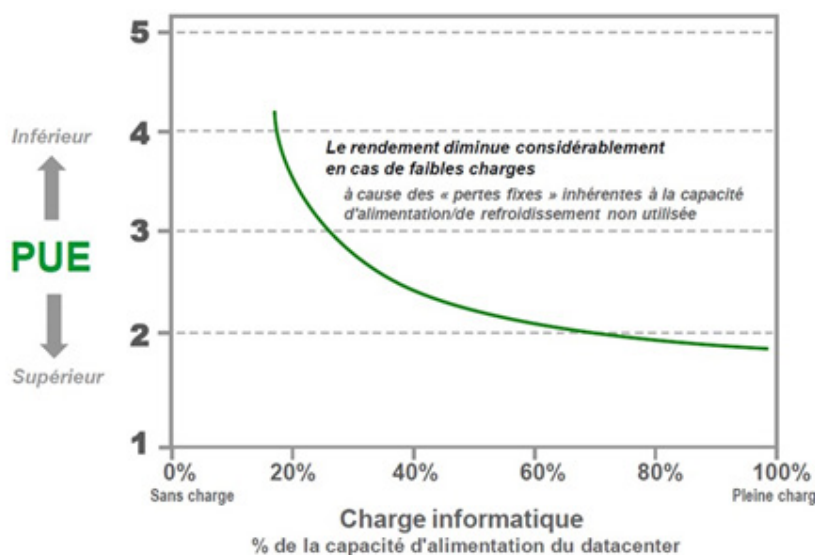


Figure 3 : Courbe d'efficacité type de l'infrastructure d'un Data Center [13]

Cette courbe permet de visualiser l'incidence d'une faible charge de la salle IT sur la consommation du site. Cette variation de charge est en permanence d'actualité dans un Data Center, du fait qu'un Data Center peut mettre plusieurs années à monter en charge : Salle IT construite avec une prévision d'évolution, suivant l'activité (hébergeur, colocation...). De plus, il peut y avoir aussi une variation d'occupation des salles IT...

1.2 Visites de Data Centers

Pour comprendre le fonctionnement et pouvoir évaluer le potentiel de récupération d'énergie fatale, nous sommes allés à la rencontre de plusieurs Data Centers. Ces visites, soit au total 8 Data Centers, nous ont permis de dialoguer avec les responsables. Le scope des sites visités se situe du petit Data Center, apparenté à une salle informatique (moins de 100 m²) à de gros Data Center avec 13 000 m² de salle IT, pour le plus gros.

Leurs fonctionnalités varient suivant leurs domaines d'activités :

- Pour les plus petits, ce sont des Data Centers destinés à la recherche, à des laboratoires, à l'enseignement. Ils permettent de réaliser le traitement des données, ce sont des clusters de calculs.
- Un des Data Center visité est un « Data Center d'entreprise », cela signifie un seul client.
- Pour l'essentiel, ce sont des Data Centers dits de colocation, d'hébergement. Ces sites sont multi-clients et internationaux.

Parmi les 8 sites visités, seul 1 Data Center nous a fourni l'ensemble des données nécessaires (Cf. § 2.4).

Ces visites ont montrées l'importance des données à recueillir pour pouvoir, plus tard, bien estimer le potentiel de récupération d'énergie fatale. Notamment, un point important est la définition entre une surface informatique et une surface serveur, avec une variation de cette définition en fonction de la taille du dît Data Center.

Les données recueillies nous montrent aussi l'importance des puissances mises en jeu, la distinction entre la puissance électrique d'installation et la puissance électrique utile : « la puissance appelée ».

Le dernier point important concerne le système utilisé pour le refroidissement des serveurs. Suivant la technologie utilisée (Cf. § 2.3. Technologie de Climatisation), **il y aura faisabilité ou non de la récupération d'énergie fatale.**

1.3 Technologie de Climatisation

Pour refroidir les salles IT dans les Data Centers, la production de froid est essentiellement à base d'énergie électrique. Dans ce domaine, les systèmes de production principaux rencontrés sont composés d'une production de froid par groupe frigorifique de type eau-eau, air-eau, à détente directe ou par free-cooling.

1.3.1 Système de production par groupe froid eau-eau

Le schéma, « Figure 4 : Schéma de production par Groupe Froid eau-eau », ci-dessous représente très synthétiquement le système de production de froid, avec (de gauche à droite) :

- **L'armoire de climatisation**, qui permet de refroidir, de distribuer le froid dans la salle serveur, généralement par soufflage en faux-plancher et reprise en plafond. Suivant les Data Centers, cette armoire est placée dans la salle serveur ou un local attenant. La consommation électrique de cette armoire de climatisation est représentée uniquement par du ventilateur.

- **Le réseau de distribution de froid**, permet de transférer l'eau glacée entre la production et les appareils terminaux (armoire de climatisation). La température d'eau est généralement de 7°C au départ et de 12°C au retour. La consommation électrique est due à la pompe de circulation (ou les pompes).

- **Le groupe froid eau-eau**, à l'évaporateur, il produit généralement de l'eau glacée à 7°C pour un retour à 12°C. Ce type de groupe est généralement installé en local technique. En sortie de condenseur (rejet de la chaleur) la température est de l'ordre de 32°C, avec un retour de 27°C. La consommation électrique du groupe froid est due aux compresseurs.

- **Le réseau de rejet du chaud**, transfère l'eau chaude en sortie du condenseur vers un système de refroidissement, les aéro-réfrigérants. La consommation électrique est due à la pompe de circulation (ou les pompes).

• **Les aéro-réfrigérants**, permettent d'évacuer, à partir de l'air extérieur, la chaleur issue du condenseur du groupe froid. Ce matériel est installé à l'extérieur, généralement en toiture. Sa consommation électrique est due aux ventilateurs.

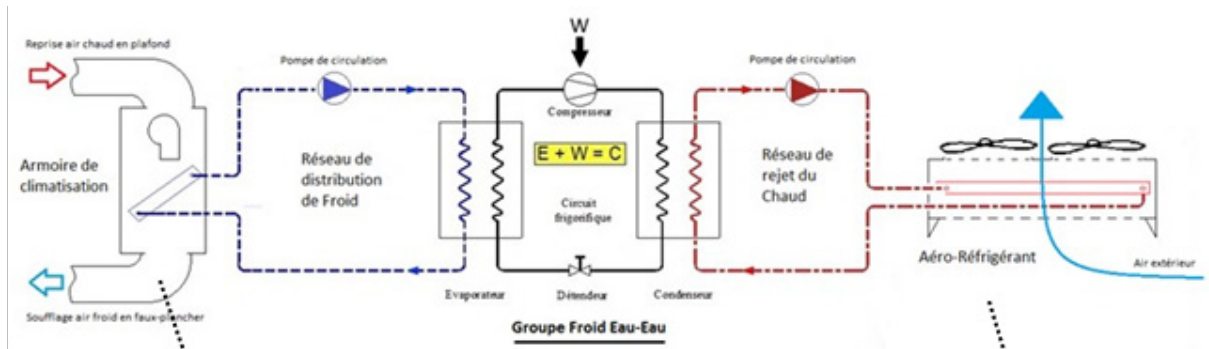


Figure 4 : Schéma de production par Groupe Froid eau-eau

Nota : Dans cette configuration, les Groupes Froids eau-eau sont généralement situés dans un local technique (en sous-sol) et les aéro-réfrigérants positionnés en toiture. Ce système représente le cas idéal pour réaliser de la récupération d'énergie : cas du condenseur à eau (Cf. § 3 La Récupération d'énergie Fatale).

1.3.2 Système de production par groupe froid air-eau

Le schéma, « Figure 5 : Schéma de production par Groupe Froid air-eau », ci-dessous représente très synthétiquement le système de production de froid, avec comme différence par rapport au système précédent la production d'eau glacée par un groupe froid à condensation par air (et non par eau).

Le groupe froid air-eau, à l'évaporateur, comme précédemment, il produit généralement de l'eau glacée à 7°C pour un retour à 12°C. Ce type de groupe est généralement installé à l'extérieur, sur un espace réservé au sol ou en toiture. Le condenseur est directement refroidi par l'air extérieur à partir de ventilateurs. La consommation électrique du groupe froid est due aux compresseurs et aux ventilateurs.

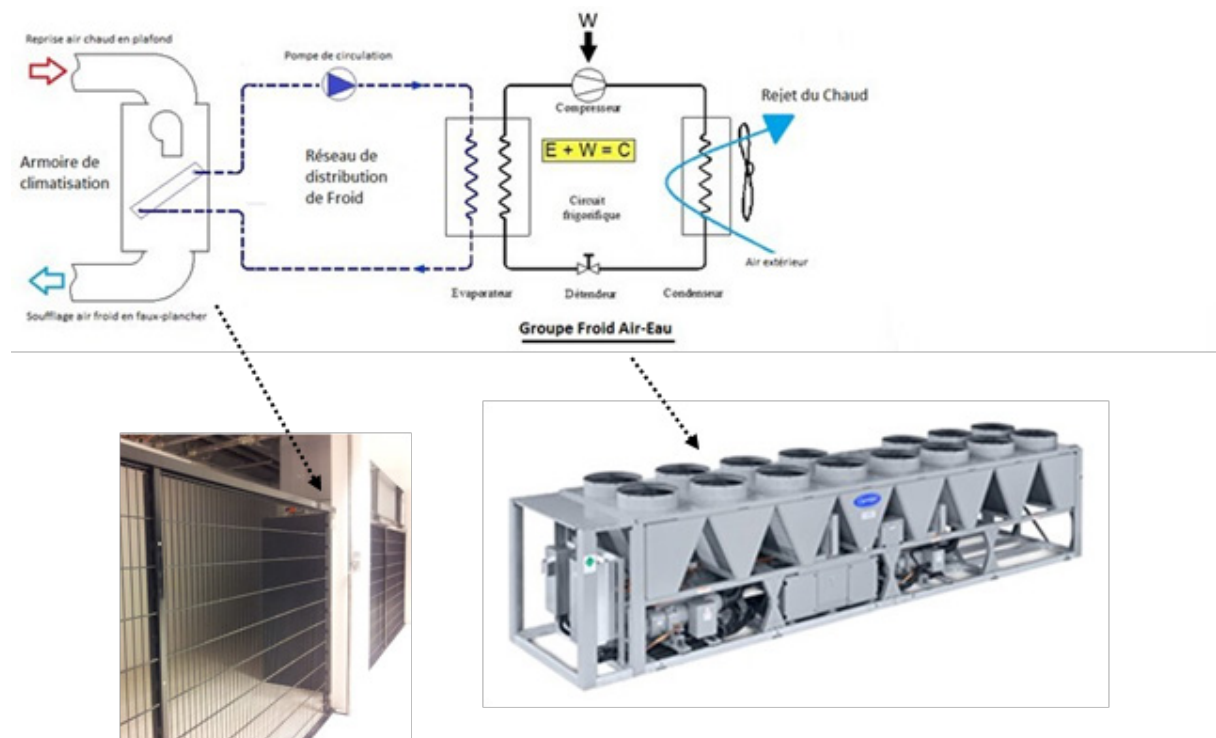


Figure 5 : Schéma de production par Groupe Froid air-eau

Pour des salles IT de petite taille, les armoires de climatisation sont remplacées par des appareils terminaux plus classique, de type ventilo-convecteurs ou cassettes plafonniers.

Nota : Les groupes froid air-eau sont généralement situés en toiture, voir dans une zone technique sur un parking pour les plus petits Data Centers. Cette solution évite la construction d'un local technique. Par contre, pour ce type de groupe, avec condenseur à air, la récupération d'énergie fatale est compliquée, voire impossible :

- Cas du Data Center neuf, il faut prévoir des groupes avec un équipement supplémentaire, un condenseur à eau, soit double condenseur eau et air.
- Cas du Data Center existant, il faut modifier le groupe existant pour ajout un condenseur supplémentaire à eau : problème de faisabilité ?

1.3.3 Système à détente directe

Le schéma, « Figure 6 : Schéma de production par un système à détente directe », ci-dessous représente très synthétiquement le système de production de froid. La particularité de ce système est que l'ensemble de l'installation représente le groupe froid (de gauche à droite) :

- **L'évaporateur est l'unité intérieure.** Il se situe dans la salle serveur et est représenté généralement par des appareils terminaux sous forme de ventilo-convecteurs ou cassettes plafonniers.
- **Le réseau de distribution de froid** correspond ici au réseau frigorifique. La liaison entre l'unité intérieure et l'unité extérieure est constituée de fluide frigorigène.
- **L'unité extérieure,** intègre le détendeur, le compresseur et le condenseur.

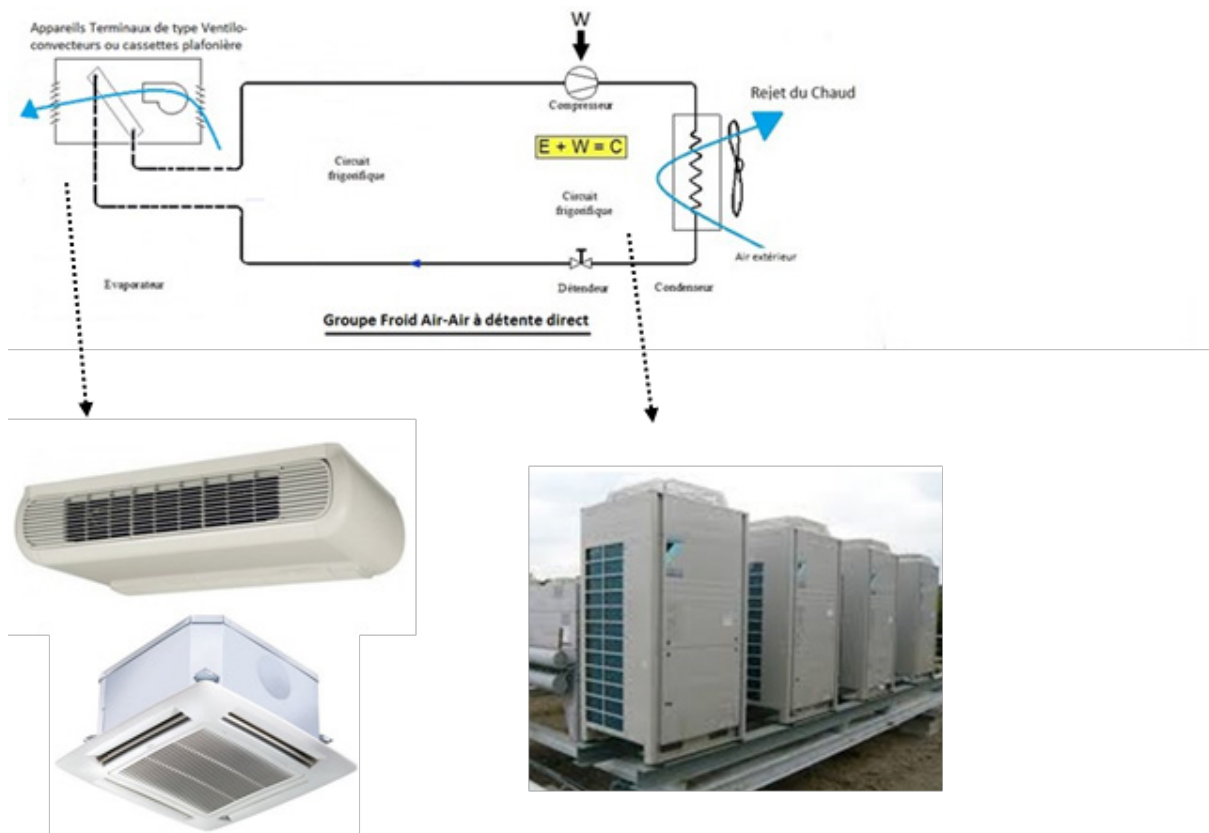


Figure 6 : Schéma de production par un système à détente directe

Ce système est surtout rencontré dans des salles IT de très petites tailles et des Data Centers de type salle informatique intégrés à un bâtiment tertiaire (ex : 1 seul étage d'un bâtiment pour l'informatique).

Nota : Dans ce type de système, la récupération d'énergie n'est pas faisable.

1.3.4 Système à base de Free-Cooling

Le principe du Free-Cooling (ou mode économiseur) est de refroidir un local en utilisant la différence de température entre l'air intérieur et l'air extérieur. Dans ce système, l'hygrométrie de l'air extérieur est surveillée.

Un système de refroidissement fonctionnant en mode Free-Cooling peut représenter une économie de plus de 70% de la consommation annuelle du système de refroidissement, soit une réduction de plus de 15 % sur le PUE annualisé [14].

Pour cela, les principaux systèmes utilisés sont :

- **La Centrale de Traitement d'Air (CTA)**, qui quand les conditions extérieures le permettent, l'air extérieur filtré est directement injecté dans la salle IT. Dans le cas contraire, une batterie à eau, alimentée par un Groupe Froid permet de climatiser. En mode Free-Cooling, la consommation électrique n'est due qu'au ventilateur.

- **Le Groupe froid avec traitement d'air « le Roof-Top » ou « unité de toiture »**, est un groupe froid de type air-air permettant, suivant les conditions intérieures et extérieures, d'injecter directement l'air extérieur dans la salle IT. Dans le cas contraire, le groupe refroidit lui-même l'air à injecter. En mode Free-Cooling, la consommation électrique n'est due qu'au ventilateur, en mode refroidissement, s'ajoutent les compresseurs.

«Le principe du Free-Cooling est de refroidir un local en utilisant la différence de température entre l'air intérieur et l'air extérieur.»

Nota : Parmi les sites visités, 2 sites faisaient du free-cooling à partir de l'air extérieur. Un des sites était équipé de groupes froids et de centrales de traitement d'air (Cf. § 2.5 Cas n°2 : un Data Center d'Entreprise (1 300 m²) avec Free-Cooling), l'autre de « Roof-Tops » installés sur une zone technique à l'extérieure en pied de bâtiment. Il nous a été annoncé des économies de la production de froid de l'ordre de 70 à 80% grâce au free-cooling (pas de données fournies).

Dans une revue de presse, l'entreprise SIGMA (éditeur de logiciel et acteur pour l'hébergement du SI des établissements de santé, y compris les sites e-commerce de médicaments) a publié un article intitulé « Free-Cooling ; la ventilation Green des Data Centers de demain » [15], 1 an après la mise en service de son 3ième Data Center.

Les chiffres, les données dans les Data Centers sont rares, mais dans cet article nous pouvons en retenir quelques-uns, même si ces valeurs ne sont pas confirmées, cela peut donner un ordre de grandeur :

- Surface total (S_Totale) de 2 000 m² avec une surface IT (S_IT) de 700 m² (ratio S_IT/S_Total de 35%),
- Montant des investissements 7 M€,
- Data Center de niveau TIER III+ (à savoir, que le TIER III+ n'existe pas auprès du certificateur Uptime Institute Cf. § 2.1.3),
- Système de free-cooling à partir de centrales de traitement d'air,
- 85% en fonctionnement mode free-cooling, soit une économie de 50% sur la consommation du Data Center (dans le cadre d'une utilisation dans des conditions optimums),
- Un sur-investissement sur le poste climatisation/énergie de 7,5%, avec un temps retour de 4 ans.

La conception du bâtiment a été adaptée pour une utilisation en mode free-cooling : colonnes très importantes de descente d'air, faux-planchers élevés, un système d'extinction incendie...

1.4 Cas n°1 : un Data Center d'Entreprise (15 500 m²)

Le Data Center décrit ci-dessous représente un Data Center d'entreprise, destiné à l'utilisation unique à cette entreprise. L'avantage de ce cas d'étude est que nous possédons un grand nombre d'information allant de la construction du site à son exploitation, chose rare dans un monde où les données sont très sécurisée et sensible. De ce fait, les données et résultats sont présentés sous forme anonyme.

Les données fournies sont les suivantes :

- Facturation sur 4 ans de 2011 à 2014, permet de visualiser la consommation et les puissances appelées mois par mois du site,
- La courbe de charge du site sur 2 ans, les données sont plus fines. Elle représente les puissances appelées toutes les 10 mn.
- Le rapport 2015 et les tableaux de suivi de l'exploitant, permet d'avoir le détail des consommations poste par poste, usage par usage et ceci mois par mois.

1.4.1 Présentation du Data Center

Au moment où la décision a été prise de concevoir ce Data Center et la première mise en exploitation en septembre 2010, il s'est écoulé 5 années. La conception technique a été réalisée dans les années 2007 – 2008.



Figure 7 : Photo du Data Center lors de sa construction

Sur cette vue aérienne, nous pouvons déjà apercevoir les différentes fonctionnalités du site : au centre, les salles informatiques et de chaque côté, les bâtiments techniques.

La conception du Data Center est équivalente à une certification de type TIER IV, mais il n'est pas certifié.

La date de conception technique est importante, car entre sa date de conception et aujourd'hui, près de 10 ans ont passé, la technique de ce qu'est une salle informatique a évolué (Cf. § 2.4.3).

1.4.2 Les surfaces et les fonctionnalités

La photo, « Figure 8 : Distribution des fonctionnalités du Data Center », ci-dessous représente une vue aérienne du Data Center construit. Nous y distinguons les différentes organisations spatiales du site.

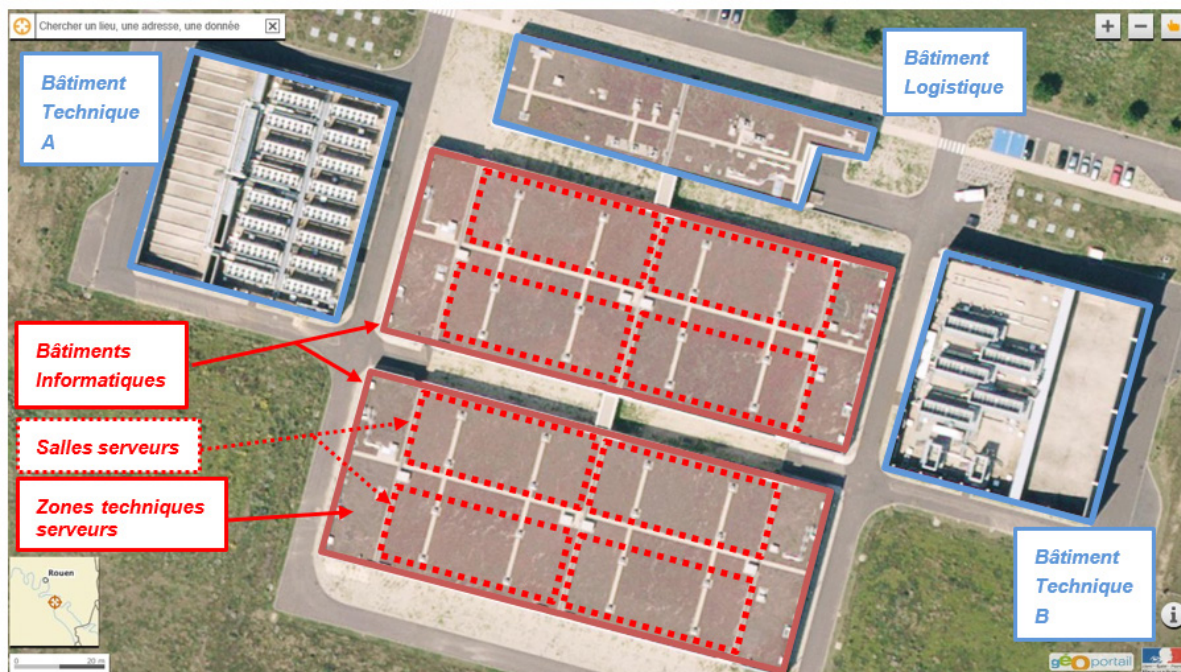


Figure 8 : Distribution des fonctionnalités du Data Center

La surface totale du Data Center est de 15 500 m². Cette surface regroupe l'ensemble des fonctionnalités du site, avec principalement un environnement informatique auquel y sont associées toutes les fonctions supports soit :

- **Bâtiments techniques (A et B) : 2 x 2 250 m²**

Ces locaux, à chacune des extrémités des salles informatiques, regroupent les postes de livraisons, la sécurité électrique et l'incendie, la production de froid...

- **Bâtiments informatiques : 2 x 4 500 m² (soit 9 000 m²)**

Les 2 bâtiments informatiques hébergent les salles serveurs et ainsi que leurs locaux techniques dédiés.

- **Salles serveurs : 8 x 585 m² (soit 4 680 m²)**

communément appelées Salle IT (Informatique Technology)

- **Bâtiment logistique : 1 500 m²**

Bâtiment de type tertiaire comprenant un PC sécurité, des bureaux, salles de réunion, une zone de vie et du stockage...

Nota :

La configuration des surfaces varie d'un Data Center à l'autre suivant sa taille, son niveau de sécurité (redondance) et de sa technologie utilisée (notamment production de froid). Ses variations engendrent des surfaces techniques plus petites : production de froid en extérieur (exemple : en toiture, voire même un espace dédié sur le parking), des groupes électrogènes sous conteneurs, etc... Ceci a un impact sur la définition entre salles informatiques (avec les locaux techniques dédiés) et salles serveurs (sans locaux techniques). Dans des petits Data Centers, la salle informatique équivaut à la salle serveur.

1.4.3 Les salles serveurs

Le bâtiment informatique est découpé en 4 salles serveurs (salle IT), ce qui sécurise en cas d'incendie. Chaque salle serveur est alimentée en fluide de chaque côté (chaîne A et chaîne B), à partir des zones techniques (armoires de climatisation, électricité, incendie...). Pour éviter tous problèmes techniques et de sécurité, la salle serveur est désolidarisée des zones techniques (grillage ou mur suivant Data Center).



Figure 9 : Vue d'une salle serveur sur la Gestion Technique Centralisé / Photo salle serveur

Depuis la construction du Data center, la technique de refroidissement des serveurs a évolué. Aujourd'hui, les salles serveurs (soit 8 salles) sont conçues pour accueillir et fonctionner sous 3 modes de refroidissement différents :

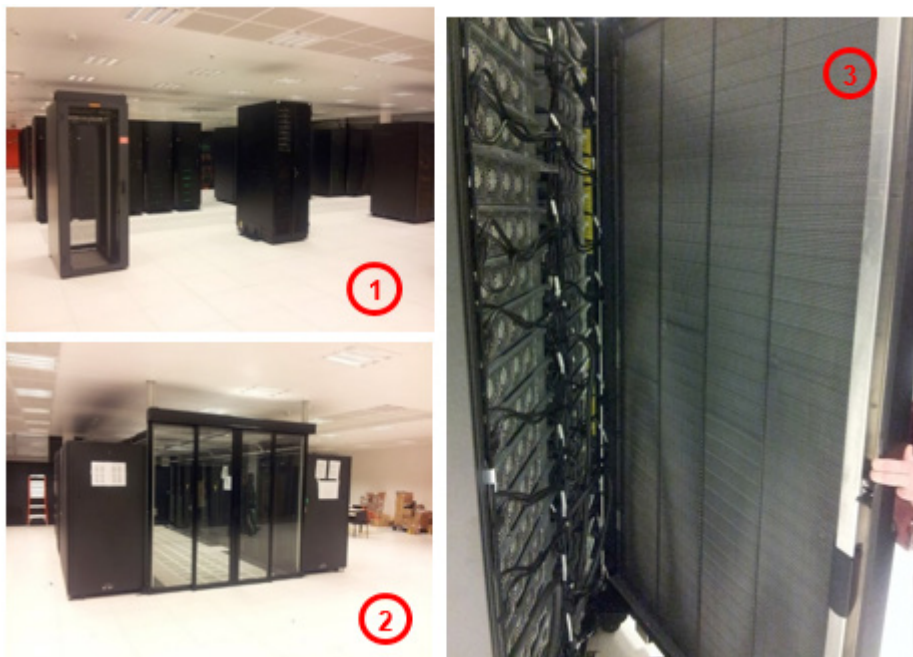


Figure 10 : Configuration des salles serveurs

1. La salle est refroidie par air ; l'ensemble de la salle serveur, soit 585 m² est refroidi par soufflage en faux plancher et reprise en plafond. Ce système a été mis en place dès l'ouverture du Data Center.

2. Par allée froide confinée ; un local « cloisonné » est reconstitué dans la salle serveur à partir de 2 rangées de baies informatiques. L'air froid est soufflé en faux plancher et ressort en air chaud à l'arrière des serveurs. Seule la zone allée froide est refroidie (zone froide). Le reste de la salle serveur est une zone chaude.

3. Par porte froide ; la porte arrière de la baie informatique intègre un échangeur air/eau.

Nota : Le principe général de refroidissement des salles informatiques visitées passe par le soufflage d'air froid en faux plancher, entre 2 rangées de baies informatique. L'air passe à travers les baies informatiques, se réchauffe et est rejeté à l'arrière de celle-ci, puis extraite en faux-plafond.

Seul un des Data Centers visités était équipé d'un système de refroidissement par faux-plafond.

Un Data Center change en moyenne ses serveurs tous les 4 ans. La durée de vie d'un équipement est de 5 ans (ne dépasse jamais 8 ans). Les anciens matériels deviennent plus chers que les récents.

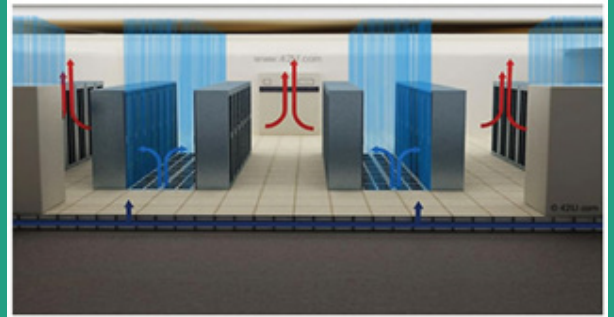


Figure 11 : Schéma de refroidissement d'une salle informatique

1.4.4 Les installations techniques

Les installations techniques sont toutes doublées : chaîne A et chaîne B. Sur chacune des chaînes, les équipements sont dimensionnés pour pouvoir fournir la puissance totale du site :

- 2 adductions ERDF en provenance de postes sources distincts,
- 2 centrales de production électrique de secours distinctes,
- 2 chaînes électriques et de climatisation distinctes,
- Redondance N+1, sur chacune des 2 chaînes, des équipements techniques principaux pour permettre la maintenance sans conséquence d'un élément d'une chaîne,
- 2 adductions de télécommunications,
- Doublement des serveurs.

La puissance totale électrique installée est de 12 MW (donnée fournie par l'interlocuteur).

La production de froid

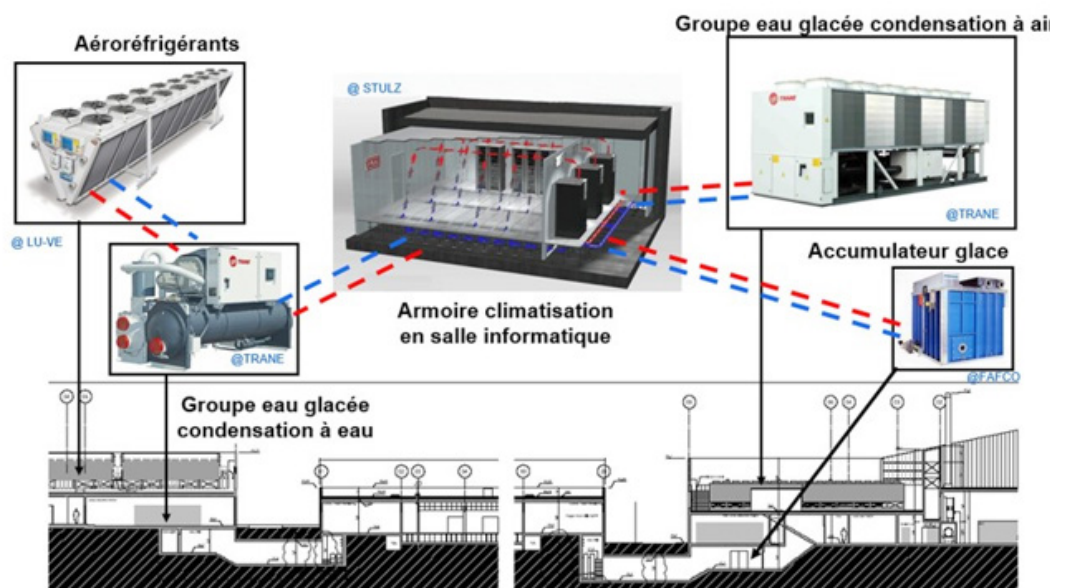


Figure 12 : Schéma de la production de froid du Data Center

La production de froid est équipée de 2 systèmes distincts représentant une puissance frigorifique totale de 18,8 MWf. L'installation se décompose de la façon suivante :

- **La chaîne A** ; la production de frigorie est réalisée par 8 groupes eau/eau (de marque TRANE), d'une puissance unitaire de 1 000 kWf, avec 16 aéroréfrigérants (de marque LU-VE). Ce système est particulièrement bien adapté aux froids extrêmes.
- **La chaîne B** ; la production de frigorie est réalisée par 9 groupes air/eau (de marque TRANE), d'une puissance unitaire de 1 200 kWf. Ce système est particulièrement bien adapté aux périodes de canicule. Parmi ces 9 groupes, 2 groupes servent à alimenter un stockage de glace d'une capacité de 20 000 litres, soit un secours d'une durée de 15 mn.

Des centrales de traitement d'air permettent notamment de traiter l'hygrométrie des salles IT (aucune donnée sur le matériel).

1.4.5 Les consommations

Le Site : La Figure 13 ci-dessous représente la courbe de charge électrique du Data Center sur la période de début Septembre 2014 à fin Février 2016 (au pas de 10 mn). Ce graphe regroupe les 2 adductions ERDF en provenance de postes sources distincts.

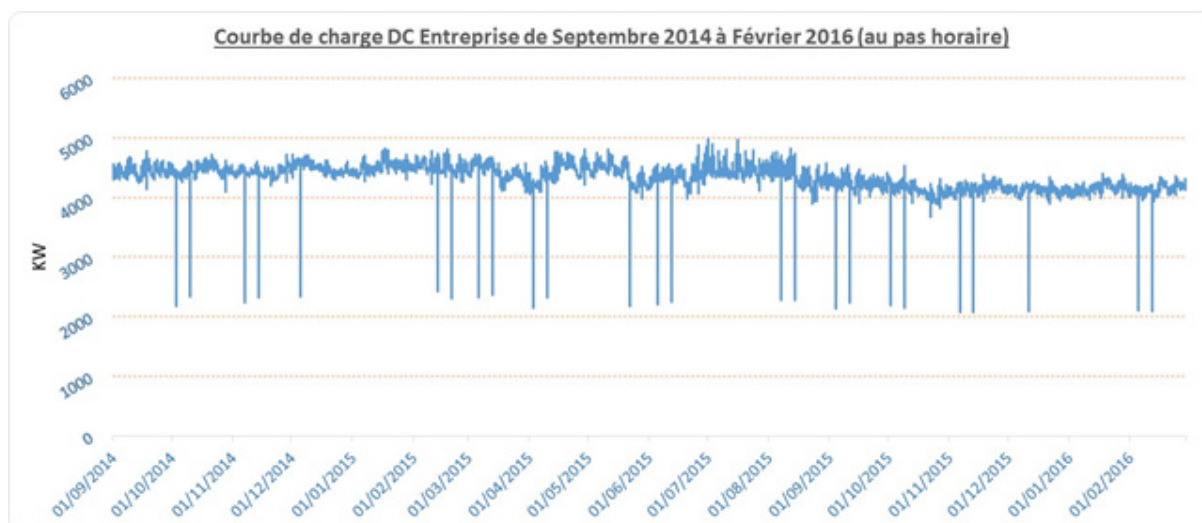


Figure 13 : Courbe de charge d'un Data Center D'entreprise de Septembre 2014 à Février 2016

Le Data Center fonctionne en continu 24h/24h. Les chutes de la puissance, environ de 4 500 kW à 2 000 kW, sont dues aux tests des essais des groupes électrogènes. Ces tests ont lieu sur une seule chaîne à la fois, d'où le fait qu'il n'y ait pas de chute de puissance à 0 kW. Les consommations liées aux Groupes électrogènes ne sont pas étudiées.

Cette courbe de charge montre un fonctionnement linéaire et plat sur la période, avec une légère baisse de la puissance sur ces derniers mois : la puissance moyenne jusque fin septembre 2015 est d'environ 4 400 kW, alors que depuis début octobre 2015, elle est de 4 150 kW, soit une baisse de près de 6% de celle-ci. Entre la puissance installée, annoncée à 12 MW, et la puissance moyenne appelée (consommée) il y a un rapport de puissance d'environ 2,5 à 3 : impact lié en partie à la redondance du système et au taux de charge IT (ici 50%, cf. page précédente).

Sur une année complète : La Figure 14 ci-dessous représente la consommation électrique totale du Data center sur l'année 2015, la consommation de la part informatique et la consommation électrique de la production de froid. Ce sont des consommations mensuelles.

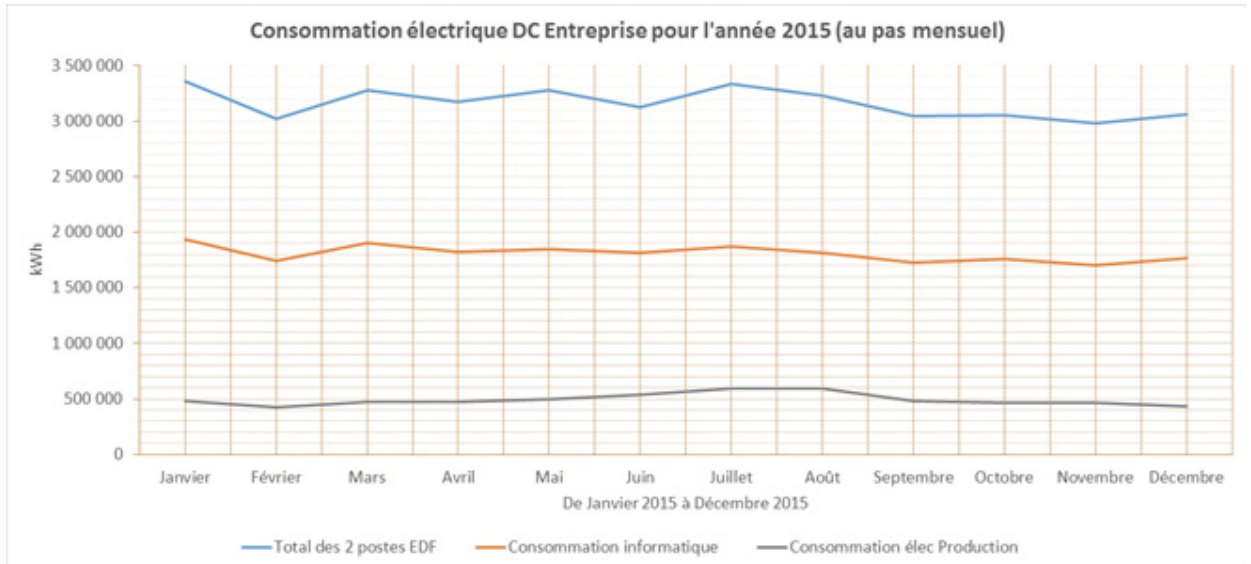


Figure 14 : Consommation électrique d'un Data Center D'entreprise pour l'année 2015

Ce graphe montre un fonctionnement linéaire des usages, que ce soit pour l'informatique ou pour la production de froid. Pour ce cas, le taux de charge moyen annuel de ses salles IT est d'environ 50% : la charge max autorisée en IT (100%) est de 5 000 kW.

Détail des consommations par poste : La Figure 15 ci-dessous représente la consommation annuelle de 2015, répartie en fonction des différents postes.

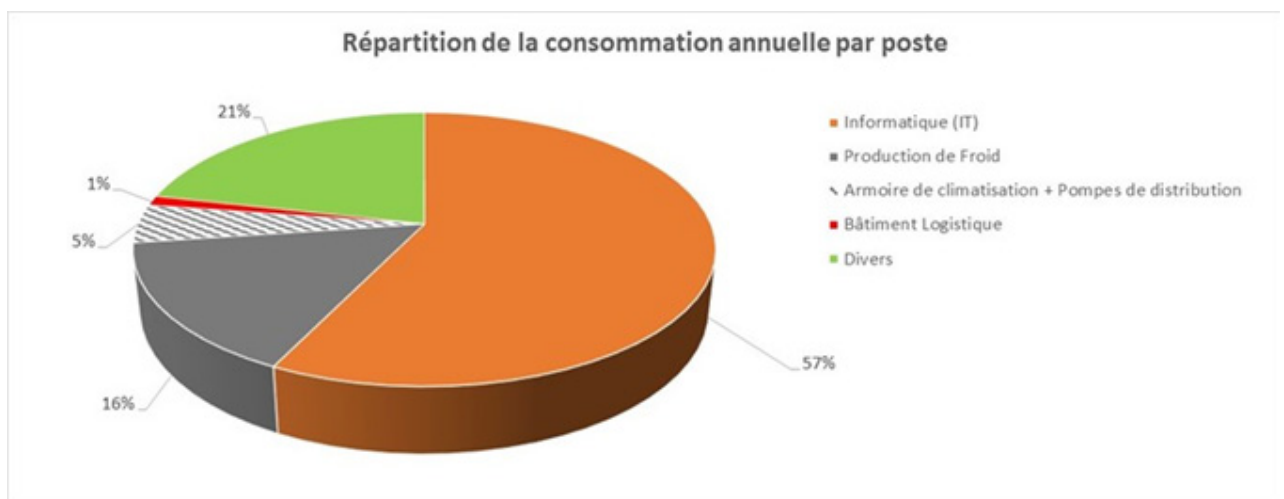


Figure 15 : Répartition de la consommation annuelle par poste

Figure 15 : Répartition de la consommation annuelle par poste

La consommation annuelle du site pour l'année 2015 est d'environ 38 GWh, soit un ratio⁴ de 8 100 kWh/m²IT. Le poste le plus important est dû à la consommation de la salle IT avec près de 60% de la consommation totale, soit environ 22 GWh (ou 4 640 kWh/m²IT).

Avec 21% de la consommation totale, la part « divers » représente le 2^{ème} poste le plus important. Il correspond à la différence entre la consommation totale et les différents sous-comptages. Sous « Divers » nous retrouvons la consommation de tous les usages secours (batterie, volant d'inertie, maintien en température des groupes électrogènes,...), la partie Telecom, pertes joule et fer transformateurs, les ventilateurs des Centrales de Traitement d'air... L'importance de ce poste est due aussi à la multiplication des redondances.

La production de froid représente une consommation électrique de 16% de la consommation totale. Cette consommation de la production de froid se répartie à 75% pour les groupes seuls et 25 % pour

Nota :

Parmi les sites visités, 4 Data Centers nous ont donné accès à leur consommation totale, soit les ratios de consommation totale suivant ont pu être calculés :

- Data Center avec 4 680 m²IT, soit un ratio de 8 100 kWh/m²IT et un PUE = 1,75,
- Data Center avec 13 000 m² IT, soit un ratio de 7 600 kWh/m²IT et un PUE = 1,67,
- Data Center avec 700 m²IT, soit un ratio de 6 700 kWh/m²IT et un PUE = 1,70,
- Data Center avec 350 m²IT, soit un ratio de 6 130 kWh/m²IT et un PUE = 1,57 (Cf. § 2.5 Cas n°2 : un Data Center d'Entreprise (1 300 m²) avec Free-Cooling).

Deux Data Centers nous ont annoncé avoir une installation équivalente à un niveau TIER IV, un autre être en TIER III et le quatrième un niveau TIER II+. A savoir, que le TIER II+ n'existe pas auprès du certificateur Uptime Institute (Cf. § 2.1.3 Niveau TIER).

Le Rex sur ces Data Centers nous permet aussi d'isoler la consommation de la part de la salle IT :

- Data center avec 4 680 m²IT, la part IT représente un ratio de 4 640 kWh/m²IT, ce qui représente une puissance de 530 W/m²IT,
- Data Center avec 13 000 m² IT, la part IT représente un ratio de 4 560 kWh/m²IT, ce qui représente une puissance de 521 W/m²IT,
- Data Center avec 700 m²IT, la part IT représente un ratio de 3 943 kWh/m²IT, ce qui représente une puissance de 450 W/m²IT,
- Data Center avec 350 m²IT, la part IT représente un ratio de 3 904 kWh/m²IT, ce qui représente une puissance de 446 W/m²IT, (Cf. § 2.5 Cas n°2 : un Data Center d'Entreprise (1 300 m²) avec Free-Cooling).

Ce ratio de puissance nous montre que quel que soit la taille de la salle IT, le niveau de puissance utile au m²IT est assez proche : il varie de 446 à 530 W/m²IT, ce qui représente une moyenne de 487 W/m²IT (pour les calculs, valeur arrondie à 500 W/m²IT).

La consommation totale d'un Data Center va dépendre du taux de charge de ses salles IT.

⁴ m² IT = m² de salle serveur communément appelée salle IT (informatique Technology).

1.4.6 Performance des systèmes de production de froid

Le cas particulier de cette installation est l'utilisation de 2 systèmes de production différents : une production de frigorie par l'intermédiaire d'un groupe froid de type eau/eau, condensation à eau, et une autre production par un groupe froid de type air/eau, condensation à air (détail des systèmes cf. § 2.3. Technologie de Climatatisation).

La Figure 16 ci-dessous présente les performances des 2 systèmes de production, au travers de l'Efficacité Frigorifique EFF (ou EER, Energy Efficiency Ratio) mois par mois de l'installation complète soit :

- Installation à condensation par eau ; groupes froid (compresseurs) + aéroréfrigérants (ventilateurs) + pompes de charge,
- Installation à condensation par air ; groupes froid (compresseurs + ventilateurs) + groupes glace (compresseurs) + pompes.

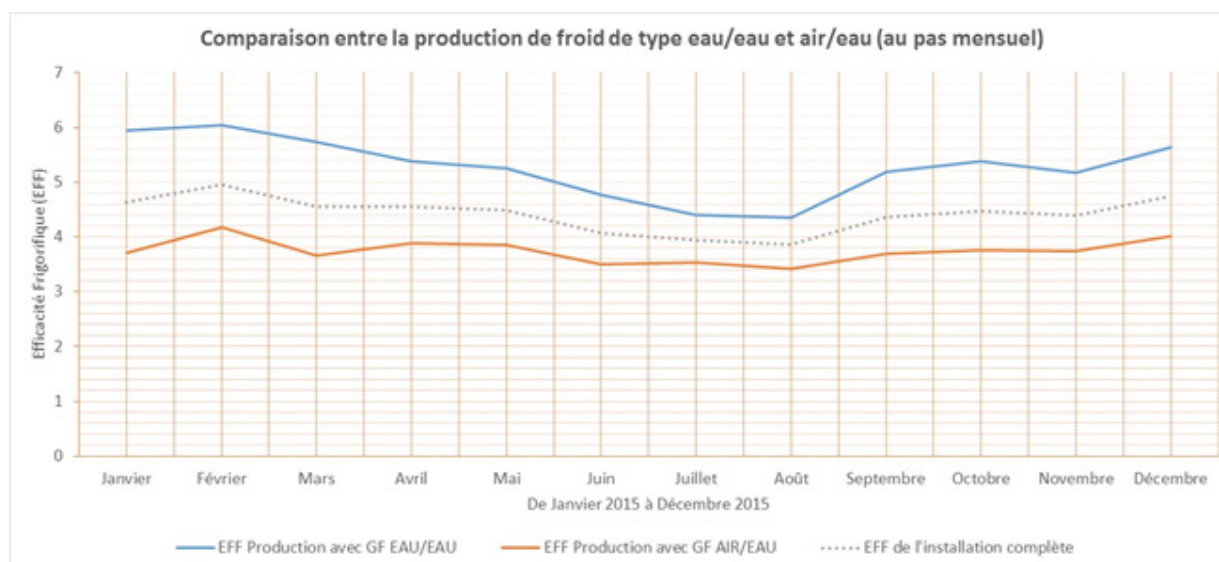


Figure 16 : Efficacité frigorifique des 2 systèmes de production par condensation à eau et à air

Le système de production de frigorie, à partir de groupes froids eau/eau, représente une EFF annuelle de 5,20 alors que pour le système groupes froids air/eau, la valeur d'EFF annuelle est de 3,73. Cela signifie que le système par groupe à condensation par air engendre plus de consommations électriques. Parmi les sites visités, seul le cas présenté ci-dessus était équipé de ces 2 systèmes.

Nota : Impact du choix du système sur le PUE

Nous utilisons les données issues du cas n°1 pour évaluer l'impact que pourrait avoir le choix d'un système eau/eau et air/eau sur la valeur du PUE (point sensible d'un Data Center).

Besoins frigorifiques du site			25 914 MWh
Consommation IT			21 713 MWh
Consommation du site hors production froid			32 035 MWh
	Système Mixte	Système eau/eau	Système air/eau
EFF	4,39	5,2	3,73
Consommation production froid	5 903 MWh	4 983 MWh	6 947 MWh
Consommation total site	37 938 MWh	37 018 MWh	38 982 MWh

Figure 17 : Impact du choix du système sur le PUE

Dans le cas d'une même gestion entre les 2 systèmes, l'impact du choix du système sur le PUE représente une différence de 0,1 point.

1.4.7 Energie récupérable

La consommation première d'un Data Center est celle de son activité principale : l'informatique. Toute l'énergie utile au fonctionnement de l'informatique est rejetée dans le local, la salle IT, sous forme d'apport thermique. Ce qui représente l'énergie récupérable.

La Figure 18 ci-dessous représente l'énergie pouvant être récupérée mois par mois.

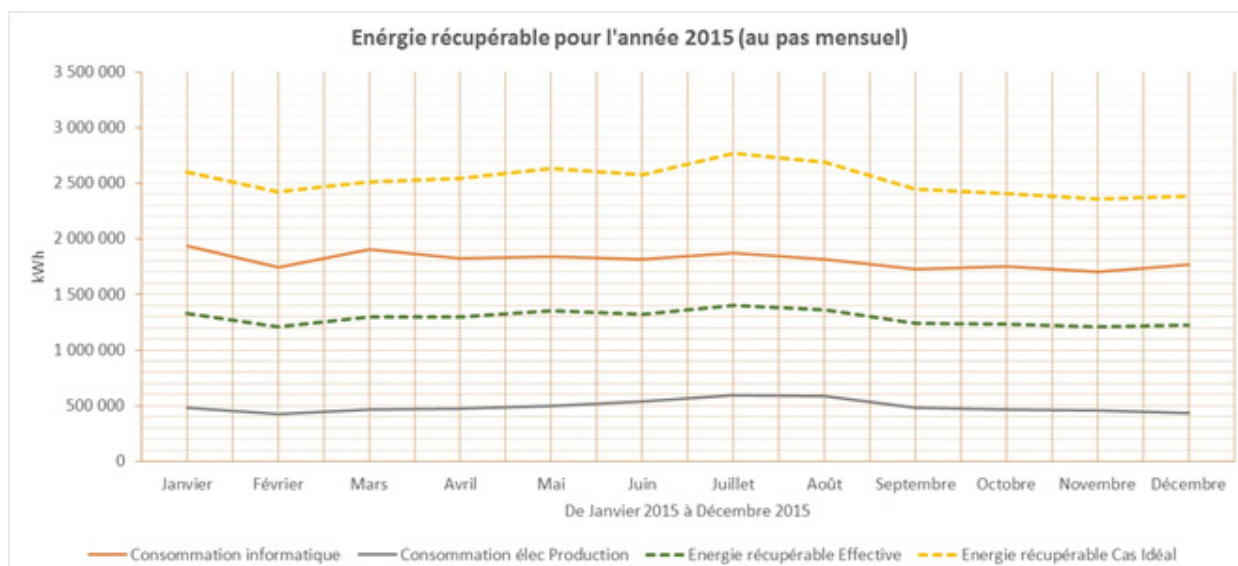


Figure 18 : Energie récupérable pour l'année 2015

Figure 18 : Energie récupérable pour l'année 2015

L'énergie récupérable est dépendante du type de système installé pour la production de froid. Dans notre cas, il y a 2 systèmes de production frigorifique (cf. § 2.4.4) :

- un système (chaîne A) équipé de groupes de production eau/eau. Dans ce cas, un réseau d'eau évacue la chaleur vers des aéroréfrigérants. Ici sur le graphe, l'énergie récupérable est symbolisée par la courbe verte en pointillé, dite « Energie récupérable effective ». Elle représente 41% de la consommation totale du site, ou 71,3% de la consommation de la part IT.
- un système (Chaîne B) équipé de groupes de production air/eau. Dans ce cas, la chaleur est évacuée par l'air, directement par les ventilateurs du Groupe Froid. L'énergie est difficilement récupérable (Cf. § 2.3. Technologie de Climatisation).

L'énergie récupérable sur ce Data Center d'entreprise dite « Energie récupérable effective » représente la récupération d'énergie d'une seule partie du Data Center ; elle est liée à la faisabilité du système, le réseau d'eau.

Sur ce graphe, la courbe jaune en pointillé représente l'énergie récupérable dans un cas idéal, système uniquement à eau. Elle représenterait 83% de la consommation totale du site, ou 145% de la consommation de la part IT. La valeur de cette récupération est supérieure à la consommation IT (+145%) car, à cette dernière consommation, y sont intégrés tous les éléments de la chaîne de production d'énergie : production frigorifique, perte réseau, régulation...

1.5 Cas n°2 : un Data Center d'Entreprise (1 300 m²) avec Free-Cooling

L'étude de ce cas n°2 représente un Data Center d'entreprise destiné à l'utilisation de clients. Par rapport au cas n°1, nous ne possédons pas toutes les informations permettant une comparaison, mais une partie des données permettant d'afficher des ratios et surtout un Data Center équipé du mode Free-Cooling (Cf. § 2.3.4 Système à base de Free-Cooling).

1.5.1 Présentation du Data Center

Ce data Center d'entreprise a été conçu dans les années 2000, pour des usages essentiellement France. Il a eu une forte croissance jusqu'en 2006, avec 150 millions de pages vues par jour et 10 millions de clients.

Au dire du responsable, les équipements techniques installés ont une correspondance de niveau TIERII+. A savoir, que le TIER II+ n'existe pas auprès du certificateur Uptime Institute (Cf. § 2.1.3).

Le PUE moyen annuel (hors activité tertiaire) est de 1,57 (PUE sous-estimé car il ne tient pas compte de la consommation totale du site cf. § 2.1.4).

Le bâtiment représente une surface totale de 1 300 m². Il se décompose :

- 350 m² pour la salle IT, soit un ratio salle IT sur surface totale de 27%
- 900 m² pour la partie tertiaire et des locaux techniques.

1.5.2 Principe de refroidissement par Free-Cooling

Au départ, l'installation technique n'était pas adaptée à l'utilisation du mode Free-Cooling. Jusqu'en 2009, la salle IT était refroidie uniquement par des groupes froids. Aujourd'hui, l'utilisation du mode Free-Cooling représente environ 50% de l'année.

La Figure 19 ci-dessous représente les puissances appelées de la salle IT et de la production de froid d'un Data Center utilisant le mode free-cooling, avec comme système des groupes froids et des centrales de traitement d'air. Les données sont fournies à un pas de temps de 3h15, de juillet 2014 à juillet 2015.

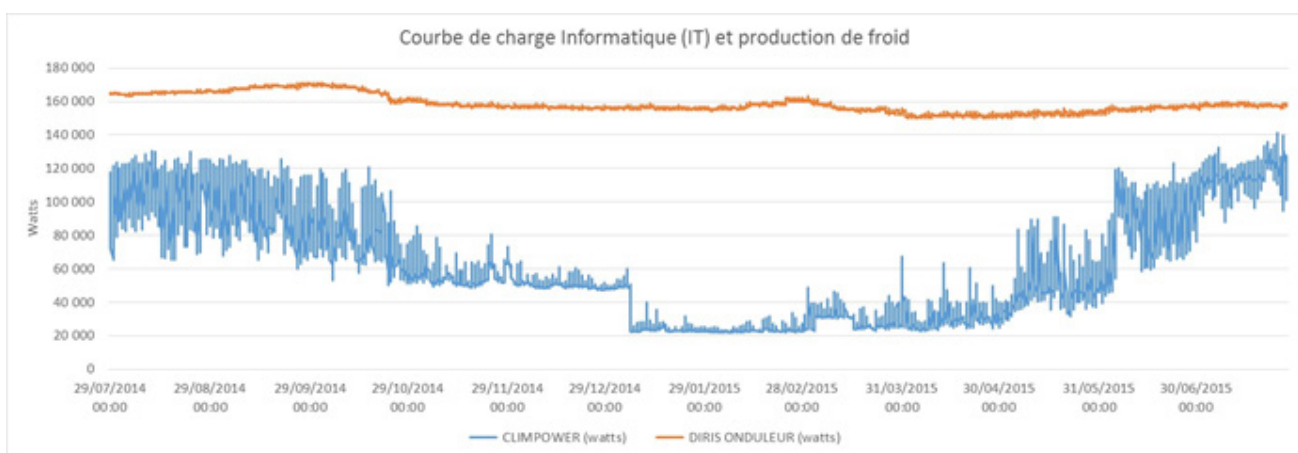


Figure 19 : Puissances appelées en IT et Production froide d'un Data Center avec Free-Cooling

La courbe précédente [Figure 14 : Consommation électrique d'un Data Center D'entreprise pour l'année 2015] montre un fonctionnement linéaire de la production de froid et ceci toute l'année. Ici, les puissances appelées font apparaître une saisonnalité liée à la météo. Cette variation montre bien le fonctionnement du Free-cooling. Il y a une forte utilisation des groupes froids sur la période de juin à septembre, période où le Free-cooling est moins propice, avec des puissances maximales appelées de 120 kW. Durant la période hivernale, cette puissance ne représente plus que 20 kW.

Le graphe ci-dessus montre bien que l'énergie fatale maximale n'est disponible que pendant la période estivale...

Nota : Nous n'avons pas beaucoup d'informations sur les différents éléments du système de refroidissement (puissance, nombre et type de groupes froid, nombre et puissance des centrales de traitement d'air...). La courbe bleue sur le graphe représente la puissance de « climatisation », mais nous ne connaissons pas sa définition exacte : appel de puissance totale de la production, c'est-à-dire les groupes froids + les pompes de circulation + les ventilateurs (mode free-cooling ? ou uniquement la consommation des compresseurs ? ...).

Sur la courbe ci-dessus, nous avons la courbe de charge partielle de la part de la salle IT (courbe orange). C'est une courbe représentative d'une salle IT, courbe « plate ». Pour les 6 premiers mois, la puissance moyenne appelée est de 156 kW. Par extrapolation, cela représente une consommation annuelle informatique de 1 367 MWh, soit un ratio de 3 904 kWh/m²IT. Avec un PUE moyen de 1,57 (hors activité tertiaire), nous pouvons estimer une consommation totale du Data Center (Cf. § 2.1.4 Le PUE (Power Usage Effectiveness)). Ce qui représente un ratio de 6 130 kWh/m²IT.

1.5.3 Description du mode de fonctionnement du Free-Cooling

Le mode Free-cooling est utilisé aussi bien l'hiver que l'été. Le pilotage de celui-ci se fait à partir de la température extérieure, avec des contrôles sur le taux d'humidité.

Les consignes mises en place sont :

- En dessous de 16°C de température extérieure, le mode de refroidissement est réalisé à 100% par l'air extérieur,
- Entre 16 et 24°C de température extérieure, le refroidissement est complété par quelques groupes froids,
- Au-dessus de 24°C de température extérieure, le mode free-cooling n'est plus utilisé, le refroidissement est réalisé en totalité par les groupes froids.

Nota : Le fonctionnement du mode free-cooling varie en fonction des opérateurs (et du système ?).

Un des Data Center visité réalise du free-cooling à partir d'un système tout air : Roof-top. L'installation Free-cooling a été conçue dès l'origine du projet, le bâtiment a été adapté à la solution technique. La description qui nous en a été faite montre une disparité dans le choix des consignes :

- En dessous d'une température extérieure de 21,5°C, aucun compresseur n'est en fonctionnement : free cooling pur avec humidification si Humidité Relative est inférieure à 35% et déshumidification si Humidité Relative supérieure à 65%. Le free cooling est opérationnel 80% de l'année. Dans tous les cas l'air est filtré.
- Entre 21,5 et 22,5°C, mise en service d'un Roof-top (compresseur) tous les 0,5°C. La température de soufflage du Roof-top est de 15,5°C, avec une température de reprise de 28°C.

Depuis 2011, le compresseur qui a le plus tourné n'a fonctionné que 211 h.

Le graphe ci-dessous représente synthétiquement une courbe de fonctionnement d'un Data Center sans free-cooling et celle d'un Data Center avec free-cooling.

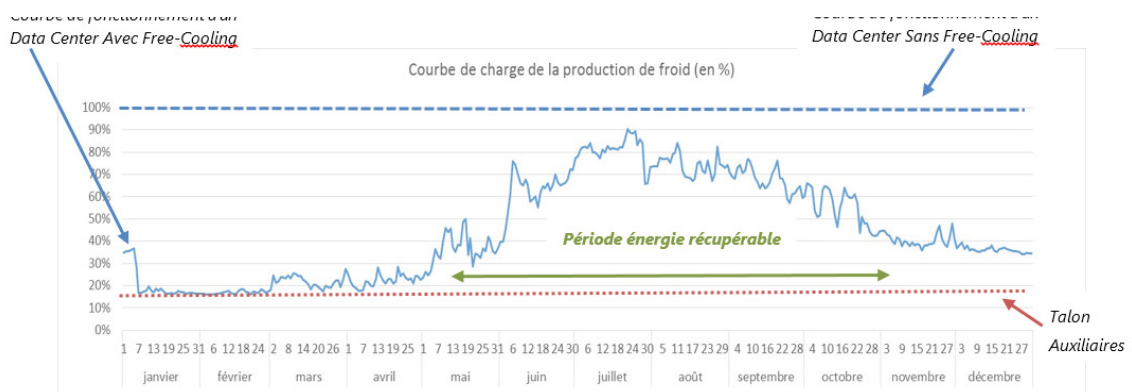


Figure 19 : Puissances appelées en IT et Production froide d'un Data Center avec Free-Cooling

Cette courbe représente « la Figure 19 : Puissances appelées en IT et Production froide d'un Data Center avec Free-Cooling » ramenée à une année civile (janvier à Décembre) et la puissance appelée du système de refroidissement est normé de 0 à 100%.

Elle montre bien que dans le cadre d'un système avec free-cooling la période de récupération d'énergie se situe de mai à octobre, avec une variation liée aux conditions climatiques extérieures (température et humidité).



Récupération de la chaleur fatale

2.1 La chaleur fatale

Les données récupérées sur le Data Center « d'Entreprise » (décrit au § 2.4 Cas n°1 : un Data Center d'Entreprise (15 500 m²)), représente le cas de référence pour la description de la récupération de chaleur. Les données sont complétées à partir de l'ensemble des visites de sites et de la rencontre des responsables techniques.

Dans le cadre de la récupération d'énergie fatale, les chiffres et les données clés utiles dans un Data Center sont :

- **Les surfaces, avec la distinction entre la surface totale et la surface liée à IT,**
- **Les puissances électriques mise en jeu, puissance IT,**
- **Le système de refroidissement, faisabilité d'une récupération.**

Lors de la visite des Data Centers, une des données très difficile à obtenir est la puissance installée en IT. Cette donnée est très importante car c'est elle qui va dimensionner tous les autres systèmes.

Par contre, l'information assez facile à obtenir lors de la discussion avec les responsables techniques est la correspondance de leur site vis-à-vis du niveau « Tier » (Cf. § 2.1.3 Niveau TIER), car même si la certification « Tier » n'est pas recherchée, le positionnement par rapport à celle-ci est regardé (argument commercial).

Mais, cette donnée nous donne des informations sur le niveau de sécurité en termes d'indisponibilité, mais surtout sur la densité énergétique, qui nous permet d'estimer la puissance installée : Ex : Tiers IV, densité énergétique $\geq 1\,500\text{ W/m}^2\text{IT}$.

2.1.1 Principe d'énergie récupérable sur un groupe frigorifique

Le fonctionnement d'un groupe froid est représenté par le fonctionnement d'un système thermodynamique.

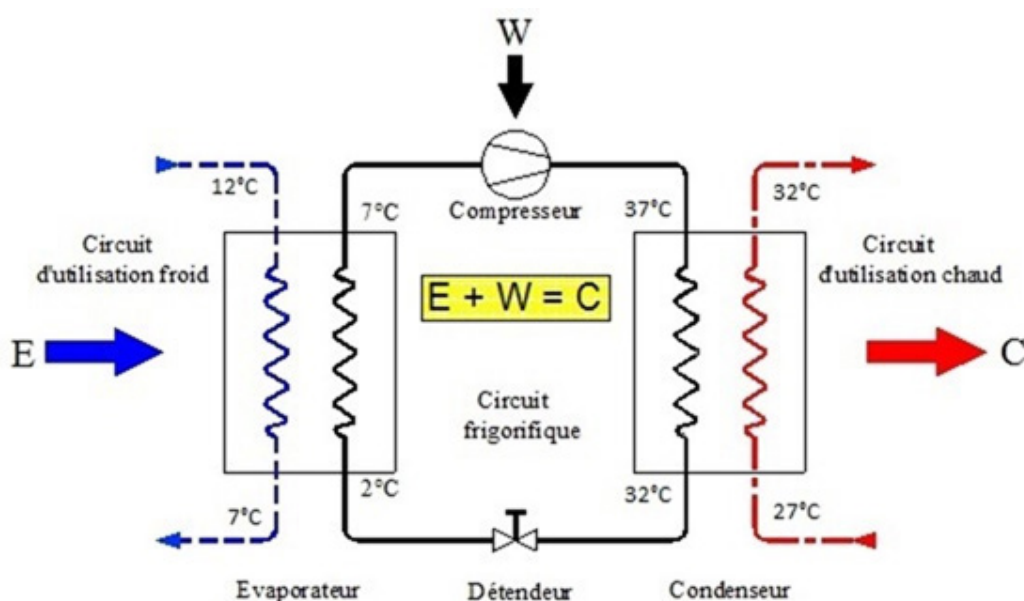


Figure 20 : Courbe de fonctionnement d'un Data Center avec et sans free-cooling

Figure 21 : Schéma du circuit frigorifique d'un groupe froid

Le circuit frigorifique, composé d'un fluide frigorigène dont les caractéristiques permettent un changement d'état pour céder du chaud, côté condenseur (C), et céder du froid, côté évaporateur (E).

Le compresseur (W) fournit l'énergie mécanique au fluide frigorigène pour lui permettre d'évoluer. C'est le poste de consommation électrique principale du Groupe Froid.

Au niveau exploitation, pour connaître la performance du groupe froid (EFF), un compteur électrique permet de mesurer la consommation du compresseur (W) et un compteur d'énergétique sur le réseau de distribution froid permet de mesurer l'énergie cédée à l'évaporateur (E).

$$EFF = \frac{\text{Energie Evaporateur (E)}}{\text{Energie Compresseur (W)}}$$

L'énergie évacuée au condenseur, qui représente dans notre cas l'énergie fatale, n'est pas mesurée, mais peut être recalculée :

$$\text{Energie Condenseur (C)} = \text{Energie Evaporateur (E)} \cdot \left(1 + \frac{1}{EFF}\right)$$

Pour une EFF = 4, valeur courante pour des groupes froids eau-eau de grosse puissance (cas Data Center)

$$\text{Energie Condenseur (C)} = \text{Energie Evaporateur (E)} \cdot 1,25$$

2.1.2 Caractérisation de la chaleur fatale

Un des facteurs important dans la caractérisation de la récupération de la chaleur fatale est, certes la disponibilité de celle-ci, sa quantification, mais aussi le niveau de température de celle-ci.

La Figure 22, ci-dessous, présente une échelle des différents niveaux de températures de rejet de chaleur suivant les différents systèmes utilisés.

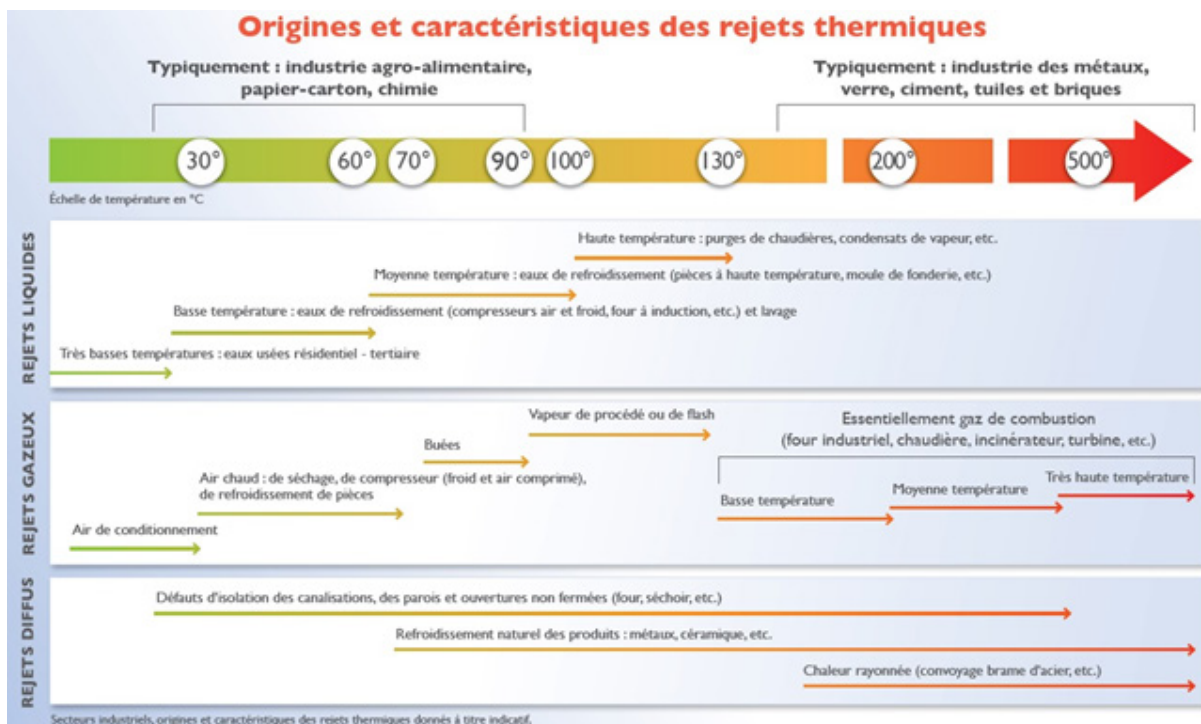


Figure 22 : Origine et caractérisation des rejets thermiques [16]

Figure 22 : Origine et caractérisation des rejets thermiques [16]

Sur ce schéma, les Data Centers se situent à des rejets de type basse température, max de 60°C ; eaux de refroidissement (compresseur air et froid...). Ces températures de rejet sont très bien adaptées aux réseaux de nouvelle génération, intégrant les sources de type EnR&R (Energie Renouvelable et de Récupération).

Par contre, aujourd'hui, en France sur 501 réseaux de chaleur dans 350 villes, 80% de ces réseaux de chaleur ont une température d'eau chaude ≤ 110 °C [17].

Pour pouvoir intégrer de la chaleur basse température à des réseaux de chaleur de ce niveau de température, cela passe par une remontée du niveau thermique de l'énergie fatale de récupération.

Cas du réseau neuf « basse température » : température eau chaude ≤ 60 °C

Dans le cadre d'un réseau de chaleur basse température, la remontée en température de l'énergie fatale peut se faire en modifiant les consignes de fonctionnement du groupe froid : augmentation de la température de condensation (Cf. 3.1.5 Accroissement du potentiel d'énergie récupérable). Ce procédé génère des performances (EFF) plus faibles, donc des coûts de fonctionnement des groupes plus élevés.

Cas du réseau existant : température eau chaude ≤ 110 °C

Par contre, dans le cas des réseaux existants, les températures étant plus élevées, la solution technique permettant de relever la température de l'énergie fatale est l'ajout d'une, voire de plusieurs Pompes à Chaleur Haute température entre le Data Center et le réseau urbain (Cf. § 4.1.4 Pompe à chaleur Haute Température (PAC HT)).

2.1.3 Décomposition du principe d'estimation d'énergie fatale

Dans ce paragraphe, nous présentons une méthode de généralisation d'un mode de calcul du potentiel d'énergie fatale d'un site Data Center quelconque. **Cette méthode représente le potentiel dans le cadre d'un site idéal : technologie de climatisation adaptée à une récupération.** Elle est basée sur un Rex de 4 Data Centers visités et à avoir communiqué sur des données. Les étapes sont détaillées ci-dessous pour retrouver les chiffres clés utiles.

1- Pas de donnée sur la surface IT.

Dans l'étude de cas (Cf. § 2.4 Cas n°1 : un Data Center d'Entreprise (15 500 m²)), le rapport entre la surface IT et la surface totale représente un ratio de 30%. Ce ratio permet d'estimer la surface de la salle IT à partir de la surface totale d'un Data Center : nous nous situons dans le cas où nous n'avons pas de données sur la surface IT. Ce ratio est valable aussi dans le cas de petit Data Center (Cf. § 2.5 Cas n°2 : un Data Center d'Entreprise (1 300 m²) avec Free-Cooling).

Dans le cas d'un bâtiment hébergeant un Data Center, dont la fonctionnalité principale n'est pas destinée à l'informatique (ex : bâtiment tertiaire, de bureaux), nous partons sur le principe que la surface annoncée est la surface spécifiquement dédiée aux servers (surface IT).

2- Consommation informatique (besoin de froid).

La consommation totale d'un Data Center se décompose à près de 60% pour la consommation informatique et à 16% pour la partie climatisation. La consommation informatique est la valeur qui détermine le besoin de froid. Elle peut être résumée à un ratio de puissance installée par mètre carré de salle IT (ratio arrondi), soit en moyenne 500 W/m²IT (Cf. 2.4.5 Les consommations).

3- Potentiel d'énergie récupérable.

Le potentiel d'énergie récupérable est obtenu à partir de la consommation informatique (besoin de froid) en intégrant les performances du système de production de froid, Efficacité Frigorifique moyen de 4 (EFF = 4), soit : besoins récupérables (à 35°C, température de condensation) = besoin de froid * 1,25 (Cf. § 3.1.1 Principe d'énergie récupérable sur un groupe frigorifique).

Remarque : Pour l'estimation d'un gisement de récupération d'énergie, il faut bien avoir en tête que :

- le dimensionnement de l'alimentation comprend une marge,
- la charge d'un data center n'est jamais au maximum,
- l'équipement d'un data center n'est pas nécessairement à 100% de sa capacité,
- Et surtout, que l'organigramme mis en place est très sensible à la donnée de surface (le type de surface).

2.1.4 Algorithme de détermination du potentiel d'énergie récupérable sur un Data Center

L'organigramme ci-dessous permet de réaliser une estimation de la récupération d'énergie fatale uniquement d'une entrée, qui est soit la surface IT, soit la surface totale. Dans le cas des Data Centers intégrés à des bâtiments (bureaux ou autres), la surface donnée est généralement la surface IT (salle serveur).

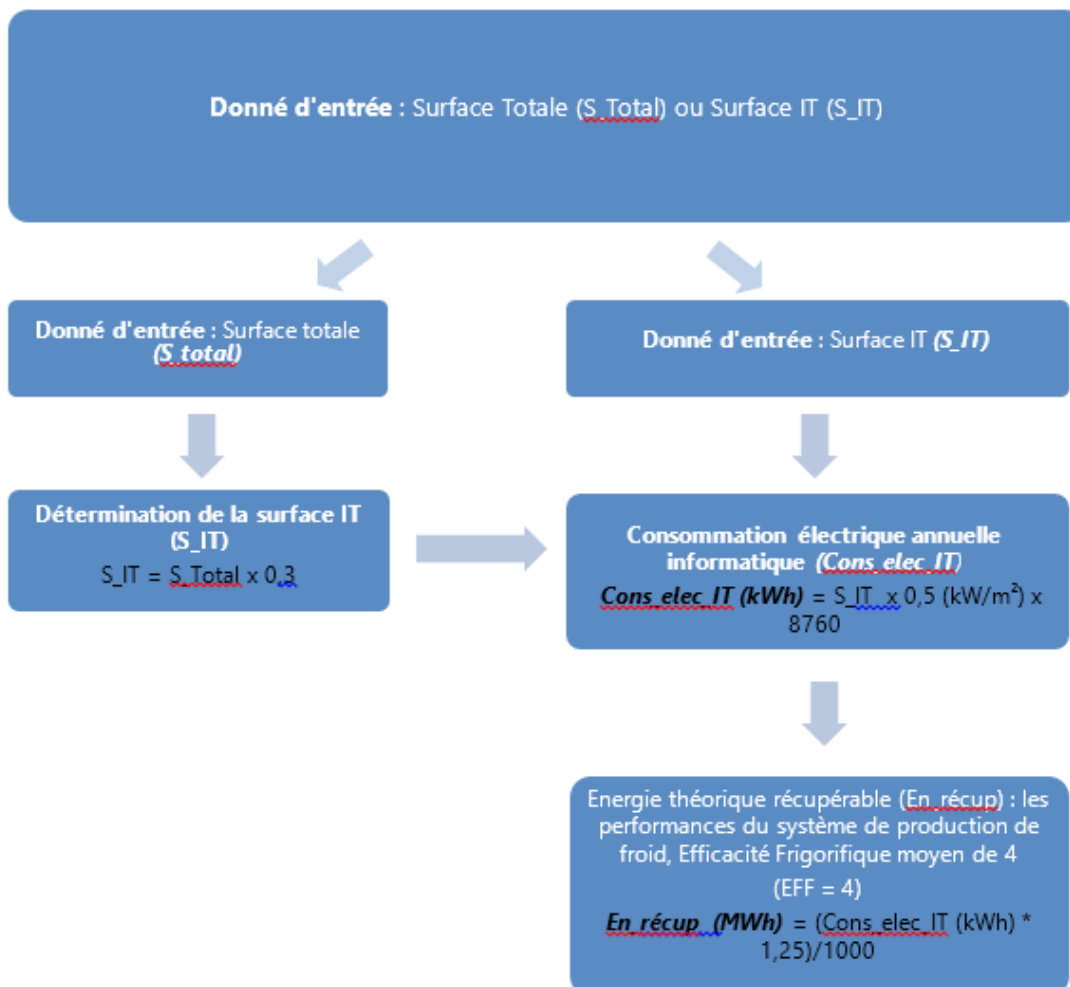


Figure 23 : Organigramme de détermination du potentiel d'énergie récupérable sur un Data Center

Le résultat obtenu par cette méthode de calcul permet d'estimer un potentiel d'énergie récupérable à une température d'environ 35°C.

2.1.5 Accroissement du potentiel d'énergie récupérable

Récupérer de l'énergie à une température plus importante permet d'intégrer cette énergie fatale à un réseau urbain basse température (cas de la création d'un nouveau réseau), d'augmenter le potentiel de récupération et de fournir une bonne couverture des besoins de chauffage à l'utilisateur final.

La Figure 24, ci-dessous, présente schématiquement l'impact de cette augmentation de température au niveau des groupes de production froid.

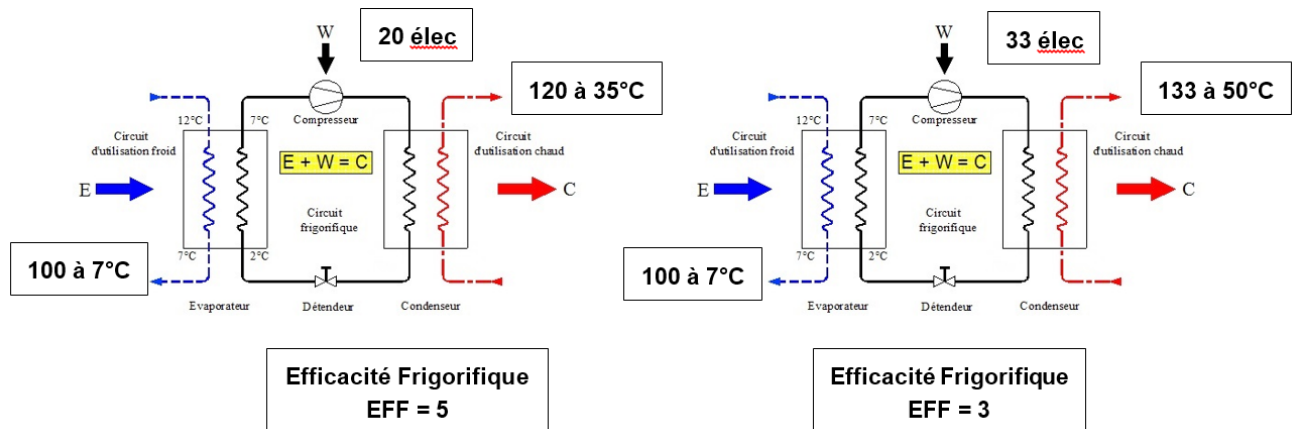


Figure 24 : Bilan d'un Groupe Froid avec une température de condensation de 35°C à gauche et température de condensation de 50°C à droite

Pour mieux expliciter l'impact d'une augmentation de la température de condensation, les besoins en froid à 7°C sont normés à une valeur de 100 (Cf. Groupe Froid de gauche), et son efficacité frigorifique est fixée à 5. Ce qui représente une consommation électrique de 20 et une énergie condenseur de 120 à une température de 35°C.

Dans le cas d'une température de condensation de 50°C du groupe froid (Cf. Groupe Froid de droite), l'efficacité du groupe va se dégrader, par exemple, ici nous passons de 5 à 3. Cette dégradation entraîne une surconsommation du compresseur de près de 70%, passage de 20 à 33. A l'inverse, l'énergie côté condenseur passe de 120 à 133, avec une température de 50°C. Nous passons d'un système avec de l'énergie très difficilement valorisable par sa température de 35° (énergie perdue) à une énergie valorisable par sa température de 50°C.

Ainsi, une augmentation de +13 au compresseur (énergie électrique) des groupes du Data Center, permet de mettre à disposition, à des clients, un potentiel de récupération énergétique de +133 à 50°C : le rapport est donc de 1 sur 10.

C'est, sur cette approche que DALKIA a réalisé un réseau de chaleur basse température (48°C/38°C) à Bailly-Romainvilliers en Seine-et-Marne (Cf. 3.2 Récupération de l'énergie fatale d'un Data Center sur un réseau de chaleur), avec une contractualisation auprès du Data Center (avec une prise en compte de la surconsommation des compresseurs).

2.2 Récupération de l'énergie fatale d'un Data Center sur un réseau de chaleur

Dans les revues de presse, il est largement évoqué la possibilité, ou plutôt le potentiel d'énergie dite « fatale récupérable » au sein d'un Data Center.

Les opérations (ou les intentions de...) qui sont passées à l'acte, au niveau réalisation sont assez rares, la concrétisation n'est pas toujours là. En France, quelques opérations ont été réalisées pour chauffer une serre, un bâtiment annexe ou les propres bureaux du Data Center.

Entre le début d'un projet (les intentions) et la réalité, plusieurs années après, les objectifs ne sont pas forcément concordants.

En France, une seule opération a utilisé cette énergie pour créer un réseau urbain, c'est le cas du **réseau basse température de Bailly-Romainvilliers** avec récupération d'énergie fatale sur le Data Center de Natixis (Cf. § 9.1 Annexe 1 : CR1 - Cas du réseau basse température de Bailly-Romainvilliers et du Data Center Natixis + Cible SIG).

Comme toutes les opérations, nous avons beaucoup de communication sur le projet et ses intentions, mais rares sont les publications sur un retour d'expérience.

Nous avons rencontré l'exploitant Dalkia mais, malheureusement, nous n'avons pas pu visiter le Data Center Natixis. Les informations recueillies sur le Data Center sont issues d'internet, revues de presse, bilans annuels Natixis ou filiale...

2.2.1 Data Center NATIXIS

En 2007, Natixis lance une opération de construction de 2 Data Centers (Vega et Sirius) distant de 30 km, dont 1 à Bailly-Romainvilliers (Vega) dont la livraison est réalisée fin 2009 [18] [19].

Le Data Center de Bailly-Romainvilliers, avec 4 salles IT de 750 m² chacune, a fait l'objet d'une démarche de certification HOE®, dans le cadre d'une opération pilote pour le développement d'un référentiel HOE® applicable aux Data Centers. C'est dans ce contexte, avec une gestion optimale de l'énergie que le transfert de chaleur a été envisagé, auprès d'un futur centre aquatique.

Ce Data Center représente une surface totale de 12 000 m² (dont 25% de salles IT) et les équipements techniques installés ont une correspondance de niveau TIER IV [20].

Nota : Dans son « Document de référence et Rapport financier annuel 2013 » [21], Natixis fait apparaître une consommation d'énergie 2011 de 50 626 MWh lié à l'exploitation de 3 Data Centers. Entre 2011 et 2012, Natixis transfère 2 Data Centers, Sirius et Vega (Data Center de Bailly-Romainvilliers), à sa filiale BPCE, ce qui représente une consommation d'énergie de 40 692 MWh. Comme les 2 Data Centers Sirius et Vega sont identiques, nous pouvons en déduire les ratios suivants :

- Consommation annuelle d'un Data Center 20,3 GWh, soit 6 782 kWh/m²IT,
- Consommation de la part IT (60%) 12,2 GWh, soit 4 069 kWh/m²IT,
- Ratio de puissance installée de **465 W/m²IT**,
- Énergie fatale récupérable 15,3 GWh, soit 1 271 MWh/mois.

Une estimation de l'énergie récupérable à partir de l'organigramme (Cf. § 3.1.4 Algorithme de détermination du potentiel d'énergie récupérable sur un Data Center) fait apparaître une énergie récupérable annuelle (à 35°C) de 16,4 GWh, soit 1 369 MWh/mois.

2.2.2 Centre Aquatique

Le centre aquatique du Val d'Europe, d'une surface de 3 500 m² avec 775 m² de bassin, a été inauguré en septembre 2012 [22]. Le site est constitué de [23] :

- 1 bassin sportif de 25 m de 8 couloirs, soit 525 m²,
- 1 bassin ludique de 250 m²,
- 1 bassin extérieur de 25 m (ouvert toute l'année),
- Sauna, hammam, solarium...

2.2.3 Pépinière d'entreprises

La pépinière d'entreprises représente un bâtiment d'une surface de 1 800 m², pour une surface chauffée d'un peu plus de 1 500 m². Ce bâtiment est composé de 26 bureaux de 12 à 40 m², de 2 salles de réunions et 7 ateliers de 70 à 100 m² [24] [25].

Les locaux sont équipés, en plafond, de panneaux rayonnants à chaleur douce.

2.2.4 La chaufferie Dalkia

Le local technique de la chaufferie de Dalkia est équipé d'un échangeur de 3,5 MW, qui permet de récupérer la chaleur issue du Data Center. Un emplacement est prévu pour l'ajout d'un échangeur complémentaire de 3,5 MW, dans le cas de l'implantation de 2 nouveaux Data Centers [24].

Une chaudière gaz d'appoint de 5 MW est utilisée en secours.

Le régime de fonctionnement du réseau est de 48°C / 38°C : Dalkia a contractualisé avec Natixis pour rehausser la température de condensation des groupes froid afin d'obtenir une température de réseau de 48°C.

2.2.5 Principe du système

Au sein du Data Center Natixis, la récupération d'énergie s'effectue sur 2 Groupes Froid sur les 6 installés.

Le Data Center alimente la chaufferie à partir d'un réseau d'environ 900 m. La chaufferie transfère cette énergie via un second réseau d'environ 2 km, pour alimenter les sous-stations des utilisateurs finaux. Dans les sous-stations, un appoint gaz permet de rehausser la température pour la production d'ECS et complément de chauffage.

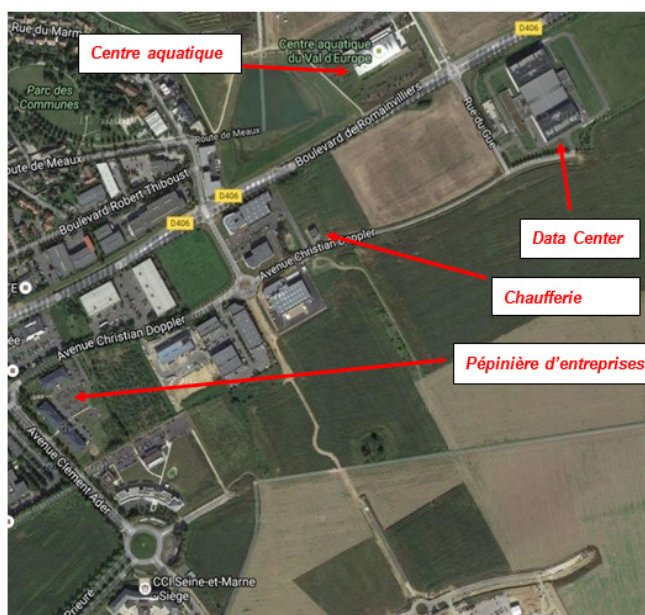


Figure 25 : Vue aérienne de la ZAC du Prieuré

Nota : A l'origine, le réseau de chaleur de la ZAC du Prieuré a été dimensionné sur l'énergie récupérable sur le Data Center Natixis et devait pouvoir chauffer jusqu'à 600 000 m². Aujourd'hui, seul la piscine et la pépinière d'entreprises sont connectées au réseau, cela représente 6 000 m² [24].

2.2.6 Quelques résultats

Le graphe ci-dessous représente la quantité d'énergie récupérée au niveau du Data Center pour les années 2013 et 2014.

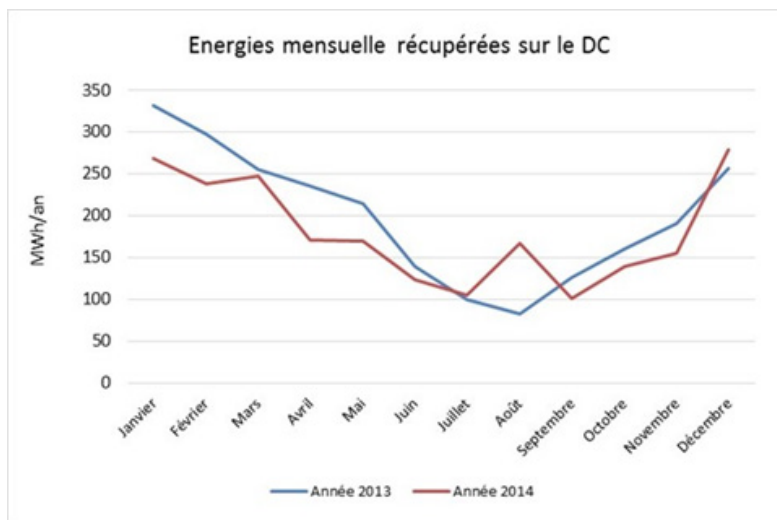


Figure 26 : Quantité d'énergie récupérée au niveau du Data Center (2013 et 2014)

En 2013, la quantité de chaleur récupérée au niveau du Data Center est de 2,4 GWh et de 2,2 GWh pour l'année 2014. Un contrat avec le Data Center Natixis permet à Dalkia d'acheter cette récupération d'énergie fatale.

Cette énergie est utilisée pour alimenter un centre nautique avec une consommation d'environ 2 GWh/an et une pépinière d'entreprises avec une consommation d'environ 75 MWh/an. Ce sont les besoins énergétiques du centre aquatique qui conditionnent le volume d'énergie fatale récupérée.

Le graphe ci-dessus montre la variation saisonnière de la demande des utilisateurs finaux, avec 1 point haut en hiver d'environ 330 MWh/mois et 1 point bas pendant l'été d'environ 80 MWh/mois. L'énergie non utilisée sur le réseau est évacuée au niveau du Data Center.

Sur ces 2 années, la chaudière gaz d'appoint n'a pas été utilisée : 100% de l'énergie sortie de la chaufferie provenait du Data Center.

Nota : Pour le mois un mois de janvier, un échangeur d'une puissance de 3,5 MW représente une consommation max de 2 604 MWh : un Data Center fonctionne en continu 24h/24. Le graphe ci-dessus fait apparaître une quantité de chaleur récupérée de 330 MWh pour le mois de Janvier (consommation la plus importante) : cette consommation ne représente que 13% de l'énergie maximale disponible à l'échangeur.

2.3 L'énergie fatale nouvelle génération

Après avoir décrit ce que est un Data Center, comment il est structuré, quelles sont les technologies de production que nous pouvons rencontrer, décrit les différents postes de consommations, comment estimer l'énergie de récupération dite « fatale » et quelles sont les contraintes de cette récupération basse température (avec la solution PAC HT), nous avons bénéficié d'un retour d'expérience d'un cas idéal, de la seule opération en France à avoir créé un réseau basse température neuf à partir de la récupération d'énergie d'un Data Center.

Jusqu'à maintenant, dans les différents schémas décrits de récupération d'énergie au sein d'un Data Center nous sommes dans une configuration dite « classique », avec une production d'énergie dans un lieu (la sollicitation sur les équipements informatiques génère de la chaleur), transport de l'énergie au travers du quartier, de la ville (cas du neuf utilisé tel quel dans un réseau basse température ou température rehaussée par PAC HT dans de cas de réseau existant) et utilisation chez le client à partir d'appareils terminaux (radiateurs ou autres...).

Aujourd'hui, d'autres modèles apparaissent, avec d'autres méthodes de penser. En effet, implicitement quand nous pensons récupération, nous pensons échangeurs de chaleur, canalisations, pompes, débits, températures, etc... Bref, nous pensons en « plombiers ». A l'inverse, ces nouveaux modèles ont une approche innovante :

Pour être compétitif sur le coût du calcul à haute performance, le « High Performance Computing (HPC) », l'idéal serait ne pas à avoir à investir dans un Data Center, mais de disposer d'une multitude de serveurs distribués sur le réseau Internet.

De plus, puisque, in fine, l'électricité consommée par ces serveurs se dissipe sous forme de chaleur, pourquoi ne pas installer ces serveurs dans des bâtiments ayant justement des besoins de chauffage. Plutôt que des serveurs consomment de l'électricité dans un Data Center (qu'il faudra en plus climatiser), autant dissiper cette énergie chez des personnes qui en ont besoin. Cette vision, d'approche innovante pour la récupération d'énergie fatale est mise en pratique par différentes « start-up ».

2.3.1 Le radiateur numérique

La « start-up » **Qarnot Computing** [26] (Cf. §9.3 Annexe 3 : CR3 - Q-Rad, le radiateur numérique de Qarnot-Computing) a mis au point un radiateur numérique, le « Q.RAD », appareil de type chaleur douce, d'une dimension de 65x60x16 cm (HxLxP) pour un poids de 27 kg. Il est composé de mini-serveurs embarqués qui exécutent à distance, via Internet, des opérations informatiques (calculs, traitements, etc.) pour des entreprises.



Figure 27 : Le Q.RAD installé dans une pièce et une vue éclatée du radiateur

Le Q.RAD a une puissance dissipée unique de 500 W. L'utilisateur règle sa consigne et le système de régulation adapte la fréquence des processeurs en fonction des besoins, avec un arrêt des calculs le cas nécessaire (ex : en période estivale).

Q.ware est la plateforme logicielle qui permet de distribuer dynamiquement de manière sécurisée les calculs, en prenant en charge notamment :

- l'ajustement de la fréquence des processeurs (régulation de la température),
- la sélection du nœud de calcul optimal : Q.rads, DC adossés ou IaaS (Infrastructures as a Service),
- la séquence démarrage, distribution et récupération des calculs,
- la gestion des tâches (progression, reprise sur erreur, etc.).

Le radiateur est raccordé à internet via une prise RJ45 et le site doit disposer de la fibre (100 Gb symétrique). En cas de panne ou par grands froids, le radiateur est équipé d'une résistance électrique de secours.

Oarnot Computing prend en charge la consommation électrique et la maintenance du radiateur numérique, alors que l'investissement du Q.RAD est réalisé par le client, soit 2 500 € HT/unité. Oarnot Computing a installé plus de 300 Q.RAD dans des logements sociaux à Paris [27].

Oarnot Computing vient de faire évoluer son radiateur Q.RAD en un appareil connecté, le « Smart Q.RAD ». L'évolution porte dans l'ajout d'un équipement constitué de près de 20 capteurs, interfaces et communication :

Capteurs

- Température,
- CO₂,
- Humidité,
- Niveau de bruit,
- Un micro stéréo,
- Détecteur de présence,
- Luminosité,
- Pression,
- Qualité d'air avec la mesure des COV.

Interface

- un écran tactile,
- un chargeur smartphone à induction,
- bandeau LED (l'objectif est de créer une ambiance ou une veilleuse avec minuteur pour les enfants),
- enceinte stéréo,
- Recharge USB double,
- Capteur de proximité.

Communication

- le wifi (qui émet, selon Oarnot, un signal plus doux qu'une box classique ; le « on/off » du wifi peut être couplé à la détection de présence),
- Bluetooth,
- Connexion 100 mégabit Ethernet symétrique,
- EnOcean®, protocole compatible pour des applications domotique sans batterie/fil,
- Extension USB.

En 2017, 347 « Smart Q.RAD » doivent être installés dans des logements sociaux Bordelais [28]. L'investissement de cette nouvelle génération de radiateur numérique représente un coût de 3 500 € HT/unité.

Pour décembre 2016, des Q.Rads vont être installés au bâtiment WAI (We Are Innovation) de BNP Paribas à Paris (BNP est client de Oarnot Computing pour la réalisation de calcul à haute performance) [29].

2.3.2 L'Eau Chaude Sanitaire numérique

La « startup » Stimergy [30] a développé une chaudière numérique destinée à produire de l'Eau Chaude Sanitaire (ECS). Sa chaudière numérique est composée de 22 serveurs qui dissipent une puissance crête de 6 000 Watts. 94 % de l'énergie électrique consommée par la chaudière est récupérée (équivalence d'un PUE de 1,06).

Les serveurs sont plongés directement dans un bain d'huile. Les calories dissipées permettent une montée en température vers 45°C et de préchauffer l'eau chaude sanitaire de l'immeuble via un échangeur thermique.

L'Eau Chaude Sanitaire est un usage annuel, avec un stockage.

Ce système de récupération d'énergie est adapté aux bâtiments collectifs tels immeubles, hôtelleries, piscines...



Figure 28 : Chaudière numérique Stimergy

Nota : Quel que soit la solution retenue entre « radiateur numérique » ou « chaudière numérique », rien ne peut se faire sans la fibre optique. L'avantage de ces systèmes « basse température » est que nous sommes proche ou directement chez l'utilisateur.



Étude d'opportunité sur l'exploitation de l'énergie fatale récupérée auprès des data center

Dans les différents paragraphes ci-dessus, nous avons vu ce qu'était un Data Center, ce que nous pouvions récupérer comme énergie dite « fatale » et la connexion entre cette énergie, le réseau urbain et l'utilisateur.

Un Data Center présente un potentiel d'énergie récupérable à basse température. Pour pouvoir utiliser cette énergie, cette chaleur, il faut pouvoir la transporter. Dans le chapitre précédent (Cf. § 3.2 Récupération de l'énergie fatale d'un Data Center sur un réseau de chaleur) nous avons présenté une opération, unique en France, sur la création d'un réseau de chaleur à partir de la récupération de chaleur fatale. Ce cas est idéal lors de la création de zones, de ZAC, avec un Data Center récemment implanté à proximité.

3.1.1 Ciblage SIG du couple Data Center / Réseaux de chaleur en Île-de-France

Dans la plupart des cas, et surtout dans le cas du Data Center existant en zone urbaine, pour pouvoir transporter l'énergie récupérable, il faut s'attacher à un réseau de chaleur déjà existant, d'où cette première question : **y-a-t-il des Data Centers situés à proximité des réseaux de chaleur ?**

La plupart des réseaux de chaleur existants (80%) ont des températures d'eau chaude $\leq 110^{\circ}\text{C}$ (Cf. 3.1.2 Caractérisation de la chaleur fatale).

Pour éviter des coûts d'investissements trop élevés, création d'un réseau entre le Data Center et le réseau de chaleur, et des pertes thermiques trop élevées, nous nous cantonnerons à une distance réseau-Data Center de 2 km, d'où cette deuxième question : **Quels sont les Data Centers situés à moins de 2 km (en curviligne voirie) d'un réseau de chaleur dans laquelle la température est $\leq 110^{\circ}\text{C}$?**

Pour répondre à ces questions, les compétences du bureau d'études SETEC en cartographie ont été utilisées, à partir du système SIG (Système d'Information Géographique). Ce ciblage SIG est réalisé uniquement en Île-de-France afin d'estimer les affaires potentielles sur ce territoire. Le détail de l'étude se trouve en annexe (Cf. § 9.1 Annexe 1 : CR1 - Cas du réseau basse température de Bailly-Romainvilliers et du Data Center Natixis + Cible SIG Annexe CR1 et Cf. § 9.2 Annexe 2 : CR2 – Potentiels énergétique en Île-de-France sur 3 opérations ciblées par SIG).

La requête SIG nous permet de retenir 3 Data Centers répondant positivement à nos 2 questions. Ci-joint une synthèse des données (pour les données complètes cf. § 9.1 Annexe 2 : CR2 – Potentiels énergétique en Île-de-France sur 3 opérations ciblées par SIG) :

- **Alionis à Villebon-sur-Yvette,**
 - o Superficie totale de 1 100 m²
 - o Distance Data Center / Réseau de chaleur : environ 150 m
 - o Estimation énergie récupérable : entre 1 à 2 GWh_{35°C}/an (avec une surface IT de 30% ou 60%)
 - o Particularité : Hypothèse forte sur le système de climatisation par groupe à condensation à eau

- **Green Data Center à Suresnes,**

- o Superficie totale de 1 850 m²
- o Distance Data Center / Réseau de chaleur : 0 m, le bâtiment est déjà alimenté par le réseau
- o Estimation énergie récupérable : entre 1,8 à 3,6 GWh_{35°C}/an (avec une surface IT de 30% ou 60%)
- o Particularité : Data Center intégré dans un immeuble de bureaux de 7 étages, dont la surface est estimée à 10 000 m²

- **Easynet à Nanterre,**

- o Superficie totale 1 300 m²
- o Distance Data Center / Réseau de chaleur : environ 800 m
- o Estimation énergie récupérable : entre 1,25 à 2,5 GWh_{35°C}/an (avec une surface IT de 30% ou 60%)
- o Particularité : Data Center intégré dans un immeuble de bureaux, dont la surface est estimée à 40 000 m²

Dans les 3 cas ci-dessus, le principe retenu est d'intégrer une Pompe à Chaleur Haute Température (PAC HT) entre le Data Center et le réseau de chaleur pour relever l'énergie récupérée à 35°C vers un réseau, d'où la température de départ se situe entre 80 et 110°C (Cf. § 4.1.4 Pompe à chaleur Haute Température (PAC HT)).

3.1.2 Potentielle du couple Data Center / Réseau de chaleur en Île-de-France

Le résultat du tableau ci-dessous présente, pour les 3 Data Centers, une estimation des coûts d'investissement uniquement pour une connexion entre le couple Data Centers / Réseau de chaleur (sans tenir compte de la PAC HT), divisés par la quantité d'énergie fatale récupérable sur 10 ans.

Data center	Alionis		Green Data Center		Easynet			
	Villebon sur Yvette		Suresnes		Nanterre			
Energie récupérable à 35°C (GWh/an)	Hypothèse Basse (HB)	Hypothèse Basse (HH)	HB	HH	HB	HH		
	1	2	1,8	3,6	1,25	2,5		
Distance au Réseau De Chaleur (RDC) (m)	150		30		800			
Investissement réseau €/m	500		400		1000			
Investissement réseau	75 000		12 000		800 000			
Durée de projection (ans)			10					
"Coût d'accès" à l'énergie de récupération	€/MWh _{35°C}		7,5	3,8	0,7	0,3	64	32

Figure 29 : Estimation « des coûts d'accès » entre le couple Data Center / Réseau (Cf. Annexe2 CR2)

Parmi les 3 Data Centers ciblés, le Green Data Center à Suresnes présente le coût d'accès le plus faible avec 0,3 à 0,7 €/MWh_{35°C} (réseau de chaleur en pied d'immeuble). Celui d'Alionis reste abordable avec 3,8 à 7,5 €/MWh_{35°C} mais une hypothèse forte a été faite sur le type de groupe de production : groupe à condensation à eau, cas idéal pour la récupération (point à valider). Pour le dernier site, les coûts d'accès sont de l'ordre de grandeur du prix du gaz.

Bien entendu, à cela, il faudra ajouter une PAC HT entre le Data Center et le réseau de chaleur pour relever une énergie récupérée à 35°C vers un réseau d'où la température de départ se situe entre 80 et 110°C.

Nota : Les Data Centers de Suresnes et de Nanterre sont intégrés dans des immeubles de bureaux. Pour ces 2 sites, ils seraient plus intéressants de récupérer l'énergie pour chauffer le bâtiment lui-même, plutôt que de réaliser un transfert vers un réseau de chaleur. L'étude de ces 2 cas fait apparaître un ordre de grandeur : 1 m² de Data Center présent dans un bâtiment peut chauffer environ 8 m² de bureaux. Tous ces résultats sont conditionnés aux différentes hypothèses, qui reste à être valider.

3.1.3 Ciblage SIG du couple Data Center / Piscine en France

Dans le cas du réseau à basse température de Bailly-Romainvilliers (Cf. § 3.2), la récupération sur le Data Center permet d'alimenter un centre aquatique, avec des demandes en énergie toutes l'année, plus ou moins importantes suivant la saison. L'avantage de ce cas, est que la piscine est alimentée en direct, via un échangeur et cela sans intégrer de PAC HT. Un appoint gaz est utilisé en sous-station pour relever la température pour la production d'Eau Chaude Sanitaire.

Fort de ce cas et en utilisant toujours les compétences de SETEC en SIG, la même démarche a été réalisée que le couple précédent Data Center / Réseau de chaleur.

Les questions suivantes sont posées : **Quelles sont les couples Data Centers et piscines situés tout d'abord à moins de 2 km de distance ? Puis à moins de 500 m de distance ?**

La requête SIG a permis d'identifier en France 88 Data Centers à moins de 2 km de 144 piscines. Une focalisation autour des 500 m de distance permet de restreindre à 13 Data Centers pour 10 piscines.

Cas	Quoi	Qui	Où	m2	Distance DC Piscine (m)	
1a	DC	Datacenter Lyon 3	Villeurbanne	47 Rue Francis de Pressensé	2 000	400
	1b	DC		ELB Multimédia	17 rue Jean Bourgey	1 000
	Piscine	André Bouloche		Rue François de Pressensé	250	
2	DC	NeoCenter	Montpellier	143, rue Emile Julien	350	380
	Piscine	Jean Vives		Avenue de Morin	250	
3	DC	Alienor.net	Le Bouscat	375 Avenue de Tivoli	375	525
	Piscine	des Ecus		Rue des Ecus	433	
4	DC	Cogent	Rouen	20 rue alexandre Barrabé	350	400
	Piscine	Diderot		Boulevard de l'Europe	360	
5	DC	Le Capitol	Nanterre		1 300	655
	Piscine	Maurice Thorez		Palais des sports	1 393	
6	DC	Cogent Paris 2	Gar. Colombes	77 Boulevard de la République	600	320
	Piscine	Municipale		3 rue Lucien Jeannin	465	
7	DC	Global Switch	Clichy	Rue Petit	15 000	555
	Piscine	Gérard Durand		Rue Pierre Béregovoy	591	
8	DC	Colt Paris	Paris	63 Boulevard Bessière	9 454	510
	Piscine	Bernard Lafay		79 rue de la Jonquière	388	
9	DC	Médiactif Network	Paris	3 cité Paradis	1 000	550
	Piscine	Paul Valeyre		22 rue de Rochechouart	313	
10	DC	NeoCenter	Paris	19 rue Poissonnière		
	DC	Téléhouse 1		38 rue des Jeneurs		
	DC	Aéropolis		35 rue des Jeneurs		
	Bassin école	Léopold Bellan		Rue Léopold Bellan	75	

Figure 30 : Résultat de la requête SIG Data Centers proches (<500 m) d'une piscine

Figure 30 : Résultat de la requête SIG Data Centers proches (<500 m) d'une piscine

* Dans le tableau, les m² pour les piscines correspondent à des m² de bassins.

Le tableau ci-dessus permet de lister les couples Data Center / Piscine les plus favorables en terme de distance.

Parmi tous ces cas, seul le cas n°5 fait apparaître un TRI > 15% et cela avec un corps d'hypothèse très optimiste. De plus, ce cas rentre dans la configuration d'un Data Center intégré dans un immeuble de bureaux : récupération pouvant être effectué au sein de l'immeuble : cela restreint énormément le potentiel initial.

3.1.4 Pompe à chaleur Haute Température (PAC HT)

Au sein du paragraphe précédent, dès que nous évoquions le couple Data Center / Réseau de chaleur, nous nous sommes confrontés à une différence de niveau de température : Data Center avec une énergie récupérable à 35°C contre des réseaux de chaleur avec des températures de 80 à 110°C.

Si nous voulons utiliser le vecteur réseau de chaleur pour transporter l'énergie récupérable (dans le cadre des réseaux existant), il nous faudra relever la température de cette énergie. Une des solutions consiste à utiliser des PAC HT.

Une PAC est un système thermodynamique qui permet de récupérer de l'énergie contenue dans un fluide à basse température et de restituer cette énergie à un niveau de température plus élevé (cf. § 3.1.1).

Nous avons vu dans le paragraphe « 3.1.5 Accroissement du potentiel d'énergie récupérable » qu'il était possible d'augmenter la température de condensation d'un groupe froid : passage d'une température de condensation de 35°C à 50°C. A ce niveau, les conséquences de cette manipulation (modification de la consigne) est une dégradation de l'Efficacité Frigorifique du groupe (consommation plus élevée du compresseur) et nous sommes limités sur la hausse de la température.

Les fabricants ont développé des Pompes à chaleur dites « Haute Température » (PAC HT), dont le principe est d'explorer le potentiel calorifique de la source froide (à l'évaporateur) de récupération pour chauffer des bâtiments [31]. En générale, les températures de récupération se situent par exemple entre 13 à 20 °C pour les eaux usées, 30 à 35 °C pour l'énergie évacuée par un groupe froid dans un Data Center, voire des températures plus hautes dans le cadre de l'industrie...

Jusqu'à aujourd'hui, l'offre des PAC HT proposait des machines pouvant produire des températures de l'ordre de 65-70°C. Pour aller au-delà, il fallait mettre plusieurs machines en série, avec les conséquences de dégradation de la performance de l'installation (multiplication des auxiliaires).

Depuis le début de l'année 2016, certains constructeurs (ex : CARRIER) propose des PAC HT avec des températures d'eau chaude (côté condenseur) de l'ordre de 85°C.

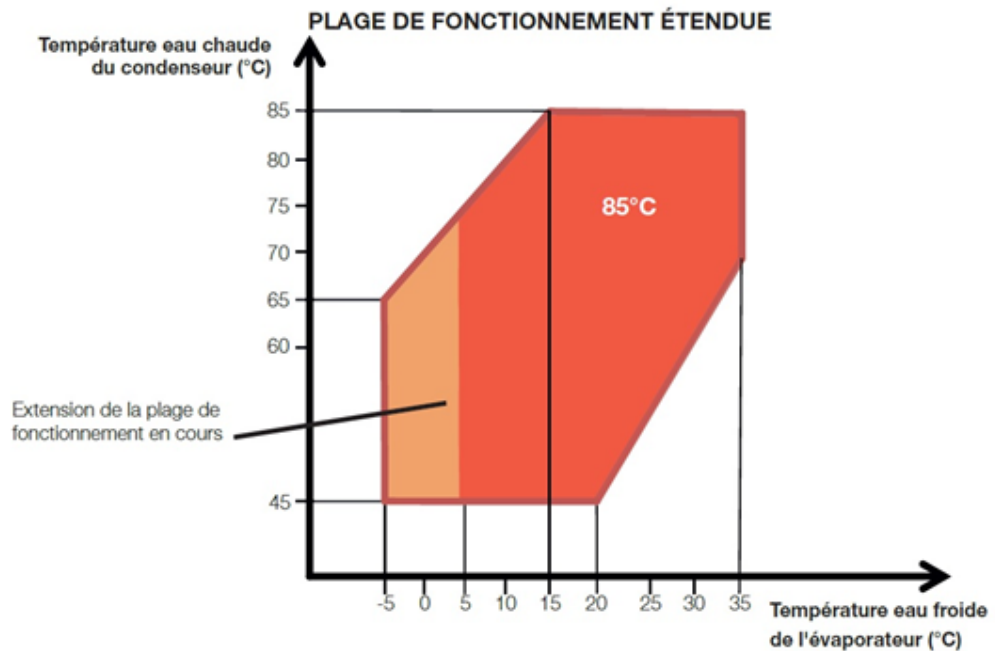


Figure 31 : Plage de fonctionnement PAC HT de marque CARRIER

La Figure 31 ci-dessus, nous montre que dans le cas idéal d'un Data Center (production de froid par des groupes eau/eau), l'énergie évacuée au condenseur de 30 à 35°C peut être récupérée à l'évaporateur d'une PAC HT pour produire de l'eau chaude jusqu'à 85°C. Nous nous situons dans la limite haute de fonctionnement de la PAC HT, ici de marque CARRIER.

Ces niveaux de températures sont beaucoup plus compatibles avec des réseaux de chaleur existant.

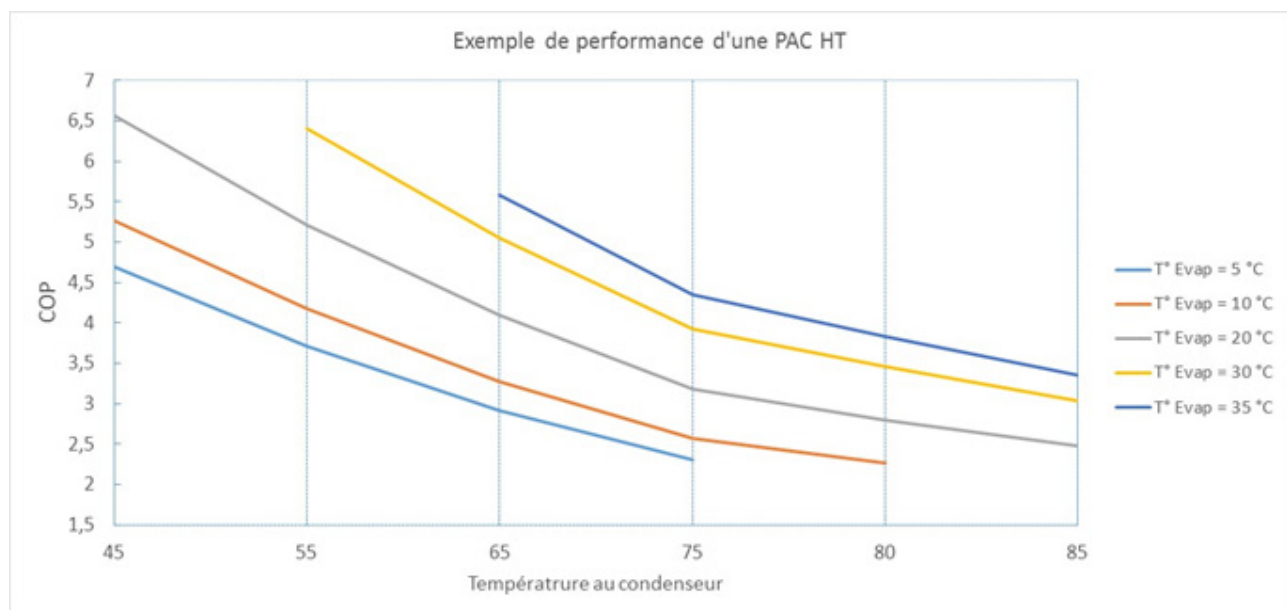


Figure 32 : Exemple de performance d'une PAC HT de marque CARRIER

Par contre, plus l'écart est important entre la source (à l'évaporateur) et les besoins (au condenseur), plus la performance du groupe sera faible.

Nota : Au début de l'année 2016, CARRIER a mis en service ce nouveau type de PAC HT en Suisse, au sein d'un Data Center : d'un côté, la PAC refroidit le Data Center et de l'autre côté, l'eau chaude à 65°C est réinjectée dans un réseau de chaleur (zone industrielle). Une extension est prévue en 2017 pour fournir le chauffage à 3000 logements [32].

Ce montage est en plein dans le scope d'EFFICACITY. Une des perspectives serait de se rapprocher de CARRIER pour obtenir plus d'informations sur les performances réelles de la machines, du couple PAC HT / Réseau urbain et voire du montage avec les utilisateurs finaux.



Conclusion

Les différentes visites de Data Centers et les échanges avec les gestionnaires nous ont permis d'avoir une vision plus détaillée de ce qu'est un bâtiment numérique tel qu'un Data Center (le fonctionnement, la sécurité, les contraintes...). Nous avons exploité les quelques données fournies et ainsi pu définir un algorithme d'estimation du potentiel d'énergie fatale récupérable au sein d'un Data Center. Cette quantité d'énergie fatale est disponible pour avec une température moyenne de 35°C.

Dans cette estimation, le chiffre clé à retenir est **500 W/m²IT**, ratio qui représente la puissance utile d'une salle serveur, quel que soit sa taille.

Ce calcul du potentiel d'énergie fatale récupérable reste une estimation. L'étape suivante dans la démarche est de s'assurer de la faisabilité de la récupération de cette énergie, qui est dépendante de la technologie de refroidissement utilisé au sein du Data Center : cas idéal système à eau/eau, pour les autres systèmes la faisabilité reste complexe (air/eau) voire impossible (free-cooling ou autre).

Dans le cadre de la récupération d'énergie fatale, les chiffres et les données clés utiles dans un Data Center sont :

- **Les surfaces, avec la distinction entre la surface totale et la surface liée à IT,**
- **Les puissances électriques mise en jeu, puissance IT,**
- **Le système de refroidissement, faisabilité d'une récupération.**

Sous le terme de Data Center, il y a 2 catégories différentes : le bâtiment dédié au Data Center ou l'immeuble de bureaux hébergeant un Data Center. Pour le second cas, il serait plus intéressant de récupérer l'énergie pour chauffer le bâtiment lui-même, plutôt que de réaliser un transfert vers un réseau de chaleur. L'étude de 2 cas fait apparaître un ordre de grandeur : 1 m² de Data Center présent dans un bâtiment peut chauffer environ 8 m² de bureaux.

Pour les bâtiments dédiés au Data Center, un grand nombre de ces bâtiments existants se situent à proximité des réseaux de distribution électrique et de fibres optiques, mais très peu sont proches d'un réseau de chaleur traditionnel et compatible avec une récupération : températures des réseaux de chaleur sont trop élevées (Température > 80°C).

Dans le cas de l'implantation d'un Data Center (cas du neuf), il est possible de créer un réseau de chaleur basse température permettant d'utiliser le potentiel de l'énergie fatale, avec des températures de récupération relevées de 35°C à 50°C (augmentation de la température de condensation des groupes froid), mais cela nécessite une synchronisation entre la construction du Data Center et l'évolution de la zone (les utilisateurs).

Des pistes différentes peuvent ponctuellement exister, avec des demandeurs de chaleur se rapprochant du Data Center : maraicher, horticulteur...

Depuis le début de l'année 2016, certains constructeurs de groupes froid (ex : CARRIER) proposent des PAC HT avec des températures d'eau chaude (côté condenseur) de l'ordre de 85°C : une solution technique permettant de relever la température de l'énergie fatale (de 35°C à 85°C).

En conclusion, nous estimons que la récupération « traditionnelle » sur les DC, à l'échelle urbaine, ne concernera que quelques opérations sur le territoire, très particulières et pas forcément reproductibles de façon générique, comme peuvent l'être des projets de récupération sur les eaux usées, par exemple.

Aujourd'hui, d'autres modèles apparaissent, avec d'autres méthodes de penser. Des start-ups françaises, avec une approche en rupture, propose une méthode innovante pour la récupération d'énergie fatale : plutôt que des serveurs consomment de l'électricité dans un Data Center (qu'il faudra en plus climatiser), autant dissiper cette énergie directement dans les bâtiments, chez des personnes qui en ont besoin.





Perspectives

La note ci-dessous nous permet de mieux comprendre la conception d'un Data Center et d'avoir une certaine visibilité sur les différentes technologies de climatisation utilisée, la faisabilité d'une récupération et l'estimation de l'énergie fatale.

Approfondir la connaissance des PAC Haute Température

Un des facteurs important dans la caractérisation de la récupération de la chaleur fatale est son niveau de température : environ 35°C en sortie de condenseur. Pour pouvoir intégrer de la chaleur basse température à des réseaux de chaleur, cela passe par une remontée du niveau thermique de l'énergie fatale de récupération.

Des nouvelles PAC HT apparaissent sur le marché, permettant de passer à des températures de l'ordre de 85°C.

L'opération réalisée en Suisse, récemment, montre le potentiel de ces nouvelles machines : d'un côté, la PAC refroidit le Data Center et de l'autre côté, l'eau chaude à 65°C est réinjectée dans un réseau de chaleur (zone industrielle). Une extension est prévue en 2017 pour fournir le chauffage à 3000 logements [32].

Une des perspectives serait dans un premier temps, d'approfondir, de réaliser des travaux complémentaires sur les PAC HT ayant des potentiels de températures aussi élevées (même problématique dans le cadre de la récupération d'énergie des eaux usées).

Sur la base de l'opération réalisée en Suisse (Cf. § 4.1.4), l'étape suivante consiste à se rapprocher de CARRIER pour obtenir plus d'informations sur les performances réelles de leur PAC HT, du couple PAC HT / Réseau urbain et voire du montage avec les utilisateurs finaux.

Poursuivre le REX terrain au moyen de conventions avec les acteurs concernés

Poursuivre un travail de fond, sur des opérations existantes utilisant la récupération d'énergie fatale dans le réseau de chauffage au sein du bâtiment : université de Dijon et le Green Data Center [33], futur Data Center Titan à Mougins avec récupération...

Compléter le Rex terrain sur les approches de solutions innovantes de récupération d'énergie fatale tel que Quarnot Computing (300 Q.RAD dans des logements sociaux à Paris [27]) et Stimergy (eau chauffée à partir de chaudières numériques à la piscine de la Butte-aux-Cailles à Paris).





Table des figures

- Figure 1** : répartition de la taille de la salle IT (m²)
- Figure 2** : Niveaux Tier, source CBRE [12]
- Figure 3** : Courbe d'efficacité type de l'infrastructure d'un Data Center [13]
- Figure 4** : Schéma de production par Groupe Froid eau-eau
- Figure 5** : Schéma de production par Groupe Froid air-eau
- Figure 6** : Schéma de production par un système à détente direct
- Figure 7** : Photo du Data Center lors de sa construction
- Figure 8** : Distribution des fonctionnalités du Data Center
- Figure 9** : Vue d'une salle serveur sur la Gestion Technique Centralisé / Photo salle serveur
- Figure 10** : Configuration des salles serveurs
- Figure 11** : Schéma de refroidissement d'une salle informatique [34]
- Figure 12** : Schéma de la production de froid du Data Center
- Figure 13** : Courbe de charge d'un Data Center D'entreprise de Septembre 2014 à Février 2016
- Figure 14** : Consommation électrique d'un Data Center D'entreprise pour l'année 2015
- Figure 15** : Répartition de la consommation annuelle par poste
- Figure 16** : Efficacité frigorifique des 2 systèmes de production par condensation à eau et à air
- Figure 17** : Impact du choix du système sur le PUE
- Figure 18** : Energie récupérable pour l'année 2015

Figure 19 : Puissances appelées en IT et Production froide d'un Data Center avec Free-Cooling

Figure 20 : Courbe de fonctionnement d'un Data Center avec et sans free-cooling

Figure 21 : Schéma du circuit frigorifique d'un groupe froid

Figure 22 : Origine et caractérisation des rejets thermiques [16]

Figure 23 : Organigramme de détermination du potentiel d'énergie récupérable sur un Data Center

Figure 24 : Bilan d'un Groupe Froid avec une température de condensation de 35°C à gauche et température de condensation de 50°C à droite

Figure 25 : Vue aérienne de la ZAC du Prieuré

Figure 26 : Quantité d'énergie récupérée au niveau du Data Center (2013 et 2014)

Figure 27 : Le Q.RAD installé dans une pièce et une vue éclatée du radiateur

Figure 28 : Chaudière numérique Stimergy

Figure 29 : Estimation « des coûts d'accès » entre le couple Data Center / Réseau (Cf. Annexe2 CR2)

Figure 30 : Résultat de la requête SIG Data Centers proches (<500 m) d'une piscine

Figure 31 : Plage de fonctionnement PAC HT de marque CARRIER

Figure 32 : Exemple de performance d'une PAC HT de marque CARRIER





Références

- [1] Efficacity, <http://www.efficacity.com/fr/>.
- [2] Efficacity, Etat des lieux des ressources de chaleur fatale en milieu urbain, Juillet 2015.
- [3] Recov'Heat, <http://tools.efficacity.com/recovheat-presentation-generale/>.
- [4] Journal du net, Data center : la France, quatrième pays le mieux équipé au monde, <http://www.journaldunet.com/solutions/cloud-computing/data-center-classement-des-pays-selon-xerfi.shtml>.
- [5] Colocation Data Centers, <http://www.datacentermap.com/datacenters.html>.
- [6] Cartographie des Data Centers en France et au Luxembourg - édition 2016, <http://www.globalsecuritymag.fr/Cartographie-des-Data-Centers-en,20160323,59739.html>.
- [7] RTE, Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France - Edition 2015 (page 28), <http://www.rte-france.com/sites/default/files/bp2015.pdf>.
- [8] RTE, Dossier de presse « L'électricité en Ile-de-France » 8 avril 2016 (page 8), http://www.prefectures-regions.gouv.fr/ile-de-france/content/download/20777/143437/file/2016%20dossier%20presse%20electricite_08%2004%202016.pdf.
- [9] RenewIT Project, D7-1_Data Centres_Market Archetypes and cases studies, <http://www.renewit-project.eu/d7-1-data-centres-market-archetypes-case-studies/>.
- [10] K. Miller, Analytics Gallery : 2010 Data Center Operational Trends Report, http://www.informationweek.com/analytics-gallery-2010-data-center-operational-trends-report/d/d-id/1090203?page_number=1.
- [11] Uptime Institute, <https://uptimeinstitute.com/>.
- [12] CBRE, Focus Data Centers, http://www.cbre.fr/fr_fr/etudes/focus/focus_content/focus_left/focus_datacenters.pdf, Juin 2010.
- [13] Schneider Electric, Livre Blanc 18 Revision 4 «Virtualisation et cloud Computing : optimisation de l'alimentation, du refroidissement et de la gestion pour une rentabilité maximale.
- [14] Schneider Electric, Livre Blanc 132 Révision 0 «Modes économiseurs des systèmes de refroidissement des DataCenters».
- [15] SIGMA, <https://www.sigma.fr/avis-experts/free-cooling-datacenter-green>.
- [16] ADEME, Origine et caractérisation des rejets thermiques, <http://www.ademe.fr/entreprises-monde-agricole/reduire-impacts/maitriser-lenergie-atelier-production/procedes/dossier/recuperation-valorisation-chaleur/conseils-agir>.
- [17] SNCU, Enquête annuelle sur les réseaux de chaleur et de froid - Rapport 2014, <http://www.sncu.fr/Espace-documentaire/Statistiques/Chiffres-cles-EAB>.
- [18] GROUPE BPCE, Les temps fort de l'année 2011 (page32), www.groupe-bpce.fr/content/download/2848/49840/version/10/file/RA_2011.pdf.

- [19] NATIXIS, Document de référence 2009 (pages 83 et 108), https://www.natixis.com/natixis/jcms/lpaz5_12214/fr/document-de-reference-2009.
- [20] enia architectes, Fiche technique Data Center, <http://www.enia.fr/fr/projet/data-center-banque-de-france>.
- [21] Natixis, Document de référence et rapport financier annuel 2013 (pages 44 et 60), https://www.natixis.com/natixis/upload/docs/application/pdf/2014-03/natixis_-_document_de_reference_2013_-_14_03_2014.pdf.
- [22] Inauguration du centre aquatique du Val d'Europe, <http://www.epa-mar-nelavallee.fr/Actualites/Actualites-archivees/Inauguration-du-centre-aquatique-du-Val-d-Europe-le-1er-septembre>.
- [23] Le complexe Aquatique Val d'Europe, <http://www.ca-valdeurope.fr/fr/le-complexe>.
- [24] Alliancy le mag, <http://www.alliancy.fr/article/no-theme/2013/09/20/agglomeration-le-val-deurope-se-chauffe-au-datacenter>.
- [25] La Forge 3.0, <http://laforge3-0.eu/wp-content/uploads/2014/06/PLA-QUETTE-La-Forge-Hte-def.pdf>.
- [26] Carnot Computing, <http://www.qarnot-computing.com/fr/>.
- [27] National Géographique, <http://www.nationalgeographic.fr/19029-innover-pour-changer-le-monde-et-si-lon-se-chauffait-grace-aux-ordinateurs/>.
- [28] Le Huffington Post, http://www.huffingtonpost.fr/2015/12/05/objet-connecte-radiateur-calculateur_n_8719318.html.
- [29] BNP, QARNOT Computing, <http://us9.campaign-archive1.com/?u=f2402decdaac0bd2f863bde6&id=a31cf0d59c&e=dd725b2056#awesomeshare>.
- [30] Greenit, Stimergy, <https://www.greenit.fr/2014/03/14/stimergy-chauffe-l-eau-des-immeubles-avec-ses-chaudieres-numeriques/>.
- [31] F. DE CARLAN (EDF), Pompes à chaleur industrielles, Etat de l'art, Offre et Sélection pour Récupération d'énergie fatale en milieu urbain, 2016.
- [32] Quand la climatisation redistribue la chaleur récupérée, <http://lebatiment-performant.fr/actualites/quand-la-climatisation-redistribue-la-chaleur-recupee-ree/9/818>.
- [33] Ça chauffe sur le campus !, <http://www.bienpublic.com/edition-dijon-ville/2015/02/12/ca-chauffe-sur-le-campus>.
- [34] Top 12 Ways to Decrease the Energy Consumption of Your Data Center, <https://www.energystar.gov/buildings/tools-and-resources/top-12-ways-decrease-energy-consumption-your-data-center>.



**Institut
de Recherche
& Développement
pour la
Transition
Énergétique
de le Ville**

Efficacity vise à proposer des solutions aux acteurs de la ville pour accélérer la transition énergétique et réduire l'empreinte énergétique des territoires.

efficacity.com



BATIMENT BIENVENÜE
14, BD ISAAC NEWTON
77420 CHAMPS-SUR-MARNE
contact@efficacity.com
T : +33 (0)1 61 44 13 31
www.efficacity.com