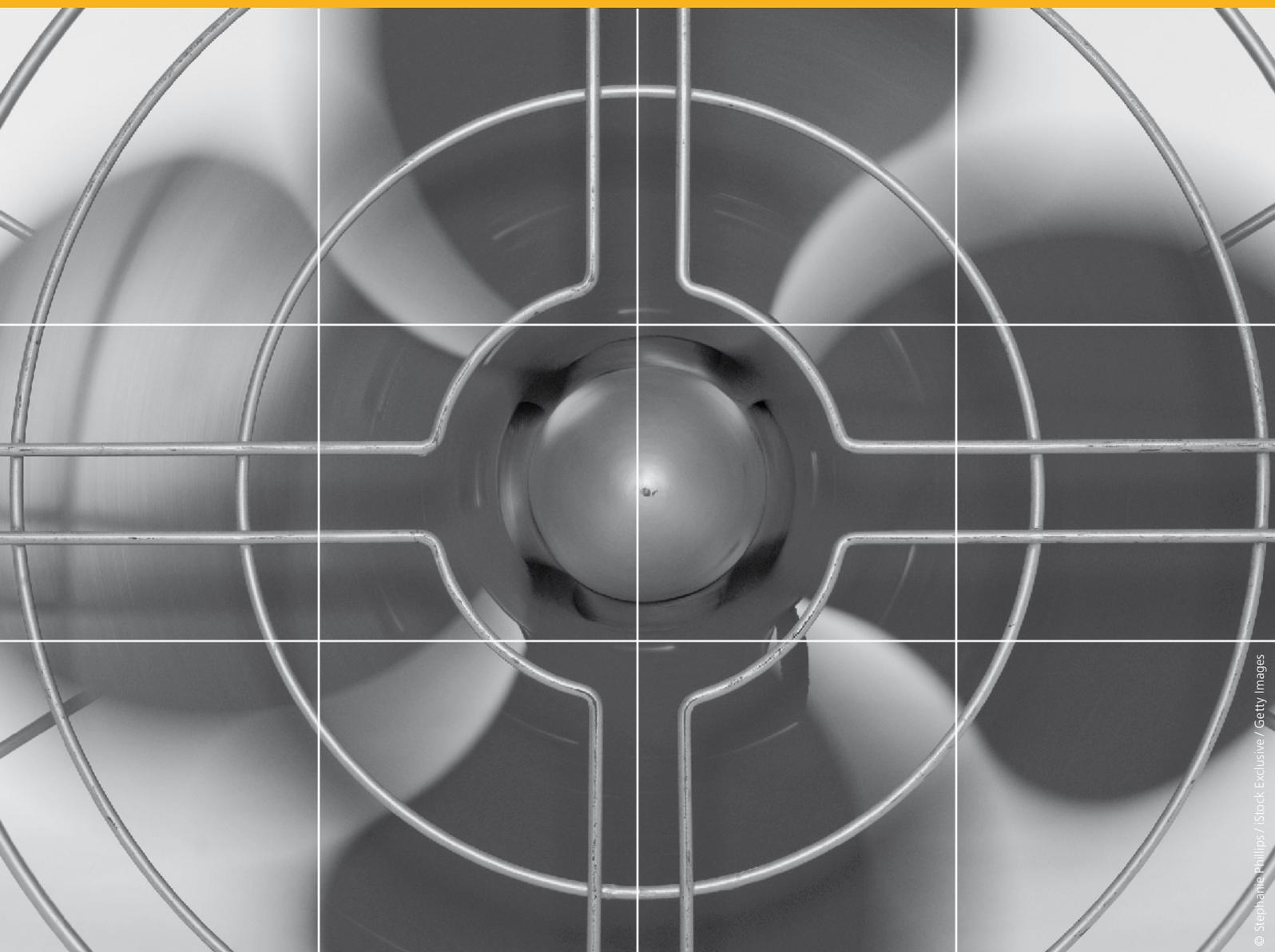


# Systemes de refroidissement ultra-efficaces dans les renovations de batiments



© Stephanie Phillips / iStock Exclusive / Getty Images

# Introduction

Cette brochure est destinée à faciliter le choix d'un système de refroidissement énergétiquement efficace au moment de la rénovation d'un bâtiment. Elle s'adresse prioritairement aux architectes et aux maîtres d'ouvrage et peut s'utiliser dans la discussion avec les planificateurs.

Cette brochure présente diverses possibilités permettant d'obtenir un refroidissement efficace du point de vue énergétique. Le choix du système le plus adapté dépend des conditions qui prévalent dans le cas en question.

## Choix du système

Pour obtenir une exploitation efficace du point de vue de l'énergie et de l'exergie, il convient d'exploiter de manière optimale les possibilités de *free cooling* notamment en utilisant au maximum les possibilités de refroidissement offertes par l'environnement: par les eaux souterraines, par le sol, par les eaux d'un lac ou encore par l'air extérieur par exemple. Il est également judicieux d'employer les rejets thermiques de l'exploitation ainsi que la chaleur solaire pour produire du froid par absorption thermique. Dans cette optique, il a été décidé de ne prendre en considération que les systèmes fonctionnant avec une température de départ de l'eau à l'intérieur des locaux d'au moins 18°C ou qui peuvent produire cette température.

Le choix doit être fait en tenant compte du système dans sa globalité – à la fois de la production de froid et des aérorefrigérants. Seule une interaction optimale de ces deux composantes, associée à une optimisation scrupuleuse du fonctionnement, permet de tirer parti au maximum de l'efficacité énergétique du système. Une conception modulaire peut être particulièrement utile pour des installations relativement grandes. Elle permet souvent d'améliorer l'efficacité de l'exploitation en charge partielle et d'assurer la redondance.

## Outil de décision

En tant qu'outil de décision, cette brochure comprend deux volets distincts, l'un consacré au choix du système de diffusion (qui concerne les locaux) et l'autre au choix du système de production (qui concerne la production). Le choix du système de diffusion permet, en tenant compte des conditions propres au cas d'espèce, de restreindre le choix des systèmes globalement envisageables. Les conditions-cadres qui concernent les systèmes de diffusion décrivent des propriétés du bâtiment après rénovation. Le choix consiste ensuite à procéder à une comparaison des systèmes pour finalement en retenir un seul. Différents systèmes de production sont également présentés pour comparaison, munis de chiffres-clés destinés à faciliter une première évaluation.

## Recommandation concernant la ventilation

Par rapport à des systèmes aux températures de refroidissement basses, une température de départ élevée pour le refroidissement d'un local offre l'avantage de présenter une meilleure efficacité énergétique et un meilleur confort climatique dans les locaux. De plus, souvent, étant donné les conditions climatiques de la Suisse, elle permet également de pouvoir se passer d'une tour de refroidissement pour la préparation de l'air frais. Lorsque le volume d'air frais se limite au volume d'air nécessaire du point de vue hygiénique, la récupération de froid provenant de l'air vicié suffit pour conditionner l'air frais à un niveau de température suffisamment bas. Il n'est plus nécessaire de refroidir l'air entrant pour éliminer l'eau: le risque de condensation est très faible dans la pièce étant donné la température de départ élevée. Toutefois, étant donné que l'humidité de la pièce n'est pas contrôlée, il faut accepter une marge relativement large pour la zone de confort.

Dans la mesure du possible, il est recommandé de se passer d'une tour de refroidissement pour la préparation de l'air frais. Une telle démarche permet non seulement de diminuer les coûts d'investissements pour la préparation de l'air frais, mais aussi d'éviter de produire du froid à des températures plus basses uniquement pour refroidir l'air.

### Bases de calcul pour les systèmes de diffusion\*

Capacité frigorifique du système d'eau	Ventilation	Température d'admission min. de l'eau
30 W/m <sup>2</sup> surface de sol refroidie	Renouvellement hygiénique de l'air 36 m <sup>3</sup> /hp	18°C

### Bases de calcul pour les systèmes de production\*

Capacité frigorifique	Températures de l'eau froide	Limite de refroidissement	Cas de dimensionnement
30 W/m <sup>2</sup> surface de sol refroidie	18/22°C	17°C, température de l'air extérieur	26°C/52 % humidité de la pièce

\* Frais d'électricité: tarif B «Naturpower» de la société ewz; haut tarif (HT): 15 ct/kWh, bas tarif (BT): 8 ct/kWh. Hypothèse retenue: HT, 70%; BT, 30%. Ces tarifs, donnés à titre indicatif, ne comprennent ni les taxes de puissance ni la TVA.

# Systèmes de diffusion

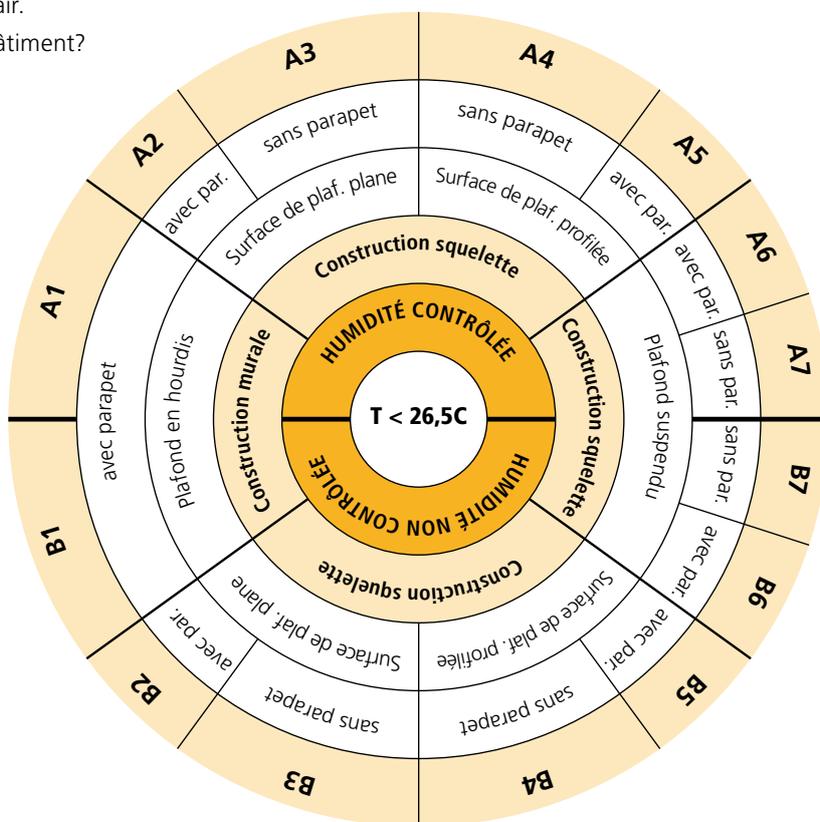
L'outil d'aide à la décision qui concerne les systèmes de diffusion comprend deux parties: l'une présente la démarche permettant un premier ciblage du choix compte tenu des impératifs liés à la construction; la seconde présente une comparaison de différents systèmes (voir page suivante).

*Remarque: La combinaison de faux plancher et de faux plafond n'est pas prise en compte, car elle présente une inertie insuffisante pour le refroidissement désiré. Les systèmes de diffusion nécessitant impérativement un faux plancher ne sont pas inclus.*

La démarche de ciblage concerne la situation du bâtiment après rénovation. Le cercle se lit en commençant par le centre.

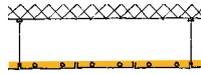
Chaque point listé ci-dessous renvoie à un anneau du cercle:

1. La première décision porte sur l'opportunité d'un système de contrôle de l'humidité de l'air.
2. Quelle est la construction de base du bâtiment?
3. Quel genre de plafond a-t-on prévu?
4. Un parapet est-il prévu?
5. Les systèmes à envisager compte tenu des impératifs liés au type de construction figurent aux chiffres A1 – 7 ou B1 – 7.



Systèmes de diffusion	A (humidité contrôlée)							B (humidité non contrôlée)						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
Plafond réfrigérant métallique	X					X	X	X					X	X
Plafond réfrigérant en plâtre	X					X	X	X					X	X
Plafond réfrigérant à tubes capillaires		X	X						X	X				
Plafond réfrigérant convectif	X					X	X	X					X	X
Voile réfrigérante		X	X	X	X				X	X	X	X		
Panneaux réfrigérants actifs ou barres réfrigérantes actives	X	X	X	X	X	X	X							
Dispositif de parapet optimisé	X	X			X	X		X	X			X	X	
Modules réfrigérants intégrant la masse du plafond		X	X						X	X				

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
70–80	120–210	0,8–0,9	0,4–0,5

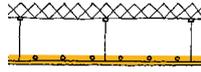


#### Plafond réfrigérant métallique

Des tubes de cuivre ou de matière synthétique conducteurs d'eau sont montés sur des plaques métalliques trouées ou non trouées.  
*Avantages:* possibilité de développer l'absorption ou la réflexion du son. Pliable et amovible.

*Inconvénients:* il est nécessaire de vernir les éléments de plafonnage à cause du faible facteur d'absorption (de l'aluminium).

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
70–80	160–290	0,8–1,9	0,4–0,6



#### Plafond réfrigérant en plâtre

Des tubes de cuivre conducteurs d'eau sont montés sur des plaques de plâtre trouées ou non trouées.

*Avantages:* possibilité de développer l'absorption ou la réflexion du son.

*Inconvénients:* non pliable.

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
80–100	120–210	0,6–0,8	0,4–0,7



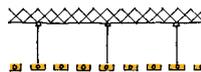
#### Plafond réfrigérant à tubes capillaires

Des tubes capillaires conducteurs d'eau en matière synthétique peuvent par exemple être collés au plafond brut puis recouverts de crépi. Ils peuvent aussi être posés sur des plaques métalliques préexistantes.

*Avantages:* hauteur de pose très faible.

*Inconvénients:* lorsqu'ils sont couverts de crépis, les tuyaux ne sont pas accessibles.

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
70–110	110–260	0,6–0,8	0,2–0,3

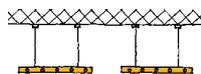


#### Plafond réfrigérant convectif

Lamelles réfrigérantes conductrices d'eau, visibles, dans la structure du panneau.

*Avantages:* utilisation de la capacité de stockage du plafond brut.

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
70–90	320–590	0,7–0,9	0,3–0,4



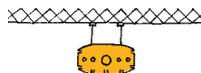
#### Voile réfrigérante

Élément réfrigérant suspendu, conducteur d'eau ou d'air.

*Avantages:* utilisation de la capacité de stockage du plafond brut.

*Inconvénients:* grandes sections des systèmes de répartition lorsque le moyen réfrigérant utilisé est l'air.

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
50–60	80–170	1,1–1,2	0,03–0,05



#### Panneaux réfrigérants actifs ou barres réfrigérantes actives

Panneau réfrigérant sous forme de plafond, intégré dans un faux plafond ou en suspension libre au-dessous du plafond. Combinaison de refroidissement à l'eau et à l'air.

*Avantages:* pas de dispositif supplémentaire nécessaire pour l'évacuation de l'air frais.

*Inconvénients:* risque de condensation en cas d'humidité non contrôlée ou de température de l'air frais trop basse.

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
35–50	240–290	1,5–1,8	0,05–0,06



#### Dispositif de parapet optimisé

Dispositif servant de parapet doté de ventilateurs très efficaces et qui sert aussi pour l'évacuation de l'air frais.

*Avantages:* pas de dispositif supplémentaire nécessaire pour l'évacuation de l'air frais, canal intégré pour l'air frais, canal pour courant fort et courant faible, isolation supplémentaire du parapet. Une variante dont la hauteur de construction est plus faible est disponible pour les façades complètement vitrées.

Réglage en fonction des dispositifs. *Inconvénients:* pas toujours utilisable pour les façades complètement vitrées.

Efficacité kWh froid/courant	Investissement [CHF/m <sup>2</sup> SS]	Energie [CHF/m <sup>2</sup> SA a]	Surface [m <sup>2</sup> SA/m <sup>2</sup> SS]
70–80	180–220	0,8–0,9	0,3–0,4



#### Modules réfrigérants intégrant la masse du plafond

Module réfrigérant posé directement sur le plafond en béton. Ce dernier est activé par le contact direct et peut être utilisé pour l'évacuation de la charge réfrigérante.

*Avantages:* utilisation de la capacité de stockage du plafond brut. Peut être développé en tant qu'élément acoustique.

*Inconvénients:* emploi limité puisqu'il faut un plafond de béton libre et plan, avec une masse de stockage suffisante.

Les coûts d'investissement comprennent le montage, mais pas les plaques du plafond pour les plafonds réfrigérants en métal ou en plâtre (les prix variant très fortement selon le choix des plaques). Pour les frais d'électricité, se reporter à l'introduction.

SS = surface de sol refroidie (capacité frigorifique de 30 W/m<sup>2</sup>)

SA = surface active

# Systèmes de production

## Machine de froid par compression (MFC) avec postrefroidissement (PR)

L'exploitation est conçue en visant une part maximale de *free cooling* par postrefroidissement:

- **Avantages:** l'emplacement est totalement libre, l'énergie électrique est disponible partout.
- **Inconvénients:** selon le refroidissement, nécessité de disposer de beaucoup de place, et charges statiques élevées (postrefroidissement nécessaire).

	Efficacité [kWh Th/kWh El]	Investissement <sup>1</sup> [CHF/m <sup>2</sup> ss]	Energie <sup>2,3</sup> [CHF/m <sup>2</sup> ss a]
MFC 75 kW PR liquéfaction directe	5–9	20–40	0,4–0,6
MFC 75 kW PR sec	5–8	25–45	0,4–0,6
MFC 75 kW PR hybride	7–12	45–75	0,4–0,7
MFC 225 kW PR sec	7–11	20–30	0,3–0,5
MFC 225 kW PR hybride	9–15	25–40	0,4–0,6

1. Les coûts d'investissements comprennent les conduites entre MFC et PR, les armatures et le pilotage, mais pas la TVA ni la préparation de l'eau le cas échéant (hybride).
2. Coûts à Zurich comprenant l'eau nécessaire, évaluée comme suit: 100% d'eau douce, 1,44 fr.lm<sup>3</sup> + taxe de puissance 50 fr. par m<sup>3</sup>/h + supplément pour utilisation de l'eau de refroidissement 80 fr. par l/min.
3. Pour les frais d'électricité, se reporter à l'introduction.

## Free cooling au moyen des eaux souterraines ou de sondes géothermiques

Les eaux souterraines sont utilisées pour abaisser la température; dans le cas des sondes géothermiques, c'est la terre qui remplit cette fonction. Ces sources d'énergie servent principalement au chauffage.

- **Avantages:** les températures à la source étant pratiquement constantes, le fonctionnement présente une très grande efficacité énergétique.
- **Inconvénients:** il faut pouvoir disposer d'une surface suffisante pour le forage.

	Efficacité [kWh Th/kWh El]	Investissement <sup>1</sup> [CHF/m <sup>2</sup> ss]			Energie <sup>2,3</sup> [CHF/m <sup>2</sup> ss a]
		75 kW	225 kW	660 kW	
Eaux souterraines	13–22	10–15	5–10	5–10	0,6–1,1
Sondes géothermiques	8–18	15–25	15–25	10–20	0,2–0,4

1. Les frais d'investissement sont ventilés pour le chauffage ou pour le refroidissement en fonction des énergies nécessaires. Les coûts qui sont présentés sont ceux qui concernent le refroidissement.
2. Y compris les frais d'utilisation des eaux souterraines, canton de Bâle-Ville.
3. Pour les frais d'électricité, se reporter à l'introduction.

SS = surface de sol refroidie (capacité frigorifique de 30 W/m<sup>2</sup>)  
PR = postrefroidissement

## Machine de froid par absorption avec postrefroidissement (MFA)

Entraînement de la machine de froid par de la chaleur provenant par exemple du chauffage à distance ou du solaire:

- **Avantages:** lorsque l'entreprise introduit elle-même des rejets de chaleur.
- **Inconvénients:** nécessité de disposer d'une tour de refroidissement relativement grande pour le postrefroidissement (rejets thermiques importants dus au processus d'absorption du froid).

	COP <sub>Th</sub> /COP <sub>El</sub> <sup>2</sup> [-]	Investissement <sup>3</sup> [CHF/m <sup>2</sup> ss]	Energie <sup>4,5</sup> [CHF/m <sup>2</sup> ss a]
MFA 75 kW PR sec	0,7/14	35–65	0,9–1,5
MFA 75 kW PR hybride	0,7/14	65–115	1,5–2,5
MFA 225 kW <sup>1</sup> PR sec	0,7/14	25–45	0,9–1,5
MFA 225 kW <sup>1</sup> PR hybride	0,7/14	40–75	2,1–3,5
MFA 660 kW PR hybride	0,7/14	35–65	2,0–3,3

1. Deux machines à froid par absorption sous forme de modules.
2. Le courant nécessaire au postrefroidissement et à la machine frigorifique est évalué à 7% du volume de froid.
3. Inclut seulement la machine de froid par absorption avec mise en service, sans la TVA. Le cas échéant, sans la préparation de l'eau, pilotage compris et sans TVA.
4. Les coûts énergétiques se composent des coûts d'énergie de chauffage, 2,6 ct./kWh ewb Berne, tarif d'été (mai – oct.), et des frais d'électricité (se reporter à l'introduction).
5. Estimation de la consommation d'eau: 4 kg/h par kW de PR fourni.  
Coûts à Zurich comprenant l'eau nécessaire, évaluée comme suit: 100% d'eau douce, 1,44 fr.lm<sup>3</sup> + taxe de puissance 50 fr. par m<sup>3</sup>/h + supplément pour utilisation de l'eau de refroidissement 80 fr. par l/min.

## Refroidissement au moyen d'eaux lacustres ou fluviales

Des eaux lacustres ou fluviales servent à abaisser la température. Combinées avec une pompe à chaleur, elles servent aussi de source de chaleur pour le chauffage.

- **Avantages:** exploitation efficace, qui peut servir pour le postrefroidissement lorsqu'une machine de froid est utilisée pour les charges de pointe.
- **Inconvénients:** utilisation limitée si la température de l'eau est trop élevée, surtout pour les eaux fluviales.

## Refroidissement au moyen des eaux usées

Les eaux usées servent à abaisser la température. Combinées avec une pompe à chaleur, elles servent aussi de source de chaleur pour le chauffage.

- **Avantages:** exploitation efficace, qui peut servir pour le postrefroidissement lorsqu'une machine de froid est utilisée pour les charges de pointe.
- **Inconvénients:** frais de construction élevés, à faire coïncider avec la révision du canal d'évacuation des eaux usées (15 l/s au minimum).

Illustration de la page de titre: ©Stephanie Phillips / iStock Exclusive / Getty Images  
Conception: Basler & Hofmann, Zurich

Pour plus d'informations sur le projet «Systèmes de refroidissements ultra-efficaces dans les rénovations de bâtiments» ainsi que pour des exemples de systèmes combinant la diffusion et la production, consultez le site:  
[www.bfe.admin.ch/recherche/batiments](http://www.bfe.admin.ch/recherche/batiments)

**SuisseEnergie**

Office fédéral de l'énergie OFEN, Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen · Adresse postale: CH-3003 Berne  
Tél. 031 322 56 11, fax 031 323 25 00 · [contact@bfe.admin.ch](mailto:contact@bfe.admin.ch) · [www.suisse-energie.ch](http://www.suisse-energie.ch)

Distribution: Office fédéral des constructions et de la logistique OFCL, Diffusion des publications, CH-3003 Berne · [www.publicationsfederales.admin.ch](http://www.publicationsfederales.admin.ch)  
N° de commande 805.114.f 07.2010 / 700 / 860247189