

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR ET FREE-COOLING

La réduction de la consommation énergétique et la diminution du taux de CO₂ rejeté dans l'atmosphère incitent les acteurs de la profession à rechercher, puis à concrétiser, des solutions techniques dans le secteur du chauffage et de la climatisation. Récupération de chaleur et free-cooling sont des actions qui vont dans ce sens, dans des domaines variés de la climatique. Et la taxe sur le CO₂ finira d'autant plus par donner une impulsion à ces solutions que la taxe carbone sur les énergies fossiles devrait être quintuplée d'ici à 2020.

Dossier coordonné par Franck Benassis et Jack Bossard, AICVF

Retour d'expérience

Réseau de froid urbain de Paris: free-cooling et refroidissement des centrales par l'eau de la Seine

Deux modes de refroidissement

Le réseau parisien

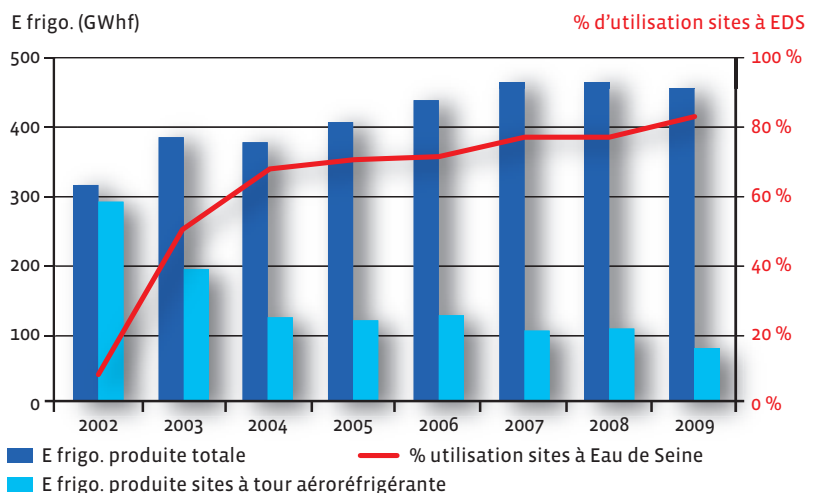
Les travaux

Les résultats

Les perspectives

Ahmed Ben Allel, directeur d'exploitation de Climespace

À la fin des années 1990, Climespace a choisi de modifier son parc de production de froid, afin de réduire sa consommation électrique et son impact environnemental. À Paris, le refroidissement des groupes frigorifiques via des tours aéroréfrigérantes a donc laissé la place à un mode de fonctionnement fondé sur l'utilisation de l'eau de la Seine. Bilan.



5 % EDS en 2002 à 83% EDS en 2009 - Comparaison de l'énergie frigorifique totale annuelle produite par l'ensemble de l'outil de production de Climespace (en bleu) vis-à-vis de l'énergie frigorifique produite par les sites de production refroidis au moyen de tours aéroréfrigérantes (en cyan) - illustration en rouge du pourcentage de participation des sites refroidis par eau de Seine à la production d'énergie frigorifique annuelle de Climespace (courbe rouge).

Les réseaux de froid urbains (RFU) peuvent permettre d'utiliser au mieux les ressources naturelles du territoire sur lequel ils sont implantés, dans le respect de l'environnement. La valorisation de la

Figure 1 Évolution de la production d'énergie froide produite par les 2 types de centrales.

chaleur rejetée en été par les centrales de production de froid est inappropriée à Paris, car, d'une part, les besoins de chaleur en été sont très faibles et, d'autre part, la température est basse (de l'ordre de 29 °C) et donc limitée.

La chaleur rejetée par les groupes frigorifiques est donc un déchet, qui doit être évacué en réduisant l'impact environnemental global, qui comprend notamment la consommation électrique nécessaire au fonctionnement des groupes frigorifiques, le réchauffement local et l'impact sanitaire.

Deux modes de refroidissement

Compte tenu de la taille importante des installations, situées en milieu urbain dense, deux modes de refroidissement des centrales sont utilisés actuellement.

> Tours aéroréfrigérantes

Le principe est celui de l'évaporation de l'eau de refroidissement par pulvérisation à contre-courant de l'air ambiant. Une partie de cette eau s'évapore au contact de l'air, assurant ainsi le refroidissement du reste de l'eau, renvoyé pour refroidir les groupes. Le volume d'eau évaporée est compensé par un appoint d'eau. Un traitement chimique en continu permet de maîtriser la corrosion et le développement bactérien. La température de l'eau de refroidissement est comprise entre 16 et 39 °C.

> Eau du fleuve

Ce mode implique le refroidissement des groupes grâce à l'eau de la Seine. Une partie de l'eau du fleuve est dérivée, réchauffée et remise intégralement dans le cours d'eau, sans aucun apport de produit chimique. La température de l'eau de refroidissement est comprise entre 1 et 28 °C, et l'élévation de température globale du cours d'eau n'est que de quelques dixièmes de degré.

Dans le cas du RFU de Paris, les centrales de production de froid injectent la puissance frigorifique produite et déstockée dans le réseau urbain de distribution. Leurs consommations sont essentiellement liées à la température de refroidissement et une température basse permet une réduction de la consommation énergétique des groupes de production de froid à compression de vapeur (de l'ordre de 3 % de gain de COP par degré de température de condensation en moins).

Courbes du temps de fonctionnement où la température de l'eau de Seine est inférieure à une température donnée :

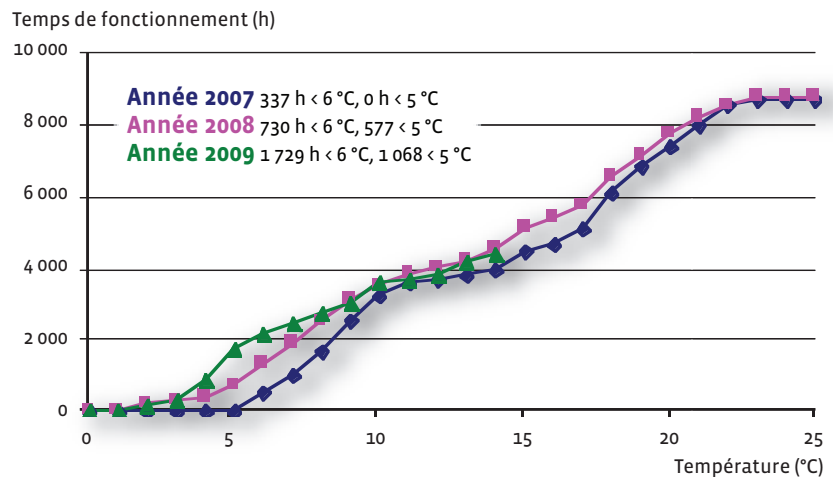


Figure 2 Historique des températures de l'eau de Seine.

Le réseau parisien

À la fin des années 1990, Climespace a entrepris la mutation de son parc de production de froid, afin de réduire sa consommation électrique et, plus largement, l'impact environnemental de son dispositif. Ce changement s'appuie sur un nouveau mode de refroidissement des groupes frigorifiques (à l'origine, des tours de refroidissement humides), celui qui utilise l'eau de la Seine. Un des enjeux importants a donc été de construire des centrales de production de froid à proximité du fleuve, afin de bénéficier de cette source de refroidissement vertueuse présentant, entre autres, des bénéfices environnementaux déterminants

comme : la diminution des consommations d'électricité et des émissions de CO₂ associées (de l'ordre de 30 à 50 % par rapport à une installation avec des tours aéroréfrigérantes ou condenseurs à air); la réduction de la consommation d'eau potable et de produits chimiques (100 % par rapport à une installation avec des tours aéroréfrigérantes); la suppression du risque sanitaire lié à la légionellose; la baisse de la consommation d'eau; des rejets d'eau aux égouts moindres (100 % par rapport à une installation avec des tours aéroréfrigérantes); la disparition du panache de vapeur issu de la condensation de la vapeur d'eau; l'amélioration architecturale du toit des cen-

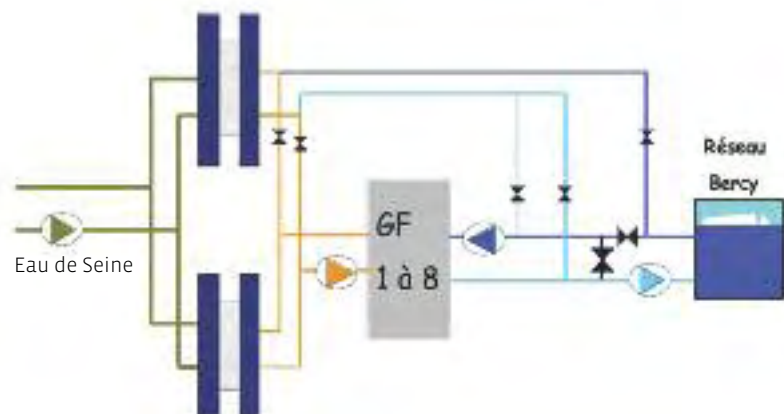


Figure 3 Principe de fonctionnement du free-cooling à la centrale de Bercy.

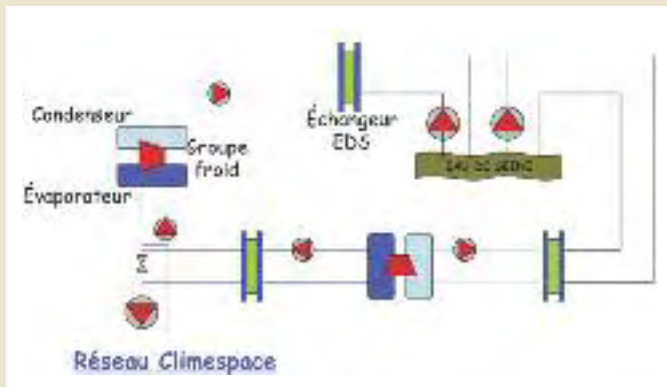


Figure 4 Principe de fonctionnement du free-cooling à Tokyo.

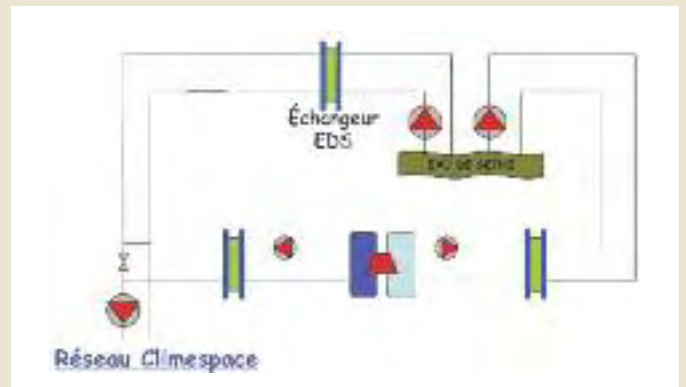


Figure 5 Idem, avec abaissement de température.

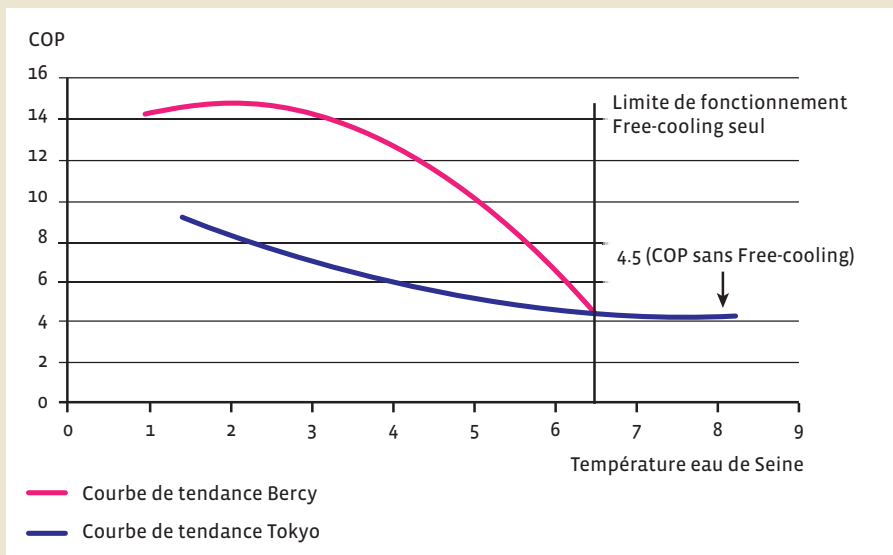


Figure 6 Évolution du COP en fonction de la température de l'eau de Seine: tendances générales.

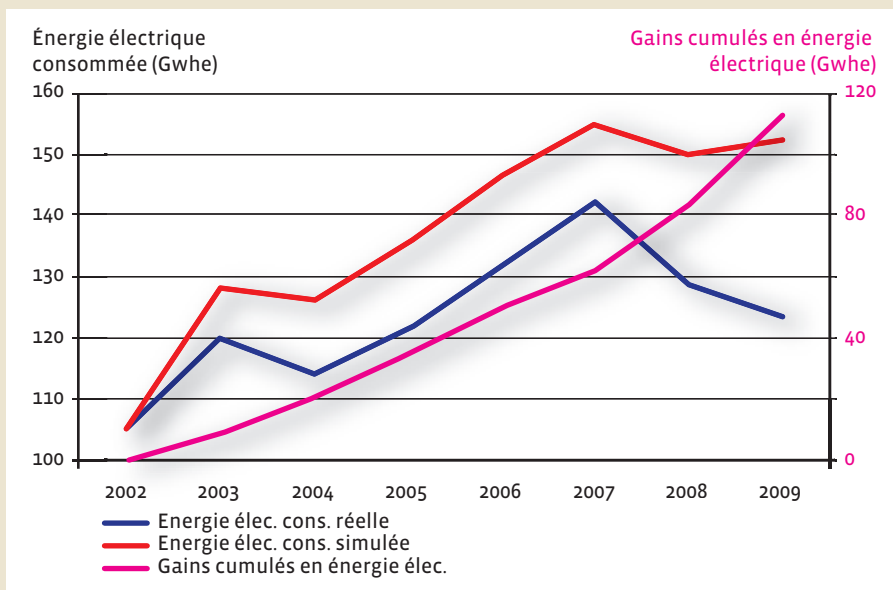


Figure 7 Comparaison des évolutions de la consommation réelle d'électricité (en bleu) vis-à-vis de la consommation supposée par le scénario de développement 100% sites à TAR (en rouge) – diminution associée de l'énergie électrique consommée en GWh (en rose).

trales; la diminution des nuisances sonores provenant des ventilateurs des tours.

Le réseau urbain de froid de Paris comporte à ce jour huit centrales de production et de stockage d'eau glacée et de glace, représentant une puissance de 276 MW, dont trois centrales d'une puissance totale installée de 160 MW sont refroidies par l'eau de la Seine (Bercy, créée en 1994, Canada en 2003 et Tokyo en 2007).

Ces trois centrales ont d'abord progressivement permis de produire le froid supplémentaire pour les nouveaux clients, mais surtout de transférer le talon de production de froid jusqu'alors assuré par les centrales à tour. Celles-ci, présentant les meilleures performances énergétiques, sont ainsi devenues la base de production (> Figure 1) et les centrales à tour, avec une performance énergétique inférieure, sont désormais engagées en période de pointe. La transformation de la structure du parc de production de froid s'intègre dans une mutation complète des axes de développement du réseau parisien.

Les travaux

L'enregistrement de la température de l'eau de la Seine montre qu'elle est régulièrement inférieure à 9 °C (> Figure 2), ce qui permet de récupérer du froid « gratuit » (free-cooling) en hiver et présente un intérêt pour préserver les machines frigorifiques et surtout augmenter l'efficacité énergétique du RFU.

Ces travaux permettent de diffuser directement le froid de la Seine dans les réseaux de froid urbains de Paris.

Les travaux consistent à rajouter des tuyauteries et des organes de robinetterie

pour deux raisons :

- soit prérefroidir le retour général de l'eau du réseau d'eau glacée à partir de l'eau de la Seine lorsque celle-ci est supérieure à 5 °C avant son passage dans les refroidisseurs (cas de la centrale de Bercy > **Figure 3**), ou du déstockage pour abaisser la température de départ (cas de la centrale de Tokyo > **Figure 4**);

- soit refroidir totalement l'eau de retour du réseau d'eau glacée lorsque l'eau de la Seine est inférieure à 5 °C. > **Figure 5**

Les résultats

> **Avec un fonctionnement en free-cooling**
Après des «travaux lourds», les performances réelles mesurées sont des COP moyens de 15 (avec des maximums de 20) sur la centrale de Bercy et de 9 (avec des maximums de 20) sur celle de Tokyo.

> **Figure 6**

Durant l'hiver 2008-2009, le fonctionnement en free-cooling a permis des maximums de puissance produite non négligeables (> **Tableau 1**) et a présenté un bilan énergétique très positif (> **Tableau 2**). Bien que les gains énergétiques soient importants, le coût élevé des travaux d'aménagement conduit à un retour sur investissement important.

> **Avec les centrales à refroidissement par eau de Seine**

L'effort de construction de nouveaux sites en bordure de Seine, de construction de réseaux structurants de transport d'eau glacée, de modifications fondamentales de la conduite des équipements, a permis une spectaculaire amélioration des performances énergétiques entre 2002 et 2009, avec une économie de consommation électrique de 112 GWh (> **Figure 7**), de 56 153 tonnes de CO₂ non rejetés (> **Figure 8**) et de 3 000 000 m³ d'eau potable (> **Figure 9**).

Les perspectives

Dans le futur, des axes d'amélioration de l'efficacité énergétique du free-cooling pourraient être faits : en obtenant, dans un premier temps, une meilleure température de retour chez les abonnés, en élevant, ensuite, la température de départ chez les abonnés afin de bénéficier de périodes de free-cooling plus longues. ■ 33-59-811

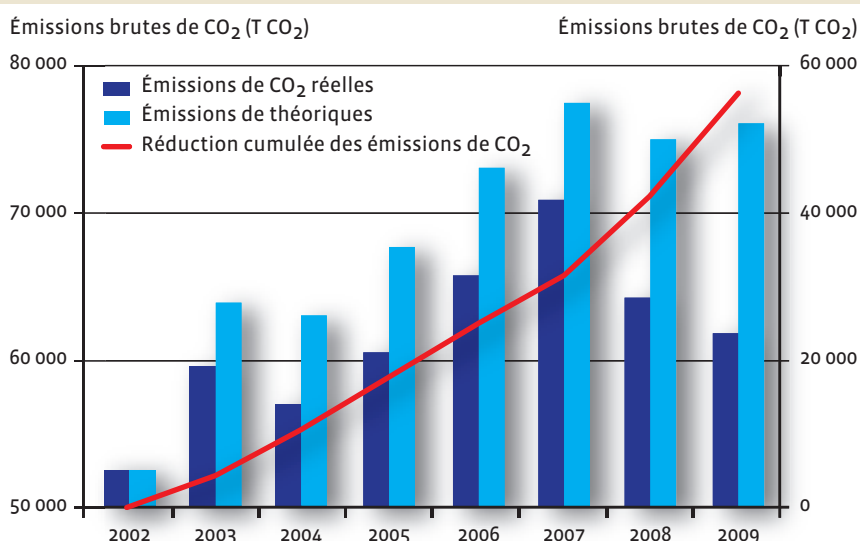


Figure 8 Émission de CO₂ évitée. Comparaison des évolutions des émissions de CO₂ réelles (en bleu) vis-à-vis des émissions supposées par le scénario de développement 100 % sites à TAR (en cyan); cumul des émissions de CO₂ évitées (en rouge).

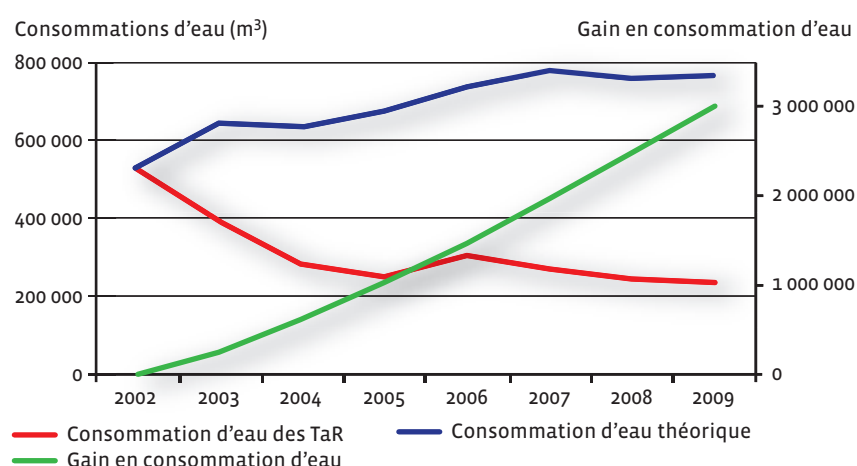


Figure 9 - Économie de consommation d'eau potable. Comparaison des évolutions des consommations en eau potable (en rouge) vis-à-vis des consommations estimées par le scénario de développement 100 % sites à TAR (en bleu) - cumul des volumes d'eau évités depuis 2002 (en vert).

Tableau 1 Puissance produite en free-cooling en MW

Centrale	Free-cooling pur	Free-cooling avec abaissement de t°C
Tokyo	28	36,7
Bercy	5,1	7,7

Tableau 2 Bilan énergétique du fonctionnement en free-cooling

Centrale de production	Puissance froide produite (MWh)	Consommation électrique (MWh)	Gain énergétique (MWh)
Tokyo	37 982	6 997	1 453
Bercy	4 320	434	527