

## Exercice A – Valoriser la « chaleur fatale » des centres de stockage de données

**Mots-clefs : bilans énergétiques ; premier principe de la thermodynamique, transfert thermique, travail**

Le trafic de données est responsable de plus de la moitié de l'impact énergétique mondial du numérique avec 55 % de sa consommation d'énergie annuelle. Chaque octet transféré ou stocké sollicite des terminaux et des infrastructures de grande envergure, gourmandes en énergie (centres de données, réseaux de télécommunication).

Les flux vidéo représentent 80 % des flux de données mondiaux en 2018 et 80 % de l'augmentation de leur volume annuel. En termes d'usages, la surconsommation numérique est ainsi principalement causée par la vidéo.

D'après *The Shift Project* : <https://theshiftproject.org>.

La « chaleur fatale » (ou chaleur perdue) est la chaleur produite par un site de production industriel alors qu'elle n'en constitue pas l'objectif. De ce fait, elle n'est pas nécessairement récupérée. La valorisation de « cette chaleur fatale » pour le chauffage urbain est envisagée dans les nouveaux projets de construction de centres de stockage de données : le refroidissement des machines pourrait permettre de chauffer des logements environnants.

### La « chaleur fatale » des centres de stockage de données en Île-de-France

Le gisement maximal total de « chaleur fatale » issue des centres de stockage de données est estimé actuellement à 490 GW·h par an en Île-de-France (d'après [www.ademe.fr](http://www.ademe.fr)). À La Courneuve, en Seine-Saint-Denis (93), Interxion construit la première des quatre unités de son grand centre de stockage de données PAR8. Chaque unité, avec 10 800 m<sup>2</sup> de salles informatiques, est indépendante et reçoit une puissance électrique de 25 MW.

D'après la [MRAe](#) (mission régionale d'autorité environnementale) et l'[étude d'impact](#).

### Le fluide technique 3M™ Novec™ 7500

Le fluide technique 3M™ Novec™ 7500 est un fluide ininflammable utilisé dans les applications de transfert de chaleur. Il est compatible avec la plupart des composants électroniques et peut être utilisé en contact direct pour leur refroidissement par immersion.

D'après <https://www.3mfrance.fr>.

### Masses volumiques et capacités thermiques de différents fluides

Fluide	Masse volumique	Capacité thermique massique
Eau	$\rho_{\text{eau}} = 1,00 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c_{\text{eau}} = 4,18 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Air	$\rho_{\text{air}} = 1,29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c_{\text{air}} = 1,01 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
Novec™ 7500	$\rho_{\text{Novec 750}} = 1,61 \times 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$	$c_{\text{Novec 750}} = 1,13 \times 10^3 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

## Quel fluide envisager pour valoriser la « chaleur fatale » d'un centre de stockage de données ?

Pour un logement moyen (70 m<sup>2</sup>), on peut estimer la consommation d'énergie pour l'eau chaude à environ 10 MW·h par an.

1. Déterminer le nombre de logements moyens qui pourraient être chauffés sur une année si toute la « chaleur fatale » des centres de stockage de données d'Île-de-France était valorisée. Commenter.

On suppose que la totalité de l'énergie électrique fournie au centre de stockage de données est convertie en chaleur par ce même centre de stockage de données. Pour valoriser la « chaleur fatale », il faut par exemple la transférer des salles informatiques vers le circuit de chauffage urbain à l'aide d'un ou plusieurs échangeurs thermiques. Le fluide caloporteur d'un tel échangeur permet d'évacuer la chaleur produite lors du fonctionnement du centre de stockage de données.

Trois schématisations différentes des transferts d'énergie qui s'effectuent dans ce système sont proposées ci-dessous.

### Schéma 1



### Schéma 2



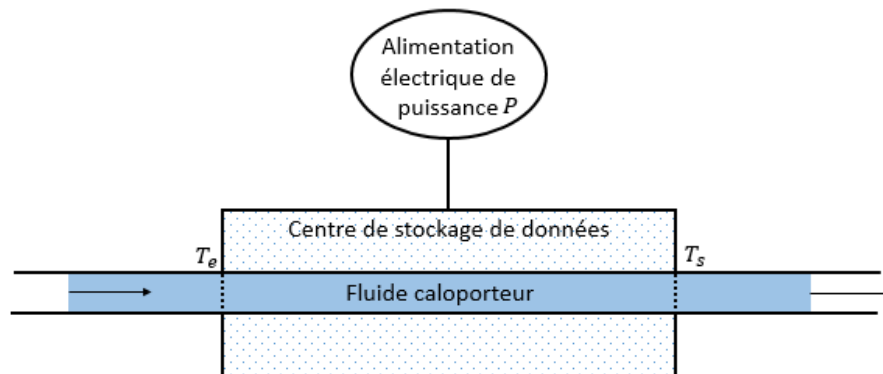
### Schéma 3



2. En supposant que les flèches représentent le sens réel des transferts d'énergie, sélectionner la schématisation appropriée parmi les trois proposées. Justifier le choix effectué.
3. Pour le schéma choisi, indiquer, en justifiant la réponse, le signe du transfert thermique lorsque le centre de stockage de données est pris comme système thermodynamique d'étude.

Le centre de stockage de données reçoit une puissance électrique  $P$ . L'énergie électrique reçue est supposée être totalement convertie en chaleur. Le fluide caloporteur traverse le centre de stockage de données avec un débit volumique  $D_V$  et permet le maintien à une valeur constante de la température des machines en évacuant la chaleur produite. Le débit volumique représente le volume de fluide caloporteur qui rentre ou sort de l'installation par unité de temps ; il s'exprime en  $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$  ou en  $\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$ .  $T_e$  est la température du fluide caloporteur à l'entrée du centre de stockage de données et  $T_s$  est la température du fluide caloporteur à la sortie.

Le schéma suivant illustre la modélisation choisie pour une unité de centre de stockage.



4. Identifier l'unique proposition correcte pour chacune des trois affirmations suivantes. Justifier vos choix.

4.1. Par rapport à la température d'entrée  $T_e$ , la température de sortie  $T_s$  est :

- a. supérieure ;
- b. égale ;
- c. inférieure.

4.2. Avec  $T_e$  et  $P$  constants, si le débit  $D_V$  augmente, alors la température  $T_s$  :

- a. augmente ;
- b. reste constante ;
- c. diminue.

4.3. Avec  $T_e$  et  $D_V$  constants, si la puissance électrique  $P$  augmente, alors  $T_s$  :

- a. augmente ;
- b. reste constante ;
- c. diminue.

5. On fixe une durée de référence d'étude  $t_{ref}$ .

5.1. Déterminer la masse  $m$  de fluide caloporteur qui rentre ou sort de l'installation pendant cette durée en fonction de  $D_V$ ,  $\rho$  et  $t_{ref}$ .

5.2. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au système « centre de stockage de données » pour la durée  $t_{ref}$ , déterminer l'expression du transfert thermique reçu par le fluide caloporteur pendant la durée  $t_{ref}$ .

5.3. On peut établir l'expression suivante :

$$T_s = T_e + \frac{P}{D_V \rho c}$$

avec  $c$  la capacité thermique massique du fluide caloporteur. Commenter soigneusement cette expression en étudiant l'influence des différents paramètres sur la valeur de la température de sortie du fluide caloporteur.

On considère que le fluide caloporteur possède une température  $T_e = 10\text{ °C}$  à l'entrée du centre de stockage de données et une température  $T_s = 50\text{ °C}$  à la sortie. Dans le cas du refroidissement d'une des unités construites à La Courneuve par Interxion, il faut un débit  $D_{eau} = 150\text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$  si le fluide est de l'eau et un débit  $D_{Novec} = 345\text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$  si le fluide est du Novec™ 7500.

5.4. Calculer la valeur du débit volumique  $D_{air}$  lorsque le fluide caloporteur est l'air. Commenter le résultat obtenu.

6. Identifier, pour chacun des trois fluides caloporteurs, ses avantages et ses inconvénients d'utilisation dans la perspective d'un chauffage urbain.