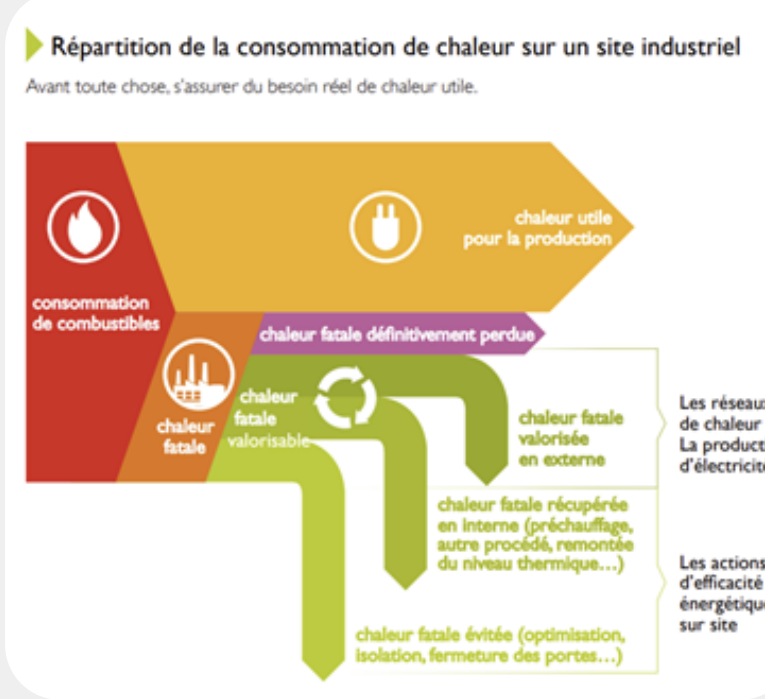


# Potentiel de valorisation de la chaleur fatale dans les réseaux de chaleur

Ewen Marzin, Paul Fraenkel, Lucas Duhautois, Loïc Haslé, Simon Olekhnovitch



## Chaleur fatale



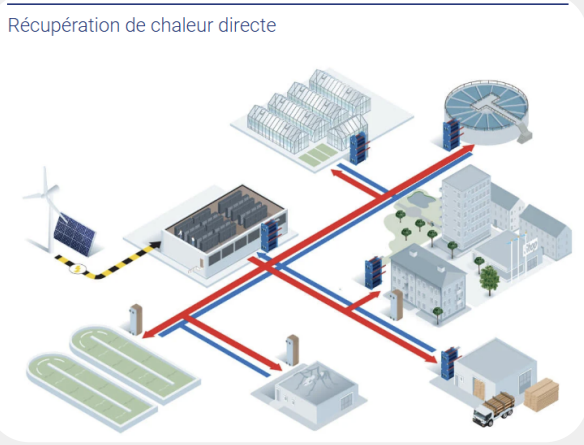
Une part importante de la chaleur produite par des procédés industriels ou par des datacenters n'est pas utilisée directement : cette part pouvant atteindre 60 à 80% pour certains fours par exemple. Cette chaleur dite chaleur fatale possède un fort potentiel de valorisation, soit en interne avec sa réutilisation, soit en externe grâce à un raccord avec un réseau de chaleur.

Source : [1]

L'IDC, International Data Corporation, prévoit que la puissance installée totale des datacenters devrait être multipliée par 2 d'ici 2028. Or ces datacenters nécessitent de très puissants systèmes de refroidissement afin de dissiper la chaleur développée par les centaines voire milliers de processeurs. Dans quelle mesure pourrait-on valoriser cette chaleur fatale et éviter de "chauffer les petits oiseaux" ? Quels sont les défis associés au développement de réseaux de chaleur qui permettraient d'utiliser cette énergie ?

## Réseaux de chaleur

Un réseau de chaleur est un système de distribution de chaleur produite de façon centralisée, permettant de desservir plusieurs usagers. Il contient une ou plusieurs sources qui produisent de la chaleur, transportée par un fluide caloporteur, et il dessert plusieurs bâtiments.



La Température de la source de chaleur représente une caractéristique importante pour le réseau.

- L'enjeu principal est d'établir un compromis entre :
- a. les pertes thermiques
  - b. la quantité de chaleur transportée
  - c. la longueur du réseau

Source : [2]

- Augmenter la température du fluide caloporteur augmente la quantité de chaleur transportée mais aussi les pertes.
- Baisser la température diminue la part de chaleur perdue, permet de réaliser des économies d'énergie et d'intégrer des sources renouvelables basse température (géothermie...)

Aujourd'hui beaucoup de réseaux fonctionnent avec une température de l'ordre de 100° C.

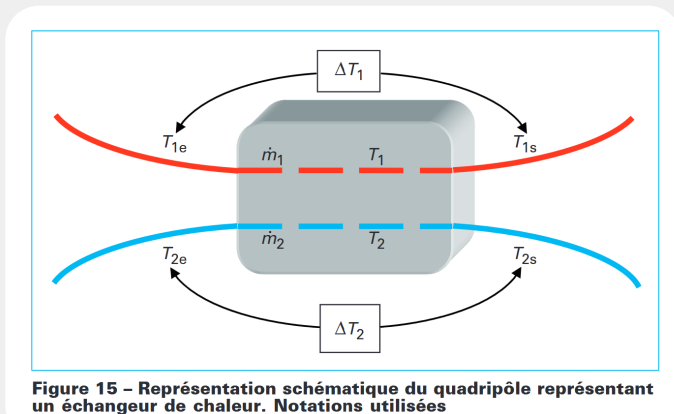
Dans le cadre des sources de chaleur à faible température, comme les datacenters qui produisent de la chaleur à une température d'environ 30°, deux options d'exploitation sont possibles :

- raccorder directement à un réseau pour seulement certains usages : séchage...
- installer une pompe à chaleur et des échangeurs thermiques pour refroidir le datacenter et augmenter la température de la chaleur émise

Le développement des réseaux de 4ème et 5ème génération a pour objectif de réduire la température dans les réseaux autour de 50° pour permettre de réaliser d'importantes économies d'énergie par exemple en diminuant le réchauffement du fluide par les pompes à chaleur.

## Echangeurs de chaleur

Les échangeurs de chaleur sont des éléments technologiques essentiels à la récupération de chaleur fatale dans un réseau de chaleur. On peut les modéliser sous forme de quadripôle avec 2 entrées et 2 sorties, l'une pour le fluide chaud et l'autre pour le fluide froid.



Hypothèses réalisées :

- régime stationnaire
- fonctionnement adiabatique
- inertie thermique des parois d'échanges négligée
- faible épaisseur des parois d'échanges

Source : [3]

Physiquement, les échangeurs de chaleur sont caractérisés par leur coefficient d'échange global K, homogène à l'inverse d'une résistance thermique surfacique. Ce coefficient s'exprime de la manière suivante :

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{e}{\lambda}$$

où h est le coefficient de convection thermique entre la paroi et le fluide 1 ou 2, e est l'épaisseur de la paroi et λ est la conductivité thermique de la paroi.

Coefficient h de différents fluides (en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ )		Conductance $\lambda/e$ de parois (en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$ )	
Eau en convection naturelle	$5 < h < 30$	2 mm d'acier inoxydable	20000
Eau en convection forcée	$300 < h < 12000$	2 mm de PVC	250

L'un des principaux enjeux dans la conception d'un échangeur thermique est de maximiser le flux thermique échangé en diminuant la résistance thermique. Ceci revient à maximiser le coefficient d'échange global. On préfère donc un coefficient h élevé en optant pour la convection forcée, et on préfère l'acier au PVC, matériau de conductance plus faible.

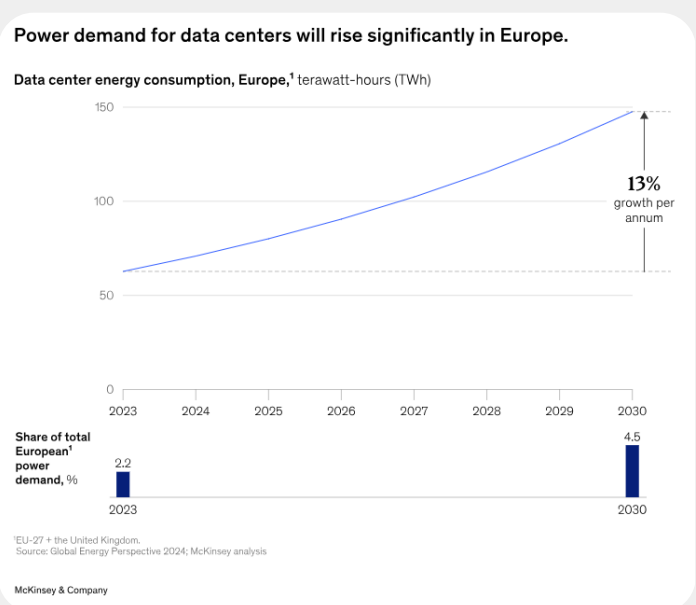
En effet, le flux thermique échangé s'exprime ainsi :  $\phi = K \Delta T$

- Afin d'augmenter le flux thermique, on peut donc également :
- augmenter la surface d'échange S, par exemple en ajoutant des ailettes
  - augmenter la différence de température ΔT entre les fluides, moyennée entre l'entrée et la sortie.

## Les data centers

1-3 %

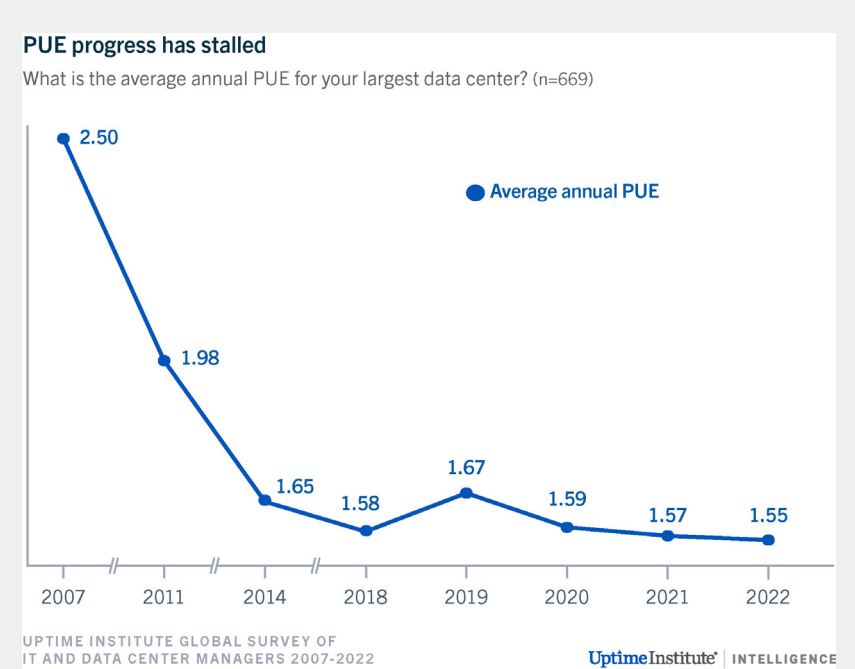
Part des data centers dans la consommation électrique mondiale [4]



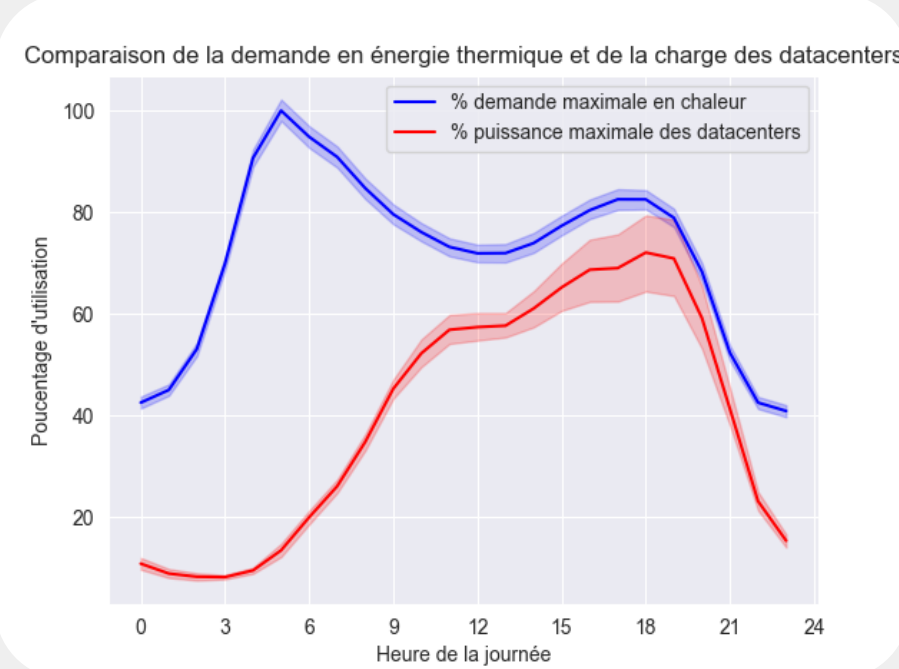
Les data centers représentent déjà une part significative de la consommation électrique mondiale. Cette part est vouée à augmenter très fortement au cours de la deuxième moitié de la décennie, dépassant dès 2026 la consommation électrique d'un pays comme le Japon [4].

Or, environ 40% de l'énergie consommée par les data centers l'est pour refroidir les serveurs. Bien que l'indice d'efficacité énergétique ait été divisé par deux au cours de la dernière décennie, il est maintenant stagnant aux alentours de 1,50. Pour diminuer l'impact écologique des data centers, la valorisation de la chaleur fatale à travers l'installation de réseaux de chaleur semble être une option intéressante.

2022 400 TWh 2026 800 TWh



## Profiles horaires



30,6%

Part du chauffage dans la consommation d'énergie finale en France [5]

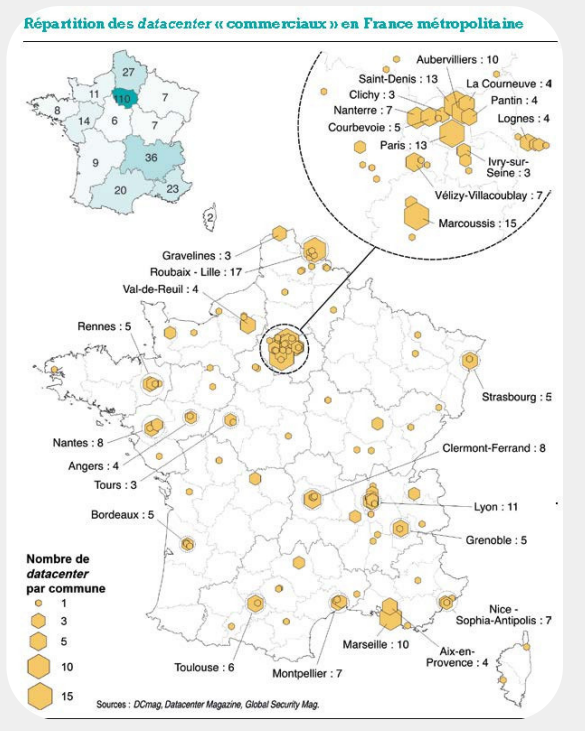
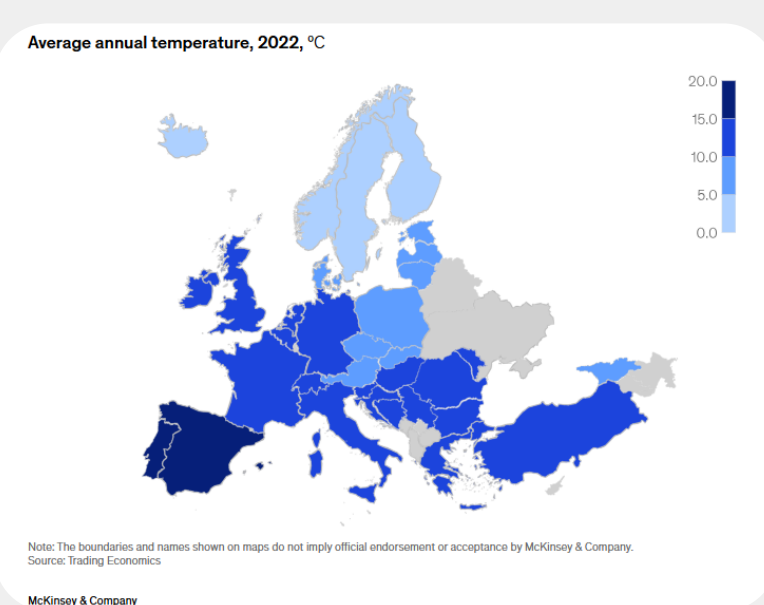
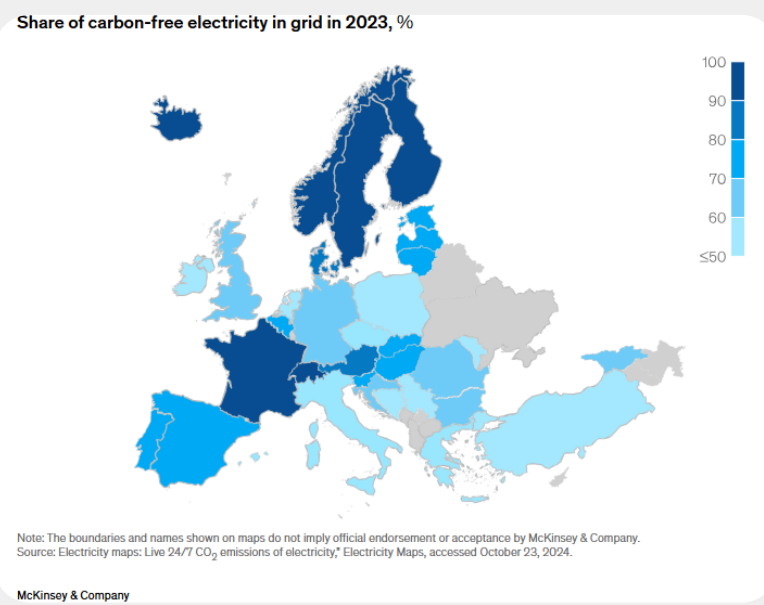
60 GW

Demande maximale de puissance thermique en France [6]

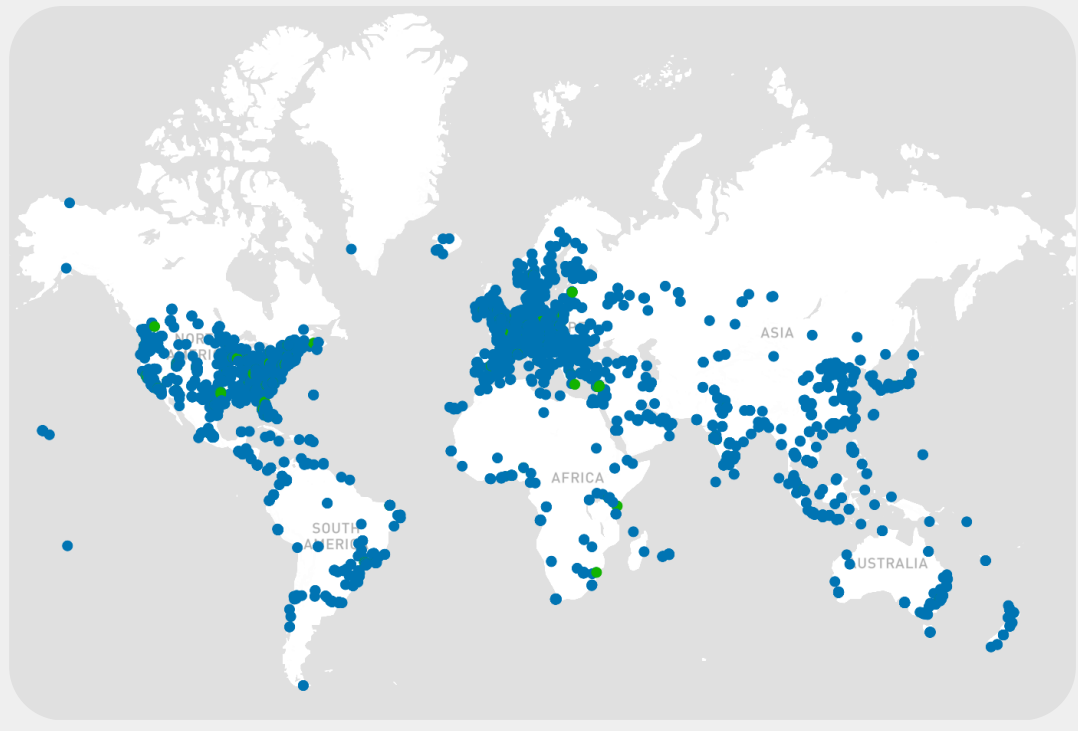
Les habitudes de vie d'une personne lambda sont telles que les heures d'activité numérique requérant de fortes ressources des datacenters coïncident avec le pic de demande en chaleur du soir. La récupération de la chaleur fatale produite par les datacenters pourrait donc subvenir en partie à cette demande. De plus, la surconsommation d'électricité aux alentours de 20h demande une très grande adaptabilité de la production électrique, qui pourrait être amoindrie en récupérant une partie de l'énergie dispersée sous forme thermique.

Pour d'autres sources de chaleur fatale comme l'électrolyse de l'hydrogène, les profils horaires peuvent être plus variables, notamment si l'activité est reliée à la production d'énergies renouvelables intermittentes comme dans le cas de l'hydrogène Vert.

## Localisation des data centers



Localisation des data centers en France



Les différents critères à prendre en compte pour l'installation d'un data center permettent d'en déduire un emplacement 'type', idéal pour le fonctionnement du centre. La nécessité d'avoir accès à un personnel qualifié et à un réseau numérique et électrique bien implémenté favorise la construction de data centers proches des grandes villes. L'espace important nécessaire à la construction des centres implique néanmoins un certain éloignement de ces dernières. En y ajoutant le critère d'un climat tempéré et de la proximité avec les utilisateurs finaux, on obtient que l'emplacement idéal d'un nouveau data center actuellement serait la zone périurbaine d'une grande ville à climat tempéré, à situations géopolitique et climatique stable, et disposant d'un réseau numérique et électrique fonctionnel et efficace. Enfin, pour valoriser efficacement la chaleur fatale d'un Data center, il est également important de considérer les réseaux de chaleur de la région et de choisir un emplacement permettant un accès simple à l'un d'entre eux.

## Incitations à revendre la chaleur

Incitations économiques : les aides publiques favorisant la mise en place de la revente de la chaleur fatale des data centers



Incitations juridiques : les exigences légales concernant la chaleur fatale des data centers



- Les fonds de chaleur de l'ADEME financent depuis 2015 les projets de récupération de chaleur fatale comme ceux issus des data centers
- Réduction de la taxe intérieure sur la consommation finale d'électricité (TICFE) des data centers à condition d'une valorisation de leur chaleur fatale
- Aides financières via les Certificats d'Économies d'Énergie (CEE) dédiées aux data centers
- La directive sur l'efficacité énergétique (EU/2023/1791) précise au niveau européen une liste d'exigences de valorisation de la chaleur fatale pour les data centers
- L'article 28 de la loi n° 2021-1485 spécifie l'obligation de la valorisation de la chaleur fatale des data centers sur un horizon pluriannuel

## Bibliographie

- [1] La chaleur fatale industrielle, document ADEME
- [2] Site d'Aifa Laval sur la récupération de la chaleur dans le cas des data centers : <https://www.alfalaval.fr/industries/genie-climatique/refroidissement-de-data-centers/recuperation-de-chaleur-data-centers/>
- [3] Techniques de l'ingénieur, Manuel technique et calculatoire sur les échangeurs, Échangeurs de chaleur - Définitions et principes généraux, 10 Janvier 2014, Ref : BE29515-V1
- [4] Agence internationale de l'énergie
- [5] [https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4-Country\\_presentation-France.pdf](https://heatroadmap.eu/wp-content/uploads/2018/11/HRE4-Country_presentation-France.pdf)
- [6] Ruhnau, O., Hirth, L., and Praktikrings, A. (2019). Time series of heat demand and heat pump efficiency for energy system modeling. Scientific Data, 6, 189. <https://doi.org/10.1038/s41597-019-0199-y>
- Ruhnau, O., Muesel, J. (2023). Update and extension of the When2Heat dataset. Econstor Working Paper. <https://hdl.handle.net/10419/249997>
- Ruhnau, O., Muesel, J. (2023). When2Heat Heating Profiles. Open Power System Data. <https://doi.org/10.25832/when2heat/2023-07-27>



www.mines-paristech.fr

