

RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE DANS LE TERTIAIRE

JUILLET 2025



AVANT-PROPOS

Avec le programme PROFEEL, la filière Bâtiment s'est rassemblée pour répondre collectivement aux défis de la rénovation énergétique. 16 organisations professionnelles ont été à l'initiative de cette démarche et continuent aujourd'hui à la porter activement.

PROFEEL se compose concrètement de 8 projets, positionnés sur trois grands enjeux : favoriser le déclenchement des travaux de rénovation, garantir la qualité des travaux réalisés et consolider la relation de confiance entre les professionnels. Ces projets s'appuient sur l'innovation, qu'elle soit technique ou numérique, afin de mieux outiller les professionnels du bâtiment, d'améliorer les pratiques sur le marché de la rénovation énergétique et de garantir la qualité des travaux réalisés. Ces outils permettront d'accompagner les acteurs durant toutes les étapes d'un projet de rénovation : en amont, pendant et après les travaux.

Dans le cadre du projet RENO'BOX, un des 8 projets PROFEEL, 17 nouveaux outils pratiques sont développés pour accompagner les professionnels dans la conception, la mise en œuvre et la maintenance de solutions techniques, clés ou innovantes de rénovation énergétique. Cette nouvelle collection d'outils s'inscrit dans la continuité des référentiels techniques produits dans le cadre de précédents programmes portés par la filière Bâtiment : PACTE et RAGE.

Le présent document est le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.

Pour plus d'information : <https://programmeprofeel.fr/>

PARTENAIRES PROFEEL :

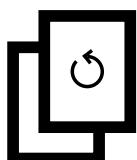


PROFEEL, un programme financé par le dispositif des certificats d'économie d'énergie (CEE)



SOMMAIRE

○	RÉSUMÉ EXÉCUTIF	4
1	INTRODUCTION	5
2	CONTEXTE	11
3	BIEN AUDITER POUR ÉTUDIER LA FAISABILITÉ D'UNE RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE	15
4	SYNTHÈSE	28
5	APPLICATIONS	31
6	MESURER ET VALORISER LES RÉSULTATS	59
7	ANNEXES	62



VERSION
V4

DATE DE LA PUBLICATION
Juillet 2025

MODIFICATIONS



RÉSUMÉ EXÉCUTIF

Le secteur tertiaire se distingue par la diversité des applications et des besoins en chauffage, eau chaude sanitaire ou encore production de froid. Cette diversité favorise l'émergence de solutions de récupération d'énergie à partir de différents rejets thermiques (air, eau, fumée...).

Ce guide synthétise et illustre des solutions identifiées pour la récupération d'énergie dans le tertiaire. Sont notamment considérées les solutions de récupération sur l'air extrait, sur les fumées, les eaux grises ou encore sur la production de froid. Pour chacune de ces solutions, les aspects « gisement – disponibilité de la ressource », « mise en œuvre », « maintenance », « durée de vie », « rentabilité » sont traités.

En complément, quelques thématiques concernant la récupération d'énergie sur les ascenseurs, ou encore sur le photovoltaïque sont présentées.

Au préalable, comme pour toute opération de rénovation, une phase d'audit global du bâtiment et de ses équipements existants est nécessaire afin d'étudier la faisabilité technique et économique de ces solutions de récupération. L'audit permet d'identifier les « faiblesses » et « atouts » du bâtiment en termes d'enveloppe, d'équipements, de besoins, d'orientation, de surfaces....

L'étude de faisabilité est largement décrite en première partie de ce guide. Pour chacune des solutions identifiées, il est défini l'ensemble des paramètres à considérer et les solutions préconisées en fonction de scénario sur les systèmes existants. Cette phase doit permettre aux décideurs de trouver le meilleur compromis entre le système de récupération d'énergie à installer et les configurations de son bâtiment.

Deux tableaux de synthèse viennent compléter le guide :

- un tableau de synthèse avec, comme clé d'entrée, les différentes solutions de récupération d'énergie traitées ;
- un tableau de synthèse avec, comme clé d'entrée, différents domaines d'application et exemples de bâtiments.

Ces synthèses et l'ensemble du guide visent à informer et sensibiliser les acteurs du bâtiment (notamment les maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre mais également entreprises du bâtiment) sur le choix et la pertinence de solutions de récupération d'énergie selon le champ d'application du bâtiment.

1

INTRODUCTION

1 1

LES SECTEURS D'ACTIVITÉS ET LE POTENTIEL DE RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE

Les bâtiments tertiaires représentent environ 15 % des consommations d'énergie finale en France. En complément de la rénovation énergétique de ce parc, la récupération d'énergie sur les systèmes va constituer un enjeu majeur en permettant de réduire l'achat d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre.

Selon les données du CEREN (Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'Energie), la consommation énergétique totale du secteur tertiaire en 2020 est évaluée à 209,3 TWh. Cette consommation est répartie selon les différents usages comme illustré dans le tableau suivant.

Le chauffage reste le principal poste de consommation énergétique du secteur tertiaire devant les postes « eau chaude sanitaire », « climatisation-refroidissement » puis « cuisson ». Pour ces différents postes, les énergies « électrique » et « gaz » sont largement utilisées.

A noter la part significative des usages spécifiques de l'électricité. Cela comprend notamment l'informatique, l'éclairage et autres process utilisant l'électricité.

Secteur tertiaire		Consommation totale et par usage (TWh) et répartition de la consommation par type d'énergie (année 2020)					
		Total	Chauffage	Eau chaude sanitaire	Climatisation – refroidissement	Cuisson	Usage spécifique électricité
Consommation énergétique (TWh)		209,3	87,5 (42 %)	22,1 (11 %)	21,5 (10 %)	10,8 (5 %)	56,9 (27 %)
Répartition par type d'énergie (%)	Gaz		55 %	51 %	-	52 %	-
	Electricité		12 %	30 %	100 %	39 %	100 %
	Fioul		17 %	13 %	-	< 1 %	-
	Chauffage urbain		8 %	7 %	-	-	-
	Pompe à chaleur		7 %	-	-	-	-

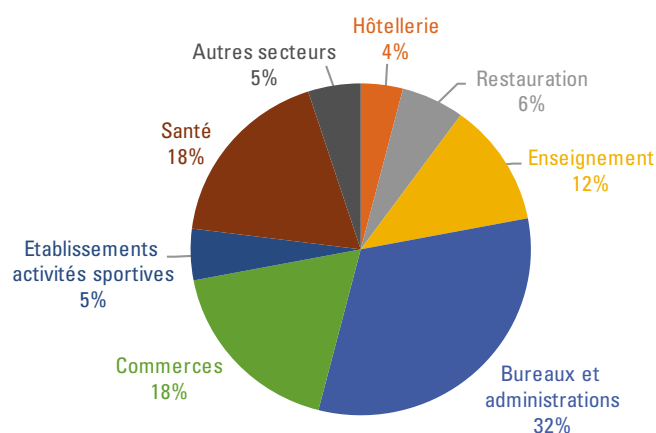
Données CEREN, 2020

Tableau 1 : Consommation énergétique du secteur tertiaire

Le secteur « tertiaire » peut se subdiviser en 8 grands secteurs d'activités tels que définis par le CEREN : santé, enseignements, hôtels-restaurants, commerces, bureaux et autres (bâtiments sportifs et culturels, habitat communautaire et transports).

La consommation énergétique totale du secteur tertiaire est répartie différemment selon ces secteurs d'activités. **Les secteurs d'activités « bureaux », « commerces », « santé » voire « enseignement » représentent les secteurs les plus consommateurs d'énergie tous usages comme illustré sur la figure suivante. Le potentiel de récupération d'énergie pourra être particulièrement important sur ces bâtiments. »**

Figure 1 : Répartition de la consommation énergétique totale du secteur tertiaire selon les secteurs d'activités des bâtiments



Source : données CEREN, 2020

Indépendamment du secteur d'activité, le chauffage est le principal poste de consommation énergétique.

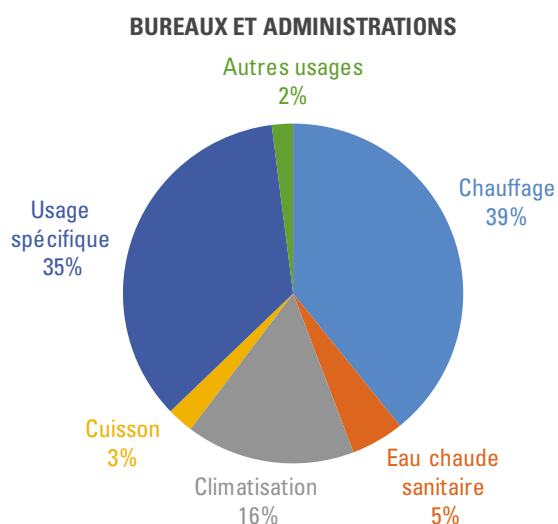
Les figures suivantes illustrent, pour différentes catégories de bâtiment, la répartition de la consommation énergétique selon les usages.

Le poste « usage spécifique » (consommation d'électricité liée à l'informatique, l'éclairage, process...) peut représenter un pourcentage non négligeable.

Il est à noter que, indépendamment du type de bâtiment et du poste de consommation, l'énergie gaz puis l'énergie électrique sont largement utilisées et permettent d'assurer la grande majorité des besoins. Le combustible fioul peut être utilisé notamment pour le chauffage dans les bâtiments d'enseignement.

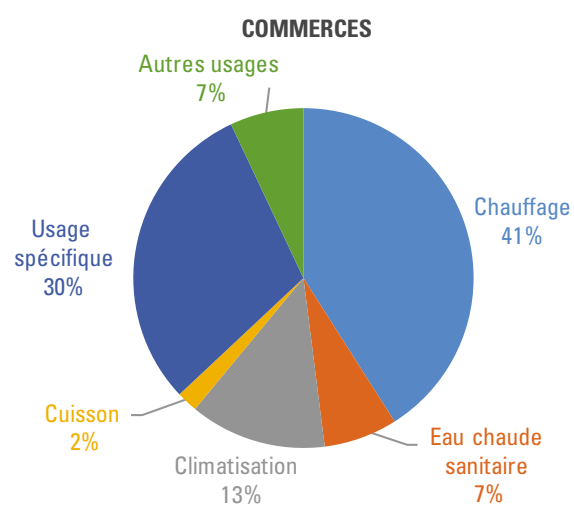
Si le poste « chauffage » est le premier poste de consommation énergétique tout bâtiment confondu, **le second poste de consommation énergétique diffère selon le secteur d'activité du bâtiment. L'eau chaude sanitaire est le second poste de consommation pour les bâtiments tertiaires de type « hôtellerie », « santé » et « activités sportives ».** L'usage « climatisation – refroidissement » est le second poste de consommation pour les bâtiments de type « bureaux » et « commerces ».

Figure 2 : Répartition de la consommation énergétique totale selon les usages – bâtiments de bureaux



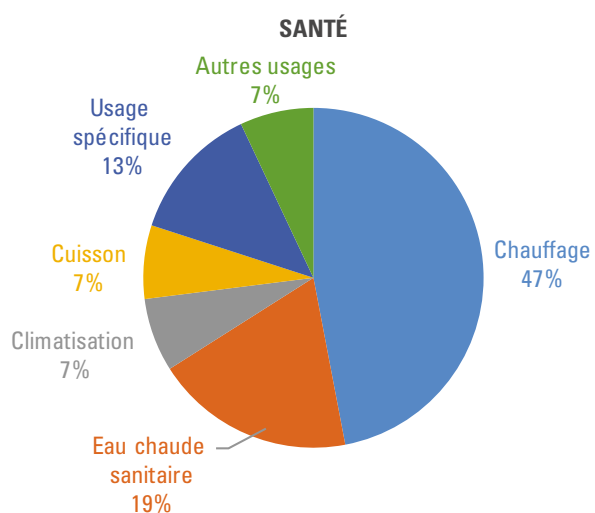
Source : données CEREN, 2020

Figure 3 : Répartition de la consommation énergétique totale selon les usages – bâtiments de commerces



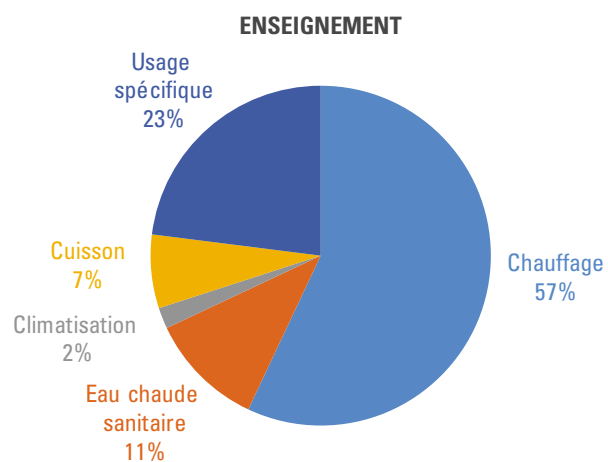
Source : données CEREN, 2020

Figure 4 : Répartition de la consommation énergétique totale selon les usages – Etablissements de santé



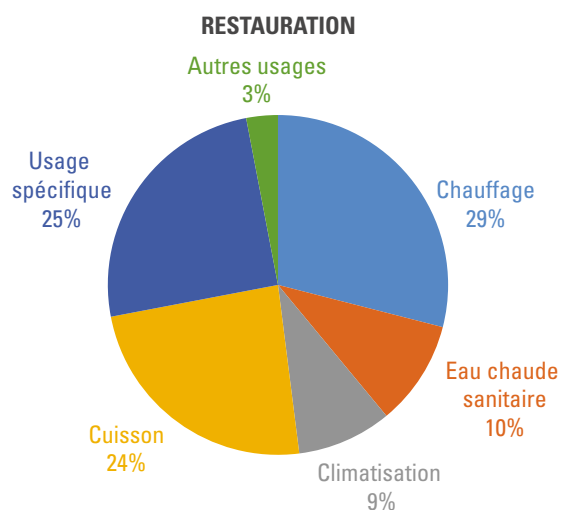
Source : données CEREN, 2020

Figure 5 : Répartition de la consommation énergétique totale selon les usages – Etablissements d'enseignement



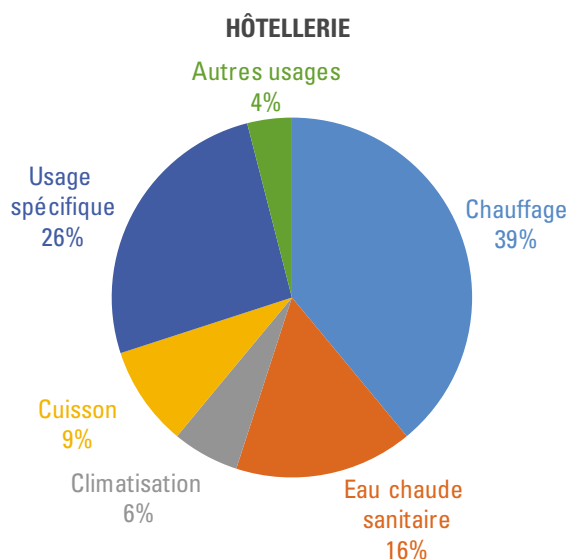
Source : données CEREN, 2020

Figure 6 : Répartition de la consommation énergétique totale selon les usages – Restauration



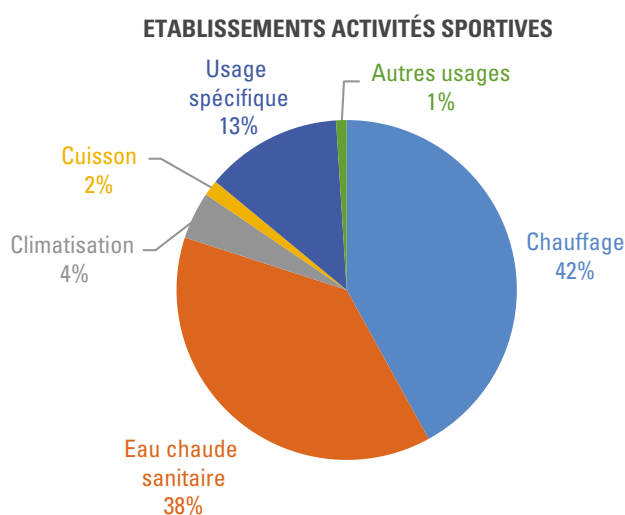
Source : données CEREN, 2020

Figure 7 : Répartition de la consommation énergétique totale selon les usages – Secteur de l'hôtellerie



Source : données CEREN, 2020

Figure 8 : Répartition de la consommation énergétique totale selon les usages – Etablissements d'activités sportives et de loisirs



Source : données CEREN, 2020

Le tableau suivant synthétise la part de consommation énergétique par catégorie de bâtiment et les deux principaux postes de consommation pour chacun de ces secteurs d'activités.

Secteur d'activité – type de bâtiment	Pourcentage de la consommation énergétique du secteur d'activité (par rapport à consommation énergétique totale en tertiaire)	Principaux postes de consommation énergétique	
		Poste de consommation N°1	Poste de consommation N°2
Bureaux – administratifs	32 %	Chauffage	Climatisation – refroidissement
Commerces	18 %	Chauffage	Climatisation – refroidissement
Etablissements de santé	18 %	Chauffage	Eau chaude sanitaire
Etablissements d'enseignements	12 %	Chauffage	(Eau chaude sanitaire)
Restauration	6 %	Chauffage	Cuisson
Hôtellerie	5 %	Chauffage	Eau chaude sanitaire
Etablissements activités sportives	5 %	Chauffage	Eau chaude sanitaire

Données CEREN, 2020

Tableau 2 : Répartition de la consommation énergétique totale par secteur d'activité et nature des principaux postes de consommation

La **récupération d'énergie sur le poste « chauffage »** constitue le **gisement le plus important** et est principalement liée à la **récupération d'énergie sur l'air** (via la ventilation et les déperditions thermiques du bâtiment) et **sur les fumées** (par le recours aux systèmes de combustion gaz encore largement présents sur ces bâtiments voire fioul).

La **récupération d'énergie sur la production de froid** (via un système de climatisation pour les bureaux ou un système de réfrigération pour les commerces) **concerne un voire deux secteurs d'activité mais dont la représentativité entraîne un certain potentiel à considérer.**

La **récupération d'énergie sur le poste « eau chaude sanitaire »** concerne plusieurs secteurs d'activités totalement différents qui, in fine, peuvent représenter un gisement non négligeable.

A contrario, le poste de consommation « cuisson » est très spécifique et représente un gisement peu conséquent.

1

2

NOTIONS TRAITÉES DANS CE GUIDE

Les sources de chaleur récupérables dans un bâtiment concernent les postes de consommation énergétiques tels que la production de chauffage, de froid, la ventilation ou encore le rejet des eaux usées. Cette valorisation d'énergie se fait via des technologies de transfert de chaleur. Quelques notions principales utilisées dans ce guide sont définies ci-après.

- Chaleur de récupération (ou chaleur fatale) : chaleur générée par un système dont la finalité du système n'est pas la production de cette chaleur.
- Récupération d'énergie : principe qui consiste à capter la chaleur rejetée pour la réutiliser au niveau du bâtiment ou pour des applications externes (réseau de chaleur par exemple). La chaleur récupérée peut être directement réutilisée sous forme de chaleur ou transformée en électricité.

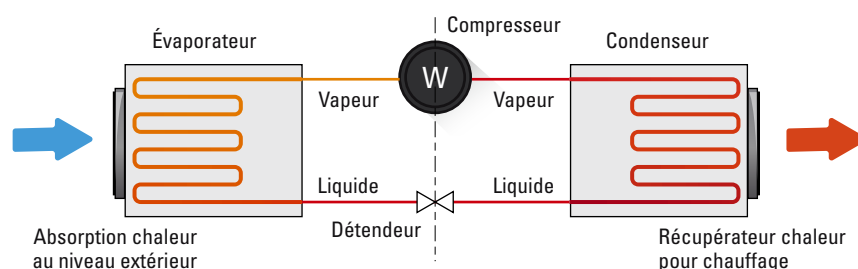
- **Gisement** : potentiel à récupérer et à valoriser l'énergie. Le gisement peut s'appliquer à une famille de bâtiments ou à une technique de récupération. Appliqué à une famille de bâtiment, le gisement est d'autant plus important que la consommation énergétique est grande et/ou que ce type de bâtiment est largement représenté. Appliqué à une technique de récupération, le gisement est d'autant plus important que le captage du rejet thermique est simple, performant en termes d'efficacité et que le niveau de température est élevé.
- **Besoins thermiques** : quantité de chaleur que doit fournir un système pour obtenir les conditions intérieures prédéfinies.
- **Cycle thermodynamique** : suite de transformations successives sur un circuit fermé qui, à partir d'un état donné, le transforme et le ramène à son état initial de manière à pouvoir recommencer le cycle. Le cycle comprend 4 phases : compression, chauffage, détente et refroidissement. Il existe différents cycles thermodynamiques tels que le cycle de Carnot, le cycle de Rankine....
- **Pompe à chaleur** : système thermodynamique qui permet de capter l'énergie contenue dans une source extérieure (appelée « source froide ») pour la transférer vers une « source chaude ». Le transfert d'énergie dans le circuit frigorifique pour « produire » du chaud ou du froid est assuré par un fluide frigorigène. Toute récupération d'énergie avec une pompe à chaleur est d'autant plus intéressante que la température de source froide est élevée et que l'on est sur un réseau « de chauffage basse température ».
- **Source froide** : dans le cas d'une pompe à chaleur, la source froide est le milieu où l'on prélève l'énergie. Il peut s'agir de l'air extérieur, de l'eau de nappe, de l'eau glycolée.
- **Source chaude** : dans le cas d'une pompe à chaleur, la source chaude est le milieu où l'on fournit de l'énergie. Ce milieu peut être l'air ou l'eau de chauffage du bâtiment ou de tout autre process.

CONSEILS



La pompe à chaleur permet d'élever le niveau thermique de la chaleur récupérée au niveau de la source froide (source extérieure) et ainsi satisfaire des besoins en chaleur plus élevés.

Figure 9 : Principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur



- **Coefficient de Performance d'une pompe à chaleur (COP)** : le COP est défini comme le rapport entre la « puissance calorifique restituée au condenseur » et la « puissance électrique apportée au compresseur ». Il s'agit de la performance instantanée de la pompe à chaleur en mode chaud pour un point d'essai défini selon la NF EN 14511. Pour qu'une pompe à chaleur soit performante, la différence de température entre le milieu extérieur (source froide) où est puisée la chaleur et la température de sortie côté source chaude doit être réduite.
- **Efficacité frigorifique d'une pompe à chaleur (EER)** : l'efficacité frigorifique est définie comme le rapport entre la « puissance frigorifique absorbée à l'évaporateur » et la « puissance électrique apportée au compresseur ». Il s'agit de la performance instantanée de la pompe à chaleur en mode froid pour un point d'essai défini selon la NF EN 14511.

2

CONTEXTE

2 1

RÈGLEMENTAIRE

La consommation finale des bâtiments du secteur tertiaire a augmenté régulièrement jusqu'à la fin des années 2008 pour stagner par la suite. Sur toute la période, à peu près la moitié de cette consommation est le fait de deux secteurs : les bureaux (en augmentation continue) et le commerce (en diminution depuis 2010 d'après les données CEREN).

Pour l'ensemble du tertiaire, la consommation de chauffage par mètre carré baisse et ce, quelle que soit l'énergie. Cette bonne dynamique peut être poursuivie par les obligations énergétiques actuelles en neuf et en rénovation.

La loi N°2018-1021 du 23 novembre 2018 portant Evolution du Logement, de l'Aménagement et du Numérique (loi ELAN) fixe, dans son article 175, des objectifs de réduction de la consommation d'énergie finale des bâtiments tertiaires. Entré en vigueur le 1^{er} octobre 2019, le décret N°2019-771 du 23 juillet 2019 relatif « aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire » (appelé décret tertiaire), vient préciser les modalités d'application de cette obligation.

L'arrêté du 10 avril 2020 modifié vient compléter ces dispositions.

Les propriétaires et occupants de bâtiments à usage tertiaire privés ou publics sont concernés par cette réglementation.

L'objectif du décret tertiaire est de réduire la consommation d'énergie finale pour les bâtiments tertiaires de surface de plancher \geq à 1000 m² et répartie sur un ou plusieurs bâtiments ayant la même unité foncière.

Plus précisément, il s'agit de réduire les consommations d'énergie finale d'au moins :

- 40 % d'ici 2030
- 50 % d'ici 2040
- 60 % d'ici 2050.

Et ce, par rapport à la consommation d'une année de référence choisie par le propriétaire ; 2010 ou postérieure à 2010.

Ces objectifs de réduction d'énergie imposent de recourir à différents équipements performants parmi lesquels les dispositifs de récupération et valorisation d'énergie.

La réglementation énergétique et environnementale RE2020 vise l'amélioration énergétique des bâtiments et la réduction de l'impact carbone de ces derniers. C'est ainsi que le potentiel d'autoconsommation et la récupération de chaleur sont également valorisés dans cette nouvelle réglementation.

En complément, les bâtiments tertiaires équipés de systèmes de chauffage ou de climatisation de plus de 70 kW doivent déjà ou devront au plus tard le 1^{er} janvier 2027 être munis d'un système d'automatisation et de contrôle de bâtiment, désigné plus

couramment par l'acronyme anglais « BACS » (Building Automation and Control System). Cette mesure imposée par le décret du 20 juillet 2020, dit décret BACS, a pour objectif de réduire la consommation énergétique des bâtiments tertiaires en optimisant la performance de leurs systèmes techniques par un pilotage efficace.

Elle permet également de contribuer à répondre aux obligations de réduction des consommations édictées par le décret « tertiaire ».

En complément, un **bâtiment tertiaire existant** disposant d'un système de chauffage ou de climatisation d'une puissance **de plus de 290 kW** doit être muni, depuis le **1^{er} janvier 2025**, d'un système d'automatisation et de contrôle. **Au-delà de 70 kW** de puissance installée dans un bâtiment existant, cette obligation s'applique :

- **Depuis le 9 avril 2023**, lors du renouvellement des systèmes de chauffage ou de refroidissement.
- **Au plus tard, le 1^{er} janvier 2027**, que les systèmes de chauffage ou de refroidissement soient ou non renouvelés.

Toutefois, une exemption est possible, si l'assujetti justifie que le temps de retour sur investissement pour l'installation ou le changement du BACS est supérieur à 10 ans (aides financières publiques déduites), tel que spécifié dans l'arrêté du 7 avril 2023.

Les puissances nominales utiles des systèmes de chauffage ou de climatisation du bâtiment, combinés ou non avec un système de ventilation, sont les puissances maximales thermiques des générateurs garanties par le constructeur.

Puissance utile nominale du système de chauffage ou de climatisation	> 290 kW	> 70 kW	
Bâtiment tertiaire neuf	Depuis le 21 juillet 2021*	Depuis le 8 avril 2024*	
Bâtiment tertiaire existant	Depuis le 1 ^{er} janvier 2025	Lors du renouvellement du système de chauffage ou de refroidissement	Depuis le 9 avril 2023
		Dans tous les autres cas	Au plus tard, le 1 ^{er} janvier 2027

*Date du dépôt permis de construire

Tableau 3 : Les délais spécifiés dans l'article R. 175-2 du code de la construction et de l'habitation, à partir desquelles les bâtiments tertiaires neufs et existants, dotés de systèmes de chauffage ou de climatisation de plus de 70 kW, doivent être munis d'un BACS, excepté si le temps de retour pour l'installation de ce système est supérieur à 10 ans.

NOTE



La mise en œuvre d'un BACS est également un des leviers d'action qui peut contribuer à satisfaire les exigences de réduction des consommations imposées par le décret « tertiaire ».

Plus d'informations sur l'application du décret BACS sont notamment disponibles dans le guide PROFEEL « Guide pratique d'application du décret BACS ».

2

2

ENVIRONNEMENTAL ET FINANCIER

Différents dispositifs doivent permettre de financer les projets de récupération de chaleur.

Le dispositif des CEE (Certificats d'Economie d'Energie) a été créé par la loi de programme fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE) de 2005.

Il incite les fournisseurs d'énergie (les « obligés ») à promouvoir l'efficacité énergétique. Il s'agit d'une aide financière pour la réalisation de travaux visant à une économie d'énergie.

Pour cela, des obligations d'économies d'énergie sont imposées aux obligés par période de 3-4 ans. La 5^{ème} période a débuté le 1^{er} janvier 2022 pour 4 ans.

Cette obligation est chiffrée en TWh cumac d'énergie finale (1 CEE = 1 kWh cumac).

Les principales opérations éligibles au CEE sont des opérations standardisées qui peuvent concerner l'application « tertiaire » et couvrir différentes thématiques développées dans ce guide : récupération de chaleur sur eaux grises, ventilation mécanique double flux avec échangeur, récupération de chaleur sur groupe de production de froid...

Ces fiches sont uniquement applicables pour les locaux tertiaires existants.

Indépendamment de la nature de l'opération, ces fiches définissent le secteur d'application, les conditions d'éligibilité et les montants forfaitaires d'économies d'énergie en kWh cumac. Sont synthétisées ci-après et répertoriées en annexe 1, les différentes opérations éligibles axées sur la récupération d'énergie.

Récupération d'énergie sur :	Fiche CEE	Durée de vie conventionnelle	Points de vigilance
Air extrait	BAT-TH-125 Ventilation mécanique simple flux à débit d'air constant ou modulé	17 ans	
	BAT-TH-126 Ventilation mécanique double flux avec échangeur à débit d'air constant ou modulé	17 ans	
Eaux grises	BAT-TH-154 Récupération instantanée de chaleur sur eaux grises	15 ans	
Production de froid	BAT-TH-139 Système de récupération de chaleur sur un groupe de production de froid	14 ans	La mise en place d'un système de récupération de chaleur sur un groupe de production de froid de secours ou sur une PAC n'est pas éligible
			La mise en place d'un système de récupération de chaleur sur un groupe de production de froid afin de [pré] chauffer l'air n'est pas éligible

Tableau 4 : Récapitulatif des fiches CEE

L'ADEME propose également des financements pour la réalisation des études de faisabilité et pour la réalisation des investissements via le Fonds Chaleur. Le Fonds Chaleur participe au développement de la production renouvelable de chaleur. Parmi les actions soutenues, nous avons les études de faisabilité pour la récupération et la valorisation des installations de récupération de la chaleur fatale ainsi que la réalisation d'installations de récupération. Les règles générales du Fonds Chaleur pour les aides à l'investissement (critères d'éligibilité, modalités des aides financières) sont définies sur le site de l'ADEME.

CONSEILS



L'éligibilité au Fonds Chaleur ou aux CEE s'applique aux bâtiments tertiaires existants.

2

3

ENVIRONNEMENTAL ET CLIMATIQUE

Selon les données du CITEPA (Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique), les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) du secteur tertiaire en 2017 représentaient environ 33,5 Mt CO₂ éq (7 % du total national).

Parmi les principales émissions de GES de ce secteur, nous avons les émissions des appareils fossiles de chauffage, ECS et cuisson ainsi que les fuites et émissions en fin de vie des appareils de réfrigération et de climatisation. Plus précisément, la part du CO₂ dans le total des émissions de GES dues au secteur tertiaire est de 76 %. Ces émissions proviennent de la combustion du gaz naturel ou de produits pétroliers des installations de chauffage, des équipements de production d'eau chaude sanitaire ou des appareils de cuisson. 24 % des émissions de GES du secteur tertiaire proviennent des fuites de fluides frigorigènes de types HCFC, HFC, fluides provenant des systèmes de climatisation des bâtiments et des équipements de production de réfrigération présents notamment dans les commerces et les restaurations.

Le recours à la pompe à chaleur à compression électrique est une alternative aux systèmes à énergie gaz, fioul pour contribuer à la réduction des émissions de GES. En complément, ce marché de la pompe à chaleur pour assurer le chauffage et/ou le refroidissement des locaux se développe de plus en plus avec des fluides frigorigènes à faible impact environnemental (faible Potentiel de Réchauffement Planétaire). C'est ainsi que les fluides dit « naturels » tels que le CO₂ et le propane ou encore les fluides de type HFO viennent équipés les nouvelles pompes à chaleur et ce, quel que soit le champ d'application du système.

Si ces fluides frigorigènes ont un faible impact en termes d'émission de GES, quelques points de vigilance sont notamment à considérer concernant leur utilisation. Le CO₂ est un fluide avec une forte pression de fonctionnement nécessitant une épaisseur de tuyauterie plus importante et donc un coût de matériel supérieur. Le propane est un fluide multi-applications. Toutefois, son caractère hautement inflammable impose une analyse de risque avant une mise en œuvre pour limiter tout risque d'incendie/explosion : définir la charge limite, la présence de zone de sécurité, la présence de systèmes de détection, de ventilation...



BIEN AUDITER POUR ÉTUDIER LA FAISABILITÉ D'UNE RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE



QUELQUES ÉLÉMENTS À DÉFINIR EN COMPLÉMENT DES SYSTÈMES DE RÉCUPÉRATION

L'audit d'un bâtiment est une étape indispensable pour bien appréhender la phase de rénovation énergétique. Pour ce faire, l'audit doit intégrer les aspects techniques, énergétiques voire architecturaux et nécessite une étude approfondie du bâti et des équipements techniques initiaux.

En amont et en complément des systèmes de récupération de chaleur, il est important de considérer les caractéristiques du bâtiment et son système constructif afin de réduire les besoins énergétiques et optimiser les systèmes de récupération.

Réduire les besoins énergétiques de chauffage nécessite de renforcer l'isolation du bâtiment et d'optimiser les apports solaires gratuits.

En complément, il importe de s'interroger sur les caractéristiques et spécificités initiales du bâtiment comme :

- le type de bâtiment : champ d'application, année de construction, usage, périodes d'occupation ;
- les dimensions du bâtiment (surface, hauteur sous plafond), la présence d'un local technique ;
- le niveau d'étanchéité du bâtiment ;
- le système de chauffage : type de combustible, système, réversibilité ;
- le système de production d'eau chaude sanitaire ;
- le système de ventilation, de traitement d'air éventuel : les débits aérauliques de soufflage, d'extraction, la présence de batteries, d'échangeurs ;
- les conditions intérieures de confort visées notamment en termes de température ;
- la présence éventuelle d'équipements spécifiques : local serveur, cuisine, process...

Dans le cadre de l'audit énergétique du bâtiment et afin de bien réussir « sa récupération de chaleur », il est pertinent de recourir à **la méthode du pincement** (ou analyse « PINCH ») pour minimiser la consommation énergétique et optimiser le système de récupération d'énergie sur le site. **Il va s'agir de recenser les flux chauds (flux « donneur de chaleur » comme le rejet sur les fumées, sur les eaux usées, sur le condenseur du groupe froid...) et les flux froids (flux « preneur de chaleur » comme l'eau chaude sanitaire, le chauffage ...) afin d'optimiser la récupération directe entre ces deux flux.**

Les données nécessaires à cette analyse sont :

- les niveaux de température « entrée » et « sortie » des flux chauds et froids ;
- le débit massique de ces flux ;

- la nature des fluides (par exemple : eau, eau glycolée, air...) ;
- la temporalité des flux chauds et froids afin de vérifier la bonne simultanéité dans le temps (production continue, production en saison de chauffe uniquement, quelques jours/semaine...) ;
- le coût de l'énergie électrique et thermique.

En complément, la puissance thermique et la quantité d'énergie nécessaires sont également des données à renseigner.

La méthode du pincement comporte plusieurs étapes :

- Collecte de données
- Construction de courbes enthalpiques composites
- Définition des besoins minimums
- Sélection de l'écart minimum de température entre les flux chaud et froid correspondant à un compromis entre coût d'investissement et coût d'exploitation
- Constitution d'un réseau d'échangeurs thermiques voire d'un éventuel stockage si non simultanéité des besoins

Le diagramme fournit alors :

- la puissance thermique qu'il est possible d'échanger entre les flux composites du procédé et les niveaux de température correspondants (échange interne au procédé)
- la puissance nécessaire pour le chauffage des flux froids (charge en chauffage)
- la puissance froid nécessaire au refroidissement des flux chauds (charge frigorifique)

Dans tous les cas, il existe une valeur de l'enthalpie pour laquelle l'écart de température minimal entre les deux courbes composites est nul. Ce point, appelé « pinch » ou « pincement ».

L'ensemble de ces analyses sur le bâti et les équipements doit permettre de déboucher sur une optimisation des systèmes de récupération selon le champ d'application du bâtiment et ses activités.

3

2

ÉTUDE DE FAISABILITÉ POUR LA RÉCUPÉRATION SUR L'AIR EXTRAIT

Pouvoir récupérer les calories sur l'air extrait impose que le bâtiment dispose ou puisse disposer d'un réseau aéraulique destiné à assurer le renouvellement d'air et/ou le traitement d'air du bâtiment. Dans cette perspective, un diagnostic du bâtiment et un diagnostic du système de ventilation existant sont à mener pour valider la faisabilité de récupération d'énergie sur l'air extrait.

Les paramètres suivants sont à considérer :

- Quel est le champ d'application du bâtiment, existe-t-il des exigences strictes en matière de transfert d'odeurs/polluants entre l'air neuf et l'air extrait ? *cette considération peut influencer sur le choix d'un récupérateur de chaleur. Par exemple, dans le cas d'un échangeur rotatif, bien qu'il existe un secteur de purge, il peut subsister un faible transfert d'air entre l'air extrait et l'air insufflé.*
- Quelle surface disponible comme local technique ou zone d'implantation (extérieure, intérieure), quelle hauteur sous plafond pour ce local ? *ces paramètres sont à considérer selon l'encombrement de la solution proposée.*
- Quelle est la hauteur du bâtiment en termes de hauteur sous plafond des locaux et nombre total de niveaux – étages ? *le tirage thermique naturel est favorisé en présence de hauteur de bâtiment importante.*

- Quel système de ventilation existe ? à considérer pour optimiser le nouveau système et s'assurer de la possibilité de mise en œuvre des divers éléments constitutifs du nouveau système.
- Est-ce que le bâtiment est suffisamment étanche pour optimiser la mise en œuvre d'un système de ventilation mécanique double flux ? le critère étanchéité est à considérer pour tout système de ventilation ; il est plus prégnant avec un système double flux.
- Existe-t-il un système d'horloge ou autre permettant d'arrêter la ventilation hors période d'occupation ? dans ce contexte, la récupération d'énergie ne sera pas maximale (à quantifier).
- Est-ce que le traitement de l'air (chauffage, refroidissement) se fait par un réseau aéraulique ? cette caractéristique a un impact sur le choix de solutions centralisées ou décentralisées.
- Quels sont les débits d'air neuf et total véhiculés dans le bâtiment ? en présence d'une solution avec pompe à chaleur, des débits minimums pour le fonctionnement de la pompe à chaleur sont à prendre à compte.
- Quel est le système de chauffage : chauffage à eau (basse température), chauffage à air ?

A noter que, selon le type de bâtiment, le renouvellement d'air par ouverture des fenêtres sans système de ventilation (naturel ou mécanique) est une pratique encore présente : ceci concerne notamment les bureaux et les bâtiments d'enseignement.

Tertiaire	Bureaux	Commerces	Enseignement	Santé	Loisirs	Hôtels
Aucun dispositif spécifique de ventilation (ouverture fenêtres)	50 %	40 %	60 %		10 %	5 %
Ventilation naturelle par conduit						9 %
Ventilation mécanique ponctuelle	10 %	10 %		15 %	20 %	
Ventilation mécanique simple flux autoréglable	10 %		20 %	25 %		75 %
Ventilation mécanique double flux autoréglable	10 %		19 %	25 %		10 %
Système CTA tout air (avec fonction ventilation)	20 %	50 %	1 %	35 %	70 %	1 %

Selon rapport association AIR H, 2007

Tableau 5 : Ordre de grandeur des dispositifs de ventilation présents selon le type de bâtiment tertiaire

COMMENT FAIRE



La ventilation est indissociable de l'étanchéité à l'air du bâtiment. La performance d'un système de ventilation est affectée par une mauvaise étanchéité à l'air du bâti. Il est ainsi primordial d'effectuer un traitement préalable au niveau de l'enveloppe.

Lors du diagnostic du système aéraulique existant, deux cas peuvent se présenter :

- Absence d'un système de ventilation ;
- Présence d'un système de ventilation.

3.2.1 ABSENCE D'UN SYSTÈME DE VENTILATION

Dans un contexte d'amélioration énergétique globale, la mise en place d'un système de ventilation avec récupération de chaleur devient nécessaire. Ainsi, tout système, naturel ou mécanique, avec échangeur de chaleur voire pompe à chaleur est à étudier. Dans tous les cas, **une étude d'implantation du système (dans le bâtiment ou à l'extérieur) et des réseaux aérauliques sont un préalable à considérer avant le choix du système.**

La mise en place d'un système de ventilation naturelle par conduit avec récupération de chaleur impose un encombrement plus conséquent lié aux dimensions et à la hauteur de conduit. Également, la stratégie aéraulique nécessaire au choix d'une ventilation naturelle impose de bien rationaliser l'écoulement aéraulique et donc de bien évaluer le bâtiment existant et ses contraintes.

3.2.2 PRÉSENCE D'UN SYSTÈME DE VENTILATION

Le bâtiment tertiaire est équipé d'un système de ventilation qui fonctionne. Selon la technologie du système existant (ventilation naturelle, ventilation mécanique simple flux, système de ventilation double flux avec ou sans échangeur de chaleur), les solutions proposées vont être différentes. L'objectif est d'opter pour un système plus performant avec récupération de chaleur sur l'air extrait.

Les scénarii de remplacement de la solution initiale sont définis dans le paragraphe suivant.

3.2.3 SYNTHÈSE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Selon la situation initiale du bâtiment, les solutions de récupération de chaleur sur l'air extrait peuvent varier. Le tableau ci-après récapitule ces différentes possibilités et les gains thermiques potentiels.

Solution initiale		Quelles solutions possibles de récupération sur l'air extrait ?	Application possible pour la solution de récupération sur l'air extrait	Valorisation possible	Gains thermiques potentiels par rapport à la solution initiale*
Pas de système de ventilation		Ventilation naturelle avec récupérateur de chaleur	Etablissements scolaires Centre de loisirs Bureaux	(Pré)chauffage air	++
		Système mécanique double flux centralisé avec récupérateur de chaleur (+ PAC + batterie si CTA)		(Pré)chauffage air	+++
		Système mécanique double flux décentralisé avec récupérateur de chaleur		(Pré)chauffage air	+++
Présence d'un système de ventilation	Système de ventilation naturelle par conduit	Ventilation naturelle avec récupérateur de chaleur	Etablissements scolaires Centre de loisirs	(Pré)chauffage air	++
	Système de ventilation mécanique simple flux	Système simple flux + PAC	Résidences hôtelières, étudiantes	(pré)chauffage eau chaude (chauffage)	+++
	Système de ventilation mécanique double flux sans échangeur de chaleur	Ajout d'un échangeur thermique à eau glycolée au système initial	Bureaux Etablissements scolaires	(Pré)chauffage air	++
		Système double flux avec récupérateur de chaleur			+++
	Système de ventilation mécanique double flux avec échangeur de chaleur	Système plus performant avec échangeur de chaleur	Bureaux Commerces Etablissements sportifs	(Pré)chauffage air	+
		Système plus performant avec échangeur de chaleur + pompe à chaleur intégrée			++
	Système de ventilation double flux avec échangeur de chaleur + batterie chaude/froide (CTA)	Système plus performant avec échangeur de chaleur	Bureaux Commerces Etablissements sportifs	(Pré)chauffage air	+
		Système plus performant avec échangeur de chaleur + pompe à chaleur intégrée		(Pré)chauffage air	++

* : Plus le nombre de « + » est important et plus les gains potentiels sont importants.

Tableau 6 : Synthèse des solutions pour la récupération de chaleur sur l'air extrait

3

3

ÉTUDE DE FAISABILITÉ POUR LA RÉCUPÉRATION SUR LES FUMÉES

Dans un bâtiment tertiaire, les fumées peuvent provenir de différentes sources liées à des phénomènes de combustion ou de cuisson.

La faisabilité et l'efficacité à récupérer les calories sur les fumées générées par une activité, imposent de considérer certains paramètres :

- Quel est le type d'activité du bâtiment, quels sont les systèmes d'évacuation des produits de combustion/fumées ? *Cette donnée est importante pour cibler au mieux les systèmes de récupération les plus adaptés. Selon le champ d'application du bâtiment, la récupération pourra se faire sur les fumées de cuisson ou les fumées de combustion avec des systèmes de récupération différents. Également, pour une même origine des fumées, le système choisi peut être différent : par exemple, le secteur des « cuisines collectives », composé de structures de taille très diverse en fonction du nombre de repas servis/jour, peut favoriser le choix de telle ou telle solution.*
- Quelle est la température des fumées ? *la température des fumées est un facteur clé pour la récupération d'énergie. Plus les fumées sont chaudes et plus la récupération de l'énergie thermique peut être importante.*
- Quel est le débit des fumées ? *le volume rejeté influence la quantité d'énergie récupérable. Un débit plus élevé permet d'exploiter davantage de chaleur.*
- Est-il possible de mettre en place un système de récupération ? *la possibilité d'installer un système de récupération dépend de plusieurs facteurs techniques, tels que l'espace disponible, l'intégration dans les installations existantes, et de facteurs économiques comme les coûts d'investissement et de maintenance.*
- Quelles substances sont contenues dans les fumées ? *selon leur provenance, les fumées contiennent des substances plus ou moins polluantes (particules, composés acides, graisse...) qui peuvent rendre la récupération d'énergie difficile ou coûteuse en termes de filtration et de traitement. Il est important de connaître la nature de ces polluants et leur impact sur le processus de récupération pour s'assurer de l'intérêt technico-économique de la solution envisagée.*
- Quelle est la durée de vie du système de récupération ? *les technologies de récupération d'énergie doivent être adaptées à la durée de vie des installations. L'usure des équipements de récupération peut affecter l'efficacité et la rentabilité du système.*

A partir de ces interrogations, il devient possible d'évaluer si la récupération d'énergie sur les fumées est une option viable, rentable et techniquement faisable pour une application donnée.

CONSEILS



La récupération d'énergie sur les fumées ne doit pas entraîner de dégradation de la qualité de l'air rejetée dans l'atmosphère.

Dans le cas de bâtiment tertiaire, nous nous intéressons à la récupération d'énergie sur les fumées provenant des phénomènes de combustion (chauffage) et des phénomène de cuisson.

3.3.1 FUMÉES DE CUISSON

Les fumées et vapeurs chaudes émanant des activités de cuisson sont généralement chargées en graisse. Du fait de leur composition, ces fumées sont délicates à traiter. Cela reste vrai pour la récupération de chaleur qui doit s'accommoder des graisses, huiles et multiples composés contenus dans ces fumées.

Les matériaux utilisés sur les systèmes de récupération doivent pouvoir résister à ces conditions d'utilisation. La chaleur récupérée est utilisée sur l'ECS qui est un poste conséquent dans les cuisines : les besoins des restaurants collectifs assurant la

préparation des repas peuvent atteindre une vingtaine de litres d'eau à 40 °C par repas (selon Guide COSTIC-ADEME-CEGIBAT : Vers une meilleure connaissance des besoins en eau chaude sanitaire en tertiaire, septembre 2020).

Dans les cuisines collectives, la récupération des calories sur les fumées peut également être utilisée pour un préchauffage de l'air.

3.3.2 FUMÉES DE COMBUSTION

La chaleur issue du fonctionnement d'une chaudière est rejetée dans l'air extérieur via les fumées. Celles-ci, représentent dès lors une source d'énergie perdue.

Dans le tertiaire, la récupération sur les fumées de combustion est une technologie bien connue et intégrée sur les **chaudières à condensation**. Le principe est de récupérer au maximum la chaleur sensible et latente des fumées via un échangeur « surdimensionné » pour préchauffer l'eau de chauffage. Dans ces conditions, la température des fumées rejetées à l'extérieur est faible. Pour pouvoir condenser, il faut que la température de retour d'eau entrant dans la chaudière soit inférieure à environ 55°C pour le gaz et le fioul.

Il est également possible de valoriser la chaleur produite par la chaudière en installant, sur le système d'évacuation des fumées, un « économiseur » conçu pour récupérer cette chaleur et l'employer par exemple, pour préchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière.

3.3.3 SYNTHÈSE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Solution initiale		Quelles solutions possibles de récupération de la chaleur sur les fumées ?	Application possible pour la solution de récupération sur l'air extrait	Valorisation possible	Gains thermiques potentiels par rapport à la solution initiale*
Fumées de cuisson	Pas de système de récupération	Ajout d'un récupérateur d'énergie air/air (indépendant de la hotte)	Restaurants, Cuisines professionnelles, Cuisines Centrales, Hôtellerie	(Pré)chauffage air insufflé cuisine	++
		Mise en place d'une hotte de cuisine avec système de récupération intégré		(Pré)chauffage air insufflé cuisine	++
		Ajout d'un récupérateur d'énergie air/eau (indépendant de la hotte)		Préchauffage d'eau pour batterie chaude, préchauffage ECS, circuit chauffage	++
Fumées de combustion	Pas de système de récupération	Ajout d'un échangeur (économiseur)	Bâtiment industriel et tertiaire (avec système à combustion)	(Pré)chauffage Eau Chaude (chauffage)	+
	Pas de système de récupération (ancienne chaudière) Système de récupération existant	Mise en place d'une chaudière à condensation	Tout type de bâtiment tertiaire avec système chauffage/ECS à combustion	(pré)chauffage eau chaude (chauffage, ECS)	++

* : Plus le nombre de « + » est important et plus les gains potentiels sont importants.

Tableau 7 : Synthèse des solutions pour la récupération de chaleur sur les fumées

CONSEILS



Dans une cuisine professionnelle, les besoins en chauffage sont plus faibles et plus ponctuels que les besoins en eau chaude sanitaire. Dans ces conditions, on privilégiera la récupération d'énergie sur les fumées plutôt pour une valorisation sur l'eau que sur l'air.

3

4

ÉTUDE DE FAISABILITÉ POUR LA RÉCUPÉRATION SUR LES EAUX GRISES

Les eaux grises sont définies comme des eaux faiblement polluées issues des douches, lavabos, éviers.... La récupération des calories sur les eaux grises constitue un gisement pour les bâtiments où le besoin en eau chaude sanitaire est important. C'est le cas de bâtiments tels que les établissements de santé, les hôtels-restaurants, les équipements sportifs. Dans ces bâtiments tertiaires, la douche est le premier poste de consommation en ECS.

Les diagnostics du bâtiment existant et du système d'évacuation des eaux grises doivent être menés pour valider la faisabilité de récupération d'énergie sur les eaux grises de ces bâtiments.

Les paramètres suivants sont à considérer :

- Quel type de bâtiment tertiaire, quel besoin en eau chaude sanitaire (l/j) ?
- Existe-t-il un usage spécifique de l'eau chaude sanitaire : restauration, lingerie... ?
- Quelle est la surface disponible au niveau du local technique, quelle hauteur sous plafond ? : *ces paramètres sont à considérer selon l'encombrement et les spécificités de la solution proposée.*
- Quelle proximité entre la récupération et la production d'eau ? *un réseau long, peu calorifugé, peut entraîner des pertes thermiques rédhibitoires pour la mise en œuvre de certains types de récupérateurs.*
- Est-ce que les réseaux d'évacuation « eaux usées », « eaux vannes » sont distincts au niveau du sous-sol : présence d'un collecteur séparatif « EU » / « EV » ou collecteur unique ? *La séparation des réseaux EU et EV est une condition nécessaire pour tous les systèmes de récupération de chaleur sur les eaux grises.*
- Est-ce que l'évacuation des eaux grises se fait par gravité ou via une pompe de relevage ? Qu'en sera-t-il après l'installation d'un récupérateur ?
- Est-ce que le bâtiment dispose d'un système de traitement des eaux usées ?
- Quelles seront les spécificités de maintenance pour la ou les solutions retenues ? *une absence de nettoyage sur l'échangeur de récupération des eaux usées peut favoriser la formation de biofilm et réduire à terme la capacité d'échange entre les flux. La maintenance est une phase cruciale sur ces systèmes.*
- Est-ce que la production d'eau chaude sanitaire est centralisée ou individualisée ? *ce type de production peut avoir une incidence sur le type de système à mettre en œuvre.*
- Quelle est la configuration des réseaux d'eau chaude sanitaire (configuration type « ballon, mitigeur, mixte ») ? *la configuration existante peut avoir un impact sur la configuration de raccordement concernant le préchauffage de l'ECS et le choix du système.*

À l'issue du diagnostic du bâtiment et des installations existantes, plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour permettre la récupération de chaleur sur les eaux usées :

- Récupération directe sous l'émetteur (douches) ;
- Récupération en pied de bâtiment.

CONSEILS

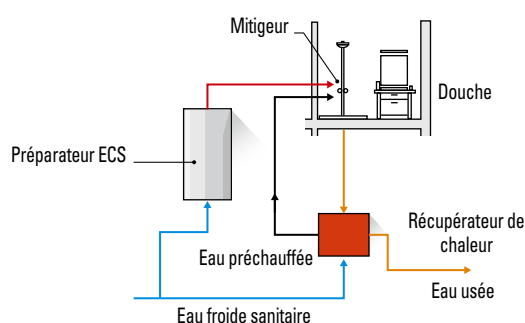


A l'échelle de plusieurs bâtiments, la récupération des eaux usées peut permettre l'alimentation de réseau de chaleur.

3.4.1 RÉCUPÉRATION DIRECTE SOUS L'ÉMETTEUR

La récupération de chaleur peut se faire directement sous « l'émetteur », c'est-à-dire au niveau du point de puisage le plus chaud (en général, les douches) : la température sera élevée mais le volume d'eau récupéré sera faible. Théoriquement, la température des eaux grises récupérées peut avoisiner les 30-35 °C. Cette récupération, au plus près de l'émetteur, nécessite un système compact facilement intégrable. Dans le cas d'une production centralisée, la récupération de chaleur au niveau de la douche permettra de préchauffer l'eau froide alimentant le mitigeur de celle-ci (configuration de raccordement type « mitigeur »).

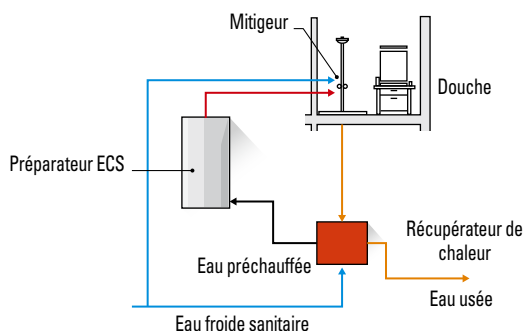
Figure 10 : Configuration de raccordement d'un système passif de récupération de chaleur sur les eaux grises – configuration de raccordement type « mitigeur »



3.4.2 RÉCUPÉRATION EN PIED DE BÂTIMENT

La récupération de chaleur sur les eaux grises peut se faire en pied de bâtiment où le volume récupéré sera important mais à une température plus faible. Dans cette configuration, la température des eaux grises récupérées est de l'ordre de 20-24 °C. Compte tenu de ce niveau de température, la récupération collective se fera à partir d'un système compact collecteur passif ou d'un système actif intégrant une pompe à chaleur. Dans le cas d'une production centralisée, la récupération de chaleur issue de plusieurs équipements permettra de préchauffer l'eau froide au niveau de la production d'ECS (configuration de raccordement type « ballon »).

Figure 11 : Configuration de raccordement d'un système passif de récupération de chaleur sur les eaux grises – configuration de raccordement type « ballon »



Pour des besoins en haute température (chauffage ECS par exemple), le recours à des systèmes de pompe à chaleur dédiée est à privilégier. Le recours à des systèmes passifs avec une récupération des eaux usées à des températures entre 20°C et 35° sera plutôt adapté pour des usages « basse température » (plancher chauffant par exemple).

3.4.3 SYNTHÈSE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Selon les possibilités de récupération, les solutions envisageables peuvent être différentes. Le tableau ci-après synthétise les différentes options en fonction des configurations initiales et/ou souhaits de la maîtrise d'ouvrage.

Solution souhaitée	Quelles solutions possibles de récupération sur les eaux grises ?	Application possible pour la solution de récupération sur les eaux grises	Valorisation possible	Gains thermiques potentiels par rapport à la solution initiale*
Récupération directe sous l'émetteur (douche)	Système individuel compact passif horizontal	Résidences étudiantes	Préchauffage eau chaude sanitaire	+
	Système individuel compact passif vertical	Hôtellerie Résidences étudiantes Établissements de santé	Préchauffage eau chaude sanitaire	++
Récupération en pied de bâtiment	Système collectif passif vertical	Gymnases Centres aquatiques	Préchauffage eau chaude sanitaire	++
	Système actif (avec pompe à chaleur)		Chauffage eau chaude sanitaire, eau de chauffage	+++

* : Plus le nombre de « + » est important et plus les gains potentiels sont importants.

Tableau 8 : Synthèse des solutions pour la récupération de chaleur sur les eaux grises



ÉTUDE DE FAISABILITÉ POUR LA RÉCUPÉRATION SUR UN GROUPE FROID

Actuellement, une grande partie des groupes froid installés dans les bâtiments tertiaires évacuent la chaleur sans la valoriser. Ce gisement est disponible et il va s'agir d'évaluer la facilité ou les contraintes à installer des équipements supplémentaires pour récupérer et utiliser cette chaleur. Les paramètres à considérer sont notamment :

- Quel est le type de groupe froid et son fonctionnement ? *la puissance frigorifique, couplée à un fonctionnement continu ou intermittent, vont influencer sur la capacité de récupération de la chaleur au niveau du condenseur. A noter que la puissance calorifique récupérée sera supérieure à la puissance frigorifique.*
- Est-ce que le bâtiment dispose de systèmes de production d'eau chaude sanitaire et de chauffage ? *il est important d'évaluer la proportion, le coût, la maintenance... liés à la récupération de chaleur apportée par le groupe froid et à celle apportée directement par les systèmes existants de production de chaleur et/ou ECS.*
- Quels sont les besoins en froid du bâtiment ? est-on sur une application froid commercial (froid positif, froid négatif) ou climatisation de confort. La nature de ces besoins a un impact sur le système et sur les capacités de récupération. Généralement, l'application « froid commercial » répond à un besoin permanent alors que l'application « confort » sera limitée à la période estivale.
- Quelle est la temporalité des besoins en chaud ? le système a été initialement choisi pour assurer une production de froid. Il est nécessaire de s'assurer que les besoins en chaud qui pourraient être en partie couverts par ce groupe coïncident avec les besoins de froid qui ont été définis. Un groupe froid utilisé uniquement pour le confort estival ne permettra pas de valoriser la chaleur récupérée pour des besoins de chauffage mais plutôt pour des besoins d'eau chaude sanitaire.

- Quel est l'investissement supplémentaire d'un système de récupération de chaleur sur le groupe froid ? La valorisation des calories récupérées au niveau du condenseur va nécessiter des équipements complémentaires : échangeurs, tuyauteries, capacité de stockage.... Voir le coût de ces investissements par rapport aux économies, au coût de maintenance...

A l'issue du diagnostic du bâtiment et des installations existantes, plusieurs possibilités peuvent être envisagées pour permettre la récupération de chaleur sur les groupes froids :

- Système de production de froid utilisé pour des besoins ponctuels (en général, rafraîchissement en période estivale) ;
- Système de production de froid utilisé pour des besoins continus (en général, production de froid « commercial », climatisation de « data centers »).

CONSEILS



En fonction des productions et besoins respectif, la récupération sur groupe froid peut permettre l'alimentation de réseau de chaleur.

3.5.1 SYSTÈME DE PRODUCTION DE FROID UTILISÉ POUR DES BESOINS PONCTUELS

Le bâtiment dispose d'un système de production de froid pour un fonctionnement ponctuel ; par exemple, assurer la climatisation pendant la période estivale. Dans ces conditions, la récupération de chaleur sur le groupe froid sera effective uniquement pendant sa période de fonctionnement, en été. A cette période, la récupération de chaleur sera plutôt utilisée pour assurer le préchauffage de l'eau chaude sanitaire.

Selon la puissance frigorifique du système, les besoins en ECS du bâtiment devront être conséquents : le secteur de l'hôtellerie-restauration, les établissements de santé seront adaptés à ce besoin en eau chaude sanitaire.

Les refroidisseurs à condenseur à eau pourront permettre d'assurer cette récupération de chaleur dans ces conditions de fonctionnement.

3.5.2 SYSTÈME DE PRODUCTION DE FROID UTILISÉ POUR DES BESOINS CONTINUS

Le bâtiment dispose d'un système de production de froid pour un fonctionnement continu sur l'année. Il peut s'agir par exemple d'un système assurant la production de froid en chambre froide. Dans ces conditions, la récupération de chaleur sera disponible sur toute l'année et pourra ainsi être utilisée pour des applications de chauffage (chauffage à eau ou air) en période hivernale voire mi-saison et une application en eau chaude sanitaire sur toute l'année. Des secteurs variés comme les secteurs de la restauration, du commerce mais également les centres aquatiques peuvent être concernés par cette production à l'année et un besoin en chauffage et en ECS.

Les groupes froids avec condenseur à eau, condenseur à air ainsi que les systèmes avec échangeur à eau en sortie de compresseur et en amont du condenseur peuvent assurer la récupération de chaleur.

3.5.3 SYNTHÈSE DES SOLUTIONS ENVISAGEABLES

Situation initiale	Quelles solutions possibles de récupération sur le groupe froid ?	Application possible pour la solution de récupération sur le groupe froid	Valorisation possible	Gains thermiques potentiels par rapport à la solution initiale*
Système de production de froid – Fonctionnement intermittent	Condenseur à air	Hôtellerie	Préchauffage eau chaude sanitaire	+
	Condenseur à eau		Préchauffage eau chaude sanitaire	+
Système de production de froid – Fonctionnement Permanent	Condenseur à air	Restauration (chambre froide), Salle de Serveurs, Commerces, Centre aquatique	Préchauffage air Préchauffage eau chaude sanitaire / Eau de Chauffage	++
	Condenseur à eau		Préchauffage eau chaude sanitaire, eau de chauffage	++
	Echangeur à eau en sortie directe du compresseur avant le condenseur à air		Préchauffage eau chaude sanitaire, eau de chauffage	++

* : Plus le nombre de « + » est important et plus les gains potentiels sont importants.

Tableau 9 : Synthèse des solutions pour la récupération de chaleur sur le groupe froid

CONSEILS



A noter la présence sur le marché des systèmes DRV (Débit Réfrigérant Variable) à récupération d'énergie. Il s'agit de système thermodynamique généralement à détente directe (air/air) dont la fonction est d'assurer simultanément des besoins en chaud et en froid au sein d'un même bâtiment selon l'orientation, la nature des locaux...
Contrairement aux systèmes présentés dans ce guide, les systèmes DRV sont conçus, dimensionnés pour assurer en simultané le chauffage et le rafraîchissement. Ils ne seront pas traités dans ce guide.

3

6

ÉTUDE DE FAISABILITÉ POUR LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE SUR LES ASCENSEURS :

L'ascenseur est un « moyen de transport » largement utilisé dans tout bâtiment tertiaire disposant d'un certain nombre d'étages. Le parc français est composé d'environ 500 000 ascenseurs tout usage confondu. La récupération d'énergie sur les ascenseurs impose que ces derniers soient équipés d'un système d'entraînement doté d'une technologie de régénération énergétique.

Pour « convertir » un ascenseur classique en un ascenseur à régénération d'énergie, différents paramètres sont nécessaires pour évaluer en amont l'intérêt économique et la faisabilité technique.

- Quel est le champ d'application du bâtiment, sa hauteur, son usage ? : *ces caractéristiques vont motiver le choix de moderniser ou non le système existant ;*

- Quelles sont les caractéristiques de l'ascenseur actuellement installé (type de moteur, charge maximale, vitesse...) ? : *ces données vont permettre d'optimiser le nouveau système et évaluer l'intérêt technique et économique d'un remplacement ;*
- Quelle est la surface occupée par l'installation de l'ascenseur (présence ou non d'une salle des machines) ? : *ce paramètre est à considérer en fonction de l'encombrement du nouvel équipement.*

Lors du diagnostic du bâtiment et de l'installation, nous considérons une seule configuration :

- Le bâtiment dispose d'un ascenseur.

3.6.1 PRÉSENCE D'UN ASCENSEUR

Le bâtiment dispose d'un ascenseur qui fonctionne. Toutefois, selon le système mais également l'évolution d'usage du bâtiment, il peut être utile de rénover l'installation existante ou installer un nouveau système plus performant.

Opter pour une rénovation du système nécessite de considérer les points suivants :

- Quel système électrique actuel ? *des travaux de remise en état de l'installation pourraient être nécessaire en vue de l'implémentation du système de régénération et de l'intégration des nouvelles fonctionnalités ;*
- Quel est le système de motorisation de l'ascenseur actuel et quelles seraient les modifications à apporter pour intégrer la technologie de régénération énergétique ? *les modifications peuvent être plus ou moins complexes selon le type de moteur existant.*

Outre les aspects de mise en œuvre, il faut également être vigilant sur le temps d'amortissement du système. Le coût des différents éléments nécessaires peut être important au vu des économies engendrées.

Ci-après, quelques modifications à intégrer en fonction du type de moteur existant :

Moteur existant sur le système d'ascenseur à rénover	Exemples de modifications à considérer	Commentaire
Moteur asynchrone	Ajout d'un variateur de fréquence régénératif	Ce variateur permet au moteur d'agir comme un générateur lors de la phase de freinage.
	Remplacement du moteur asynchrone par un moteur synchrone à aimants permanents	Bonne efficacité. Meilleur contrôle de la vitesse.
Moteur synchrone à aimants permanents	Ajout d'un variateur de fréquence régénératif en présence d'un moteur synchrone ancien non équipé	Compatibilité possible des moteurs synchrones nouveaux avec la technologie régénérative
Moteur à courant continu	Remplacement par un moteur synchrone à aimants permanents avec variateur de fréquence régénératif	Efficacité accrue

Tableau 10 : Exemples de modifications à apporter sur un ascenseur pour favoriser la récupération d'énergie

Opter pour l'installation d'un nouveau système d'ascenseur (avec technologie de régénération énergétique) nécessite de considérer les points suivants :

- Quel est l'emplacement disponible pour la nouvelle installation ? : *une salle des machines spécifique n'est plus forcément indispensable pour la mise en place d'un ascenseur. Les ascenseurs sans salle des machines permettent un gain de place ;*
- Est-ce que l'usage du bâtiment a évolué (nombre de personnes, activités...) ? : *ces critères seront essentiels pour optimiser la nouvelle installation en termes de charge maximale, vitesse de déplacement, surface...*

4

SYNTHÈSE

Ce chapitre propose une analyse comparative des principales techniques de récupération d'énergie selon des critères prédéfinis. Les techniques de récupération d'énergie retenues dans cette synthèse répondent à deux conditions : avoir une occurrence dans une ou plusieurs catégories de bâtiments à gisement important et disposer d'une bibliographie suffisamment conséquente.

4 1

CRITÈRES DE COMPARAISON

4.1.1 GISEMENT

La source de récupération de chaleur est étroitement liée au type de bâtiment et à ses besoins. Également, le critère de « disponibilité » de ce gisement est à considérer. Le fonctionnement d'un système à l'année permettra en théorie une disponibilité importante, une meilleure simultanéité entre besoins et usages et à fortiori une valorisation plus facile de cette récupération de chaleur.

En complément, la représentativité du type de bâtiment dans le parc existant permet de découpler ce gisement.

4.1.2 MISE EN ŒUVRE

Dans l'existant, la mise en œuvre d'un système de récupération peut se révéler complexe. Les caractéristiques dimensionnelles du système, son raccordement mais également les caractéristiques du bâtiment sont des critères à considérer. Toute intervention sur les réseaux existants (air, eau ou autres fluides) ou encore sur le bâtiment peut engendrer des coûts supplémentaires rédhibitoires. La mise en œuvre d'un système avec une intégration facile sur l'équipement existant et sur le bâtiment est à privilégier.

4.1.3 RENTABILITÉ

Le critère de « rentabilité » est traité via les aides financières envisageables. En complément, sont définis les critères ayant un impact sur la performance.

4.1.4 MAINTENANCE

La maintenance est un paramètre clé permettant de garantir la pérennité du système et assurer au mieux ses performances dans le temps. Pour ce faire, une fréquence de maintenance plus ou moins élevée avec des opérations prédéfinies sont à respecter selon les préconisations du fabricant. La simplicité et la robustesse d'un système couplées à un accès aisé facilitent ces opérations de maintenance. Tous ces critères conditionnent la maintenance.

4.1.5 DURÉE DE VIE

La durée de vie du système de récupération est importante à considérer. Elle doit être adaptée à l'installation afin de profiter au maximum de la performance globale de l'installation. Les fiches CEE définissent une durée de vie conventionnelle pour chaque opération standardisée. L'absence de pièce mobile sur un système peut favoriser sa durée de vie.



COMPARATIF DES DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE

Plus le nombre d'étoiles « * » est important (de 0 à 3 étoiles), plus le critère est favorable, intéressant ou avantageux.

Critère	Récupération sur ...	Air Extraît	Fumées	Eaux Grises	Production de Froid	Ascenseurs
Exemples principaux de bâtiments		Bureaux, hôtels-restaurants Commerces Établissements scolaires Établissements sportifs	Cuisines, Chaufferies, Bâtiments tertiaires avec système de production de chauffage par combustion	Hôtels-restaurants, établissements sportifs, piscines, établissements de santé	Salles serveurs, commerces, chambres froides	Bureaux, hôtels, locaux hébergement
Gisement	Source	Tout bâtiment tertiaire avec système de ventilation, de traitement d'air	Tout bâtiments avec cuisine et/ou chauffage avec combustible	Bâtiment avec besoin important en eau chaude sanitaire	Tout bâtiment avec besoin continu de froid (voire besoin intermittent)	Tout bâtiment tertiaire de grande hauteur
	Taille	***	***	**	**	*
Mise en œuvre	Rénovation	Variable selon système initial et nouveau système (centralisé ou décentralisé)	Variable selon taille des locaux et nature du système	Variable selon système actif ou passif (Plus simple avec système passif)	Variable selon la nature du condenseur et le fluide à réchauffer (plus simple avec le réchauffement de l'air)	*(*)
Rentabilité	Aides	CEE (quelques produits)	CEE (quelques produits)	CEE, Fonds chaleur (quelques produits)	CEE (pour certains systèmes)	-
	Gains attendus	Fonction de l'efficacité de l'échangeur et des débits véhiculés	Fonction de l'efficacité de l'échangeur et des débits traités	Fonction de l'endroit où se fait la récupération	Fonction du besoin de froid (besoin continu)	-
Maintenance	Fréquence	Annuelle	Généralement automatisée + Annuelle	Mensuelle – annuelle	Annuelle	Liée à l'ascenseur et non au système de régénération
	Facilité	**	**	* (système actif) à ** (système passif)	*	
Durée de vie		**	** (vigilance par rapport à la graisse présente dans les fumées)	**	***	

Tableau 11 : Synthèse comparative des récupérations d'énergie dans le tertiaire

4

3

COMPARATIF PAR CHAMP D'APPLICATION

Secteur d'activités	Potentiel de récupération intéressant sur ...			
	Air Extraît	Fumées	Eaux Grises	Production de Froid
Bureaux	Oui	Si présence d'un système de chauffage avec combustible	Non	À partir d'un système de climatisation (voir aussi DRV à récupération d'énergie non traité dans ce guide)
Etablissements scolaires	Oui (plus facile avec ventilation mécanique) (Tenir compte des périodes de vacances scolaires pour analyser intérêt technico-économique d'une récupération de chaleur)	Si présence d'un système de chauffage avec combustible	Non	Non
Gymnase	Oui (tenir compte des périodes d'occupation et des possibilités d'arrêter la ventilation pour analyser intérêt technico-économique d'une récupération de chaleur)	Si présence d'un système de chauffage avec combustible	Oui (selon nombre de douches)	Non
Centre aquatique	Oui	Si présence d'un système de chauffage avec combustible	Oui (selon nombre de douches et surfaces des bassins)	Oui pour centre aquatique couvert avec fonctionnement à l'année (à partir d'un système de climatisation pour traitement de l'air ambiant)
Hôtels	Oui (tenir compte du système de ventilation. Récupération moindre avec un système de ventilation hygroréglable)	Si présence d'un système de chauffage avec combustible	Oui (selon nombre de chambres)	Oui à partir d'un système de climatisation (voir aussi DRV à récupération d'énergie non traité dans ce guide)
Restaurants	Oui	Si présence d'un système de chauffage avec combustible + cuisson	Oui (selon nombre de repas/jours)	Oui
Commerces	Oui	Si présence d'un système de chauffage avec combustible	Non	Oui
Etablissements de santé	Oui	Si présence d'un système de chauffage avec combustible	Oui	Non

Tableau 12 : Synthèse comparative du potentiel de récupération selon les rejets thermiques pour différentes typologies de bâtiments

5

APPLICATIONS

5

1

AIR EXTRAIT

5.1.1 PRINCIPE

La récupération de chaleur sur l'air extrait n'est pas un concept nouveau et est relativement bien connue.

Les calories récupérées sur l'air extrait sont ainsi réutilisées directement pour préchauffer l'air insufflé ou comme source froide d'une pompe à chaleur pour assurer un (pré)chauffage d'eau chaude pour les applications chauffage et/ou eau chaude sanitaire.

Cette récupération est effective via un système naturel ou un système mécanique simple flux ou double flux. Ces systèmes sont présents dans une grande majorité de bâtiments tertiaires, indépendamment de leur champ d'application, d'où un gisement important à considérer.

La récupération sur l'air extrait est étroitement liée au débit d'air véhiculé dans le bâtiment. Ce débit d'air est utilisé pour assurer le renouvellement d'air hygiénique du bâtiment et éventuellement son (pré)chauffage. Les débits d'air mis en jeu pour le chauffage du bâtiment sont beaucoup plus importants avec a fortiori un potentiel de récupération de calories sur l'air extrait plus conséquent.

En termes de renouvellement d'air hygiénique, le débit d'air neuf est fonction du nombre d'occupants et de leurs activités via les réglementations du Code du Travail et du RSDT (Règlement sanitaire).

En période de chauffe, la récupération sur l'air extrait est intéressante car relativement stable : pour une grande partie de bâtiments tertiaires, la température ambiante est de l'ordre de 20 °C.

POINT DE VIGILANCE



La récupération de calories sur l'air extrait de ventilation peut être effective sur une année complète ce qui théoriquement, permet un gain important. Toutefois, ceci est à nuancer compte tenu des évolutions réglementaires visant à réduire toute déperdition thermique. Selon l'article R.64-1 de la Circulaire du 9 août 78 modifiée, la ventilation peut être arrêtée dans les bâtiments tertiaires afin de réduire les déperditions thermiques : « En cas d'inoccupation des locaux, la ventilation peut être arrêtée ; elle doit, cependant, être mise en marche avant occupation des locaux et maintenue après celle-ci pendant un temps suffisant. » Également, ce potentiel de récupération peut être réduit par la mise en place d'un système de modulation des débits de ventilation : modulation en fonction de la présence, de la concentration en CO₂ ou encore de l'humidité relative (uniquement pour les hôtels dans ce dernier cas).

Certains systèmes peuvent faire l'objet d'une fiche CEE. Ces éléments sont détaillés en annexe 1 avec le lien internet.

5.1.2 SYNTHÈSE

Récupération sur l'air extrait via un ...	Application principale	Exemple de catégorie de bâtiment	Mise en œuvre	Maintenance	Performances	Commentaires
Système de ventilation mécanique simple flux par extraction raccordé à une pompe à chaleur	Préchauffage eau de chauffage (voire ECS)	Résidences hôtelières	Prévoir emplacement pour pompe à chaleur	Maintenance de la pompe à chaleur (variable selon fluide frigorigène)	Bonnes performances liées à la pompe à chaleur	Minimum de débit d'air extrait requis (pour fonctionnement de la PAC)
Système de ventilation naturelle avec récupérateur de chaleur	Préchauffage air insufflé	Établissements scolaires Centres de loisirs	Conception architecturale avec hauteur de bâtiment importante (bon tirage thermique)	Peu de maintenance Absence de pièce mobile Maintenance échangeur	Efficacité échangeur de chaleur spécifique « ventilation naturelle » $\approx 50\%$	Encombrement important (tour à vent, conduits) Dimensions des conduits d'air supérieures au système mécanique
Système de ventilation mécanique double flux centralisé avec récupérateur de chaleur	Préchauffage air insufflé	Bureaux Établissements scolaires	Mise en œuvre plus ou moins délicate avec le passage de conduits aérauliques	Maintenance régulière de l'échangeur Maintenance des réseaux	Efficacité variable selon type d'échangeur (jusqu'à 80-85 % avec un échangeur à plaques ou un échangeur rotatif)	Arrêt possible de la ventilation hors période d'occupation Impact sur les gains potentiels
Système de ventilation mécanique double flux décentralisé avec récupérateur de chaleur	Préchauffage air insufflé	Zone de bureaux Salles d'enseignement	Mise en œuvre simplifiée (pas de passage de conduits) Carottage dans parois	Accessibilité aisée pour maintenance de l'échangeur	Efficacité variable selon type d'échangeur (échangeur à plaque ou échangeur tubulaire céramique)	Application à une zone, à un local Ordre de grandeur des débits d'air véhiculés $\approx 1000 \text{ m}^3/\text{h}$
Centrale de traitement d'air avec récupérateur de chaleur	Préchauffage air insufflé (traitement de l'air)	Bureaux Commerces Hôtels Établissements sportifs, Centres aquatiques	Mise en œuvre plus ou moins délicate avec le passage de conduits aérauliques Système encombrant	Maintenance régulière de l'échangeur Maintenance des réseaux	Efficacité variable selon type d'échangeur (jusqu'à 80-85 % avec un échangeur à plaques ou un échangeur rotatif)	Traitement de l'air par le système Fonctionnement continu voire réduit
Centrale de traitement d'air avec récupérateur de chaleur et pompe à chaleur	Chauffage air insufflé	Bureaux Commerces	Mise en œuvre délicate avec le passage de conduits aérauliques Système encombrant	Maintenance de la pompe à chaleur à chaleur (variable selon fluide frigorigène)	Très bonne efficacité liée à l'échangeur thermique et à la pompe à chaleur	Débits d'air véhiculés importants (jusqu'à quelques dizaines de milliers de m^3/h)

Tableau 13 : Caractéristiques de différentes solutions de récupération sur l'air extrait

5.1.3 COMMENT VALORISER LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE SUR L'AIR EXTRAIT ?

L'énergie récupérée sur l'air extrait est valorisée pour assurer :

- Un (pré)chauffage de l'air neuf insufflé ;
- Un (pré)chauffage de l'eau de chauffage voire l'eau chaude sanitaire (ECS).

Pour ce faire, 3 principales techniques existent pour assurer cette récupération sur l'air extrait :

- Ventilation naturelle par conduit avec récupération de chaleur ;
- Ventilation mécanique simple flux par extraction avec pompe à chaleur ;
- Ventilation mécanique double flux avec récupérateur de chaleur (système de ventilation ou CTA).

5.1.3.1 SYSTÈME DE VENTILATION NATURELLE PAR CONDUIT AVEC RÉCUPÉRATEUR DE CHALEUR

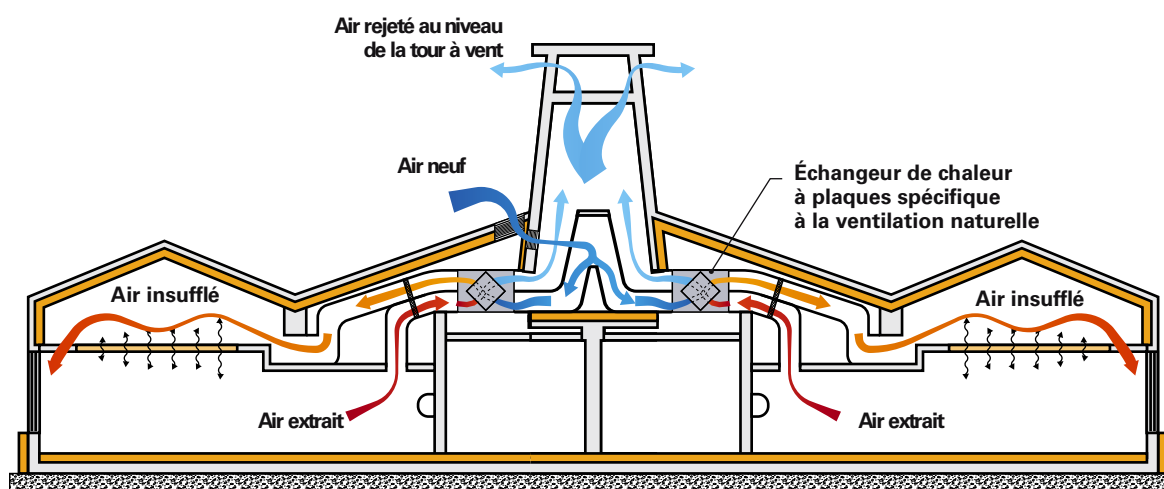
L'efficacité d'un système de ventilation naturelle repose sur la capacité à générer un tirage thermique suffisant afin de garantir un bon niveau de qualité d'air dans le bâtiment.

Le tirage thermique est conditionné aux effets du vent et à la hauteur du bâtiment (et du conduit aérodynamique d'évacuation de l'air).

L'écoulement naturel impose des dimensions de conduits plus importantes qu'en ventilation mécanique afin de limiter au maximum les pertes de charge. Il en est de même pour tous les composants de la ventilation naturelle : grille, prise d'air neuf, échangeur de chaleur.

Dans le cadre de l'appel à projet « BATRESP », un système de ventilation naturelle avec récupérateur de chaleur a été mis en place dans deux bâtiments rénovés : un groupe scolaire et un centre de loisirs (figure suivante). Une tour à vent verticale (ou plusieurs) de plusieurs mètres au-dessus du bâtiment assure l'évacuation de l'air extrait via le tirage thermique et les effets du vent. La ventilation naturelle avec récupération de chaleur s'articule autour de deux veines d'air, soufflage et extraction, reliées entre elles par un échangeur de chaleur à plaques de conception spécifique. Comme tout élément, l'échangeur de chaleur a été conçu pour freiner le moins possible l'écoulement d'air naturel et ainsi offrir une faible perte de charge : le design des plaques est différent de celui rencontré en ventilation mécanique. Dans ces conditions et en application réelle, l'efficacité de cet échangeur sur ces deux bâtiments est de l'ordre de 50-55 %.

Figure 12 : Principe de fonctionnement de la ventilation naturelle avec récupérateur de chaleur



5.1.3.2 SYSTÈME DE VENTILATION MÉCANIQUE SIMPLE FLUX PAR EXTRACTION

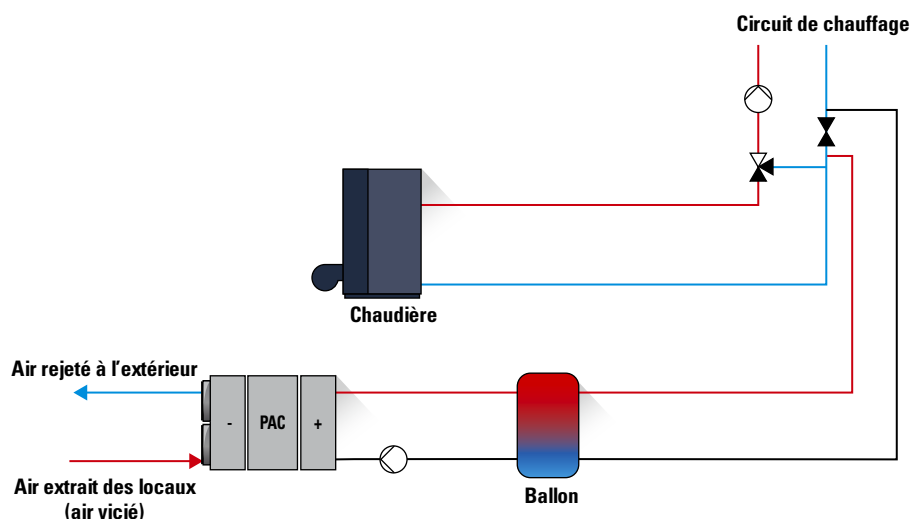
À partir d'un système de ventilation mécanique simple flux par extraction, la récupération de chaleur se fait en « réutilisant » les calories sur l'air extrait comme source froide d'une pompe à chaleur en vue de (pré)chauffer l'eau de chauffage voire l'ECS.

La récupération de chaleur sur l'air extrait peut se faire directement au niveau de la pompe à chaleur air/eau voire indirectement à partir d'un échangeur thermique venant alimenter l'évaporateur de la pompe à chaleur. Dans ce dernier cas, il s'agira d'une pompe à chaleur eau glycolée/eau.

La récupération peut, théoriquement, se faire sur toute l'année et concerne tout type de bâtiment avec des besoins continus en ECS ou/et en eau de chauffage.

En assurant uniquement le préchauffage, cette association est à coupler avec un système de chauffage selon le principe de fonctionnement suivant :

Figure 13 : Schéma de principe de la ventilation mécanique simple flux raccordée directement à une pompe à chaleur en vue d'assurer le préchauffage de l'eau de chauffage



Le recours à la pompe à chaleur est indispensable lorsque les besoins en température sont plus élevés que la température de l'air vicié récupéré. Les performances de la pompe à chaleur sont d'autant meilleures que la température de source froide, c'est-à-dire l'air extrait du bâtiment, est relativement constante et élevée (de l'ordre de 20 °C).

Associer une pompe à chaleur à un système de ventilation mécanique simple flux nécessite de considérer plusieurs critères :

- La nature et la quantité de fluide frigorigène présent dans la pompe à chaleur ;
- Les caractéristiques de la pompe à chaleur en termes de système, performances, niveau acoustique... ;
- Le débit minimal d'air extrait ;
- La température d'eau souhaitée pour les besoins de chauffage sachant que la performance de la pompe à chaleur est d'autant meilleure que l'on est sur des applications « basse température » : entre 35°C et 45°C en température de départ de la PAC afin d'optimiser le COP.

Pour assurer le bon fonctionnement de la pompe à chaleur, il est nécessaire d'avoir un volume minimum d'air extrait afin d'assurer le transfert d'énergie côté évaporateur. **Cela suppose que le débit d'air extrait du bâtiment soit supérieur au débit minimum imposé par la pompe à chaleur.** Les débits d'air et pressions disponibles sont étroitement liés pour s'assurer du bon fonctionnement de la ventilation. La plage de pression disponible sur une même colonne est à vérifier afin d'assurer les bons débits extraits au niveau d'une part, de la bouche d'extraction la plus défavorisée aérauliquement et d'autre part, de la bouche d'extraction la plus favorisée aérauliquement.

En présence d'une PAC air/eau, l'énergie thermique présente dans l'air extrait est utilisée pour (pré)chauffer l'eau de chauffage. Afin d'assurer des performances optimales, la pompe à chaleur est alimentée avec un débit d'eau permettant de fonctionner sur un écart de température de 5 à 7 [K] entre la température de départ et de retour d'eau. Selon les émetteurs, ils peuvent être alimentés avec un débit différent correspondant à un écart de température plus important. Dans ces conditions, il est essentiel d'assurer un découplage hydraulique entre la production et la distribution. Ce découplage peut être un bypass, une bouteille de découplage voire un ballon tampon pour stocker cette énergie et maintenir un temps minimal de fonctionnement du compresseur.

COMMENT FAIRE



Comme tout système thermodynamique, les exigences d'entretien d'une pompe à chaleur sont définies dans l'arrêté du 24 juillet 2020 mais également dans le règlement européen N° 2024/573 relatif aux gaz à effet de serre (règlement dit F-Gas).

Les pompes à chaleur fonctionnant avec un fluide naturel (R-744) ou un hydrocarbure (R-290 par exemple) sont soumis à l'arrêté du 24 juillet 2020 et doivent faire l'objet d'un entretien au moins tous les 2 ans avec notamment obligation d'un contrôle d'étanchéité sans intervention sur le circuit frigorifique.

Les systèmes fonctionnant avec un fluide frigorigène de type HFC (R-410A par exemple) ou HFO (R-1234ze par exemple) (fluide seul ou en mélange) sont soumis à partir d'une certaine charge, exprimée en kg ou en t_{éq.CO₂}, selon le fluide, à un contrôle d'étanchéité dont la périodicité varie entre 6 mois et 24 mois.

5.1.3.3 SYSTÈME DE VENTILATION MÉCANIQUE DOUBLE FLUX – CENTRALE DE TRAITEMENT D'AIR

La récupération des calories sur l'air vicié dans un système mécanique double flux permet d'assurer le (pré)chauffage de l'air frais insufflé dans le bâtiment ou dans un local du bâtiment.

Cette récupération peut se faire à l'échelle du bâtiment via un système centralisé ou uniquement à l'échelle d'une zone/local à partir d'un système double flux décentralisé. En rénovation, la mise en place d'un système décentralisé est soumise à moins de contraintes en raison de l'absence de conduits aérauliques associés.

Dans tous les cas, ceci implique la présence d'un récupérateur de chaleur dans le système aéraulique mécanique double flux.

Avec un système de ventilation mécanique double flux, la récupération de calories se fait pendant la période de chauffe et présente un intérêt premier dans les bâtiments où l'occupation est importante et continue pendant cette période : les bureaux, hôtels, commerces répondent à ces caractéristiques.

Le recours à un système de traitement d'air permettant de chauffer, rafraîchir et ventiler un bâtiment est une pratique rencontrée dans plusieurs catégories de bâtiments tertiaires : bureaux, commerces, hôtels-restaurants, bâtiments sportifs et culturels, établissements de santé.

COMMENT FAIRE



La récupération de chaleur sur le seul système de ventilation peut présenter un potentiel moins important sur l'année étant donné que la ventilation peut être arrêtée voire modulée hors période d'occupation.

La récupération de chaleur au niveau d'une centrale de traitement d'air implique des débits d'air plus importants et une plus grande constance pendant la période de chauffe.

Le récupérateur de chaleur est la pièce maîtresse de tout système aéraulique double flux destiné à de la récupération de chaleur.

Il existe deux types de récupération de chaleur : la récupération de chaleur « à récupération » et la récupération de chaleur « à régénération ».

Les échangeurs de chaleur « à récupération » vont transférer la chaleur par conduction thermique via une plaque de séparation ou un fluide intermédiaire. Les plus courants sont les échangeurs à plaques, caloducs, échangeurs à circuit fermé (eau glycolée).

Les échangeurs de chaleur « à régénération » transfèrent la chaleur via des surfaces accumultrices de chaleur. Ces surfaces sont exposées de façon alternative à l'air rejeté et à l'air neuf. Les échangeurs de chaleur rotatif (à roue) sont des systèmes de récupération à régénération.

Tous ces échangeurs de chaleur permettent une **valorisation directe de la chaleur récupérée** mais à un **niveau de température limité par la température de l'air extrait récupéré**.

Figure 14 : Echangeur de chaleur à plaques

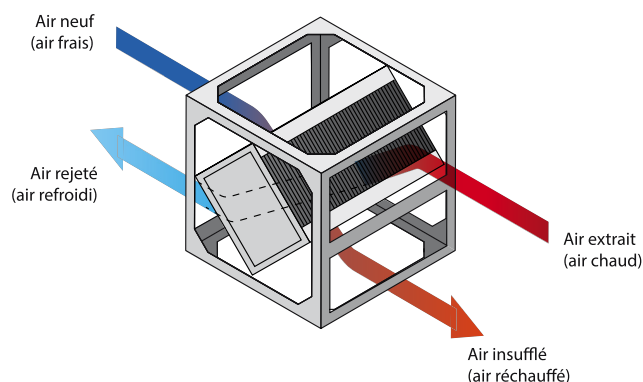


Figure 15 : Echangeur de chaleur à eau glycolée

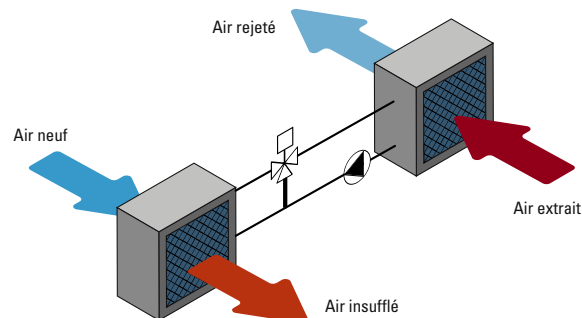


Figure 16 : Echangeur de chaleur rotatif

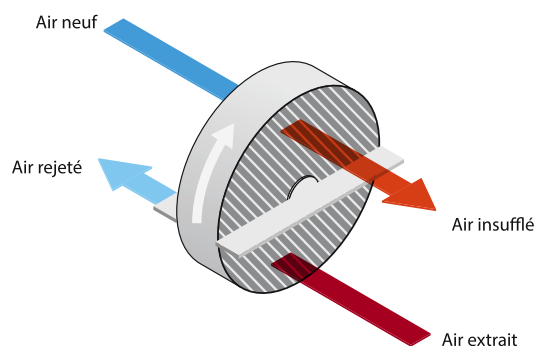
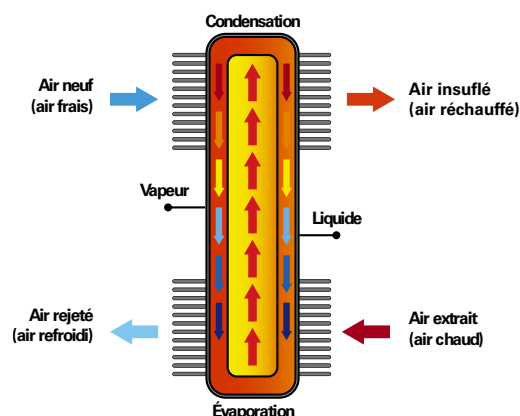


Figure 17 : Echangeur de chaleur type caloduc



L'échangeur de chaleur à plaques est le plus répandu. Son efficacité a positivement évolué au cours des années grâce à l'optimisation du transfert de chaleur entre les flux d'air neuf et extrait et de nouvelles géométries d'échange : de l'ordre de 40-50 % dans les années 90 à 65 %-70 % dans les années 2010. A ce jour, les produits proposés peuvent présenter une efficacité, dans les conditions normalisées, de 79 % jusqu'à 90 % environ. Selon le champ d'application, les plaques des échangeurs sont en aluminium ou en polypropylène.

Les échangeurs rotatifs sont également mis en avant pour des applications en tertiaire. Ces produits peuvent permettre le transfert ou non d'humidité et présentent généralement une possibilité de variation de la vitesse du rotor. Les efficacités, dans les conditions normalisées, sont entre 70 % et 83 %.

Lorsque les réseaux aérauliques de soufflage et d'extraction sont installés séparément et éloignés l'un de l'autre, le recours à un échangeur à eau glycolée est une option pour échanger les calories entre les deux réseaux. Certains échangeurs à eau glycolée (dit à haut rendement) peuvent atteindre jusqu'à environ 75 % d'efficacité contre 60 % pour un échangeur à eau glycolée « standard ».

Ce type d'échangeur peut également s'imposer lorsqu'une séparation complète des flux d'air est exigée avec des contraintes hygiéniques élevées.

Les ordres de grandeur d'efficacité et les caractéristiques principales de ces récupérateurs sont définis ci-après :

Echangeur de chaleur	Ordre de grandeur efficacité (%)	Caractéristiques principales	
		Avantages	Inconvénients
Echangeur à plaques	60 – 85 %	Compact Bonne fiabilité Bonne efficacité (flux à contre-courant plutôt que co-courant) Maintenance assez aisée	Évacuation des condensats Risque de gel Perte de charge Sensible à l'encrassement
Echangeur à roue	60 – 85 %	Bonne efficacité Récupération possible de la chaleur latente	Recirculation air plus ou moins importante (secteur de purge) Maintenance (pièce mobile - état des joints) Consommation énergie supplémentaire
Echangeur eau glycolée (circuit fermé)	50 – 70 %	Souplesse dans l'agencement des réseaux : réseau air neuf et air extrait à des endroits différents	Tuyauterie eau glycolée Présence de deux échangeurs (efficacité moyenne)
Echangeur caloduc	50-65 %	Pas de pièces mobiles	Fluide frigorigène

Tableau 14 : Caractéristiques principales des différents types d'échangeur de chaleur

CONSEILS



Les échangeurs à plaques à contre-courant et les échangeurs rotatifs (roues) sont les deux principaux échangeurs rencontrés sur les produits actuels pour garantir la récupération des calories sur l'air extrait. Ces échangeurs présentent également le meilleur taux d'efficacité.

Echangeur de chaleur	Exemple de secteur d'activités
Echangeur à plaques	Enseignement Tertiaire Santé Laboratoire Etablissements sportifs – centres aquatiques Hôtellerie
Echangeur à roue	Enseignement Commerces Etablissements sportifs
Echangeur eau glycolée (circuit fermé)	Cuisines professionnelles – restauration Santé Etablissements sportifs – centres aquatiques

Tableau 15 : Exemple de solutions de récupération de chaleur en fonction du secteur d'activités

En complément des systèmes avec récupérateur de chaleur rotatif, certains produits intègrent en plus une pompe à chaleur. Selon la puissance thermique demandée, la récupération des calories sur l'air extrait se fait en priorité via l'échangeur de chaleur. La pompe à chaleur peut ensuite faire l'appoint selon les besoins de chauffage. Les débits d'air véhiculés dans ces systèmes sont de quelques milliers de m³/h, supérieur à 2000 m³/h et jusqu'à 15000 – 20000 m³/h.

Les différents composants de ces systèmes s'articulent avec le condenseur et l'évaporateur positionnés de part et d'autre de l'échangeur de chaleur.

Les considérations sur la maintenance rejoignent celles définies dans le paragraphe précédent concernant la pompe à chaleur.

Pour répondre spécifiquement aux exigences de la rénovation, il existe les systèmes de ventilation double flux décentralisés permettant ainsi de s'affranchir de tout passage de conduits aérauliques. Ces systèmes visent un volume d'air traité correspondant à un local ou une zone, jusqu'à environ 1000 m³/h. Ceci est adapté à une zone de bureaux ou de salles d'enseignement. Les échangeurs utilisés sont des échangeurs à plaques à contre-courant voire des échangeurs en céramique afin de garder au maximum la chaleur.

5 2 FUMÉES

5.2.1 PRINCIPE

Dans un bâtiment tertiaire, les fumées peuvent provenir de deux sources principales :

- Les fumées de cuisson issues des cuisines ;
- Les fumées de combustion issues des chaudières.

Ainsi, tout type de bâtiment disposant d'un système de chauffage/production d'eau chaude sanitaire par combustion (combustible gaz, fioul ou autre) et/ou d'une cuisine professionnelle sont concernés par ce potentiel de récupération sur les fumées.

Les fumées sont des rejets d'air caractérisés par leur température et leur composition. Les températures des fumées dépendent de l'application, de la technologie du générateur et du combustible utilisé. Par exemple, l'évolution des technologies de chaudières gaz a permis de faire évoluer la température des fumées entre 200-250 °C et 50-80 °C.

À cette dimension thermique, se rajoute la composition des fumées considérées. Une grande différence existe entre les fumées issues de combustion et les fumées de cuisson, particulièrement chargées en graisses et Composés Organiques Volatils.

De plus, le potentiel de récupération est plus ou moins continu selon la source de récupération :

- La récupération sur les fumées de combustion est fonctionnelle sur la période de chauffe voire plus si application pour l'eau chaude sanitaire ;
- La récupération sur les fumées de cuisson est fonctionnelle sur l'année avec des périodes prédéfinies de l'ordre de quelques heures/jour.

Les technologies de récupération de chaleur sur les fumées en général vont se baser sur un échange air/air ou air/eau.

Les calories récupérées sont réutilisées pour un préchauffage de l'air ou de l'eau pour alimenter une batterie chaude voire une eau de chauffage ou ECS.

Certaines de ces solutions peuvent être éligibles à un financement CEE.

A noter que la récupération d'énergie sur les fumées de combustion est une pratique courante en industrie.

5.2.2 SYNTHÈSE

Tableau 16 : Caractéristiques de différentes solutions de récupération sur les fumées

Récupération sur les fumées de cuisson via un ...	Application principale	Exemple de catégorie de bâtiment	Mise en œuvre	Maintenance	Performances	Commentaires
Un récupérateur de chaleur air/air indépendant de la hotte de cuisine	Préchauffage air insufflé	Tout type de cuisine professionnelle	Prévoir emplacement en amont du caisson	Nettoyage quotidien automatique Vérification manuelle à intervalle régulier	Efficacité annoncée entre 50 % et 65 %	Echangeur spécifique « compatible » avec l'évacuation des fumées
Un récupérateur de chaleur intégré à la hotte de cuisine	Préchauffage air insufflé	Cuisine de surface moyenne (débit < 5000 m ³ /h)	Produit-système à intégrer à proximité de la hotte de cuisine.	Nettoyage quotidien automatique. Pulvérisation de produit. Vérification manuelle à intervalle régulier	Efficacité annoncée ≤ 50 %	Consommation du produit nettoyant Perte de charge du système à intégrer
Un récupérateur de chaleur air/eau à effet cyclonique	Préchauffage eau (batterie, chauffage, ECS)	Tout type de cuisine	Prévoir dispositif de récupération des condensats	Maintenance limitée (effet cyclonique)	Efficacité annoncée de l'ordre de 60 %	Installation en amont du caisson Encombrant selon le débit véhiculé

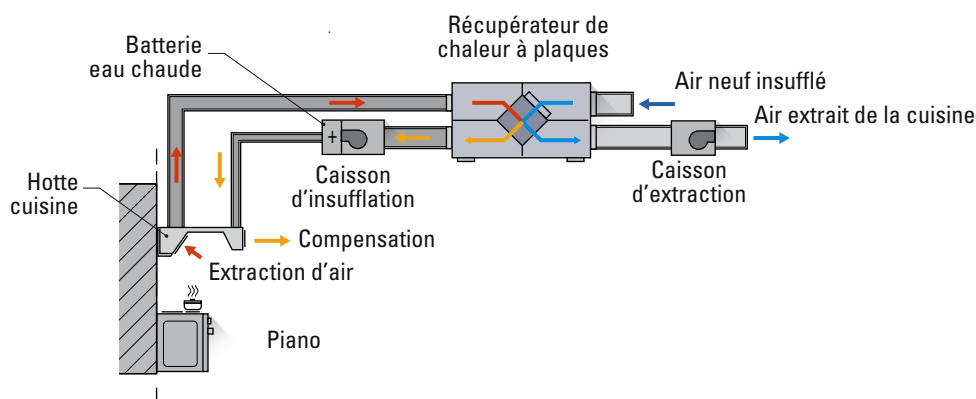
5.2.3 COMMENT VALORISER LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE SUR LES FUMÉES DE CUISSON ?

5.2.3.1 SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR AIR/AIR INDÉPENDANT À LA HOTTE DE CUISINE

Le système de récupération air/air repose sur le même principe que les récupérateurs « classiques » sur l'air extrait de ventilation / traitement de l'air des bâtiments. En revanche, la conception d'un tel échangeur est spécifique afin de s'adapter aux contraintes des fumées grasses : **traitement de l'échangeur et procédure automatique de nettoyage sont mis en place afin de garantir la pérennité des performances**. Les efficacités annoncées sur ce récupérateur d'énergie sont de l'ordre de 50 % à 65 %. Cet échangeur à plaques s'installe en toiture entre la hotte et le caisson d'extraction, à proximité de ce dernier. Ce système permet un préchauffage de l'air insufflé dans la cuisine.

Différents produits existent permettant de viser un volume d'air traité plus ou moins important, entre quelques centaines de m³/h à un peu plus d'une dizaine de milliers de m³/h afin de satisfaire aux différents types de cuisines professionnelles.

Figure 18 : Echangeur de chaleur type récupérateur à plaques pour les cuisines professionnelles



5.2.3.2 SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR INTÉGRÉ À LA HOTTE DE CUISINE

Une hotte à récupération d'énergie intégrée est un seul et même système placé au plus près de la source de chaleur pour récupérer le maximum d'énergie afin de préchauffer l'air insufflé. Par exemple, pour une température extérieure de 0 °C, une température de fumée reprise à 40 °C et un débit d'air véhiculé de l'ordre de 3000 m³/h, la température de soufflage est d'environ 17 °C.

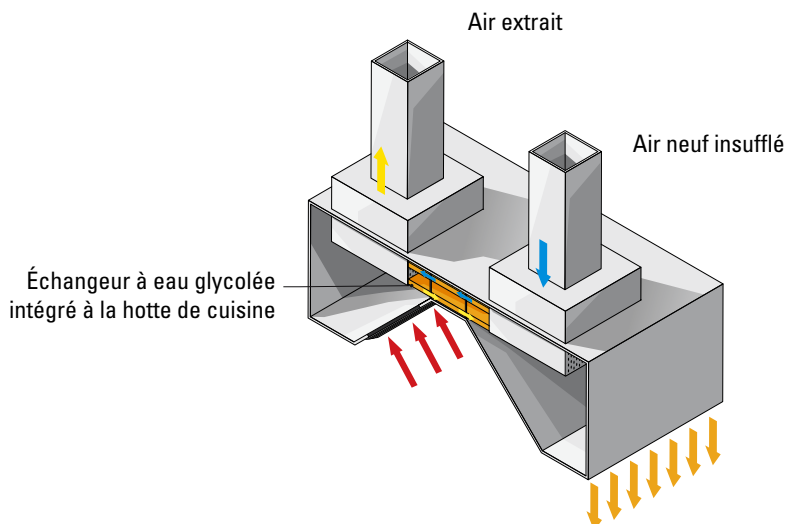
Le système de récupération intégré est un échangeur à eau glycolée assurant le transfert des calories entre l'air extrait de la cuisine et l'air insufflé sans risque de transmission de pollution entre les deux réseaux d'air. Un tel échangeur est moins sujet aux effets d'encrassement.

Toutefois, étant donné sa proximité à la source de chaleur et la nature des fumées, un nettoyage quotidien de l'échangeur est assuré de façon automatique en amont, dans la zone d'extraction.

La mise en place de ce système complet impose de prendre en compte sa perte de charge, quelques centaines de Pa supplémentaire, pour le bon dimensionnement du caisson d'extraction.

Ce système est principalement destiné pour des cuisines de moyenne surface avec un débit d'air traité de l'ordre de quelques milliers de m³/h (entre 2000 et 5000 m³/h environ). En raison du fluide caloporteur intermédiaire, l'efficacité de la récupération est comprise entre 40 % et 50 % environ.

Figure 19 : Système de récupération de chaleur intégré à la hotte de cuisine

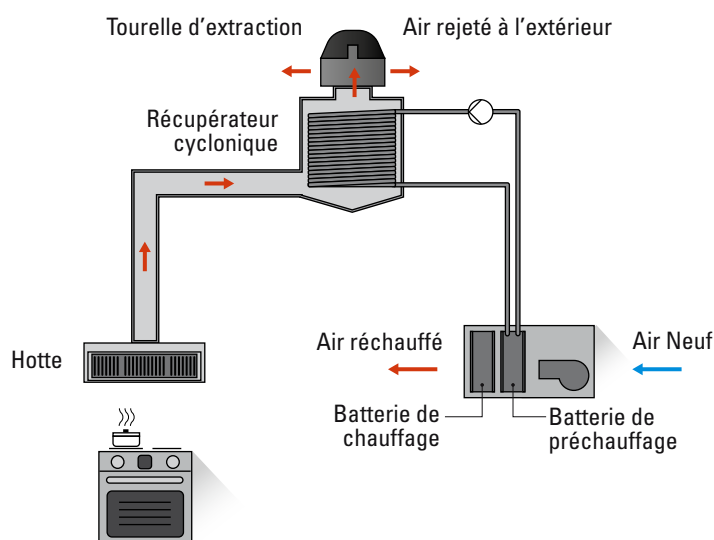


5.2.3.3 SYSTÈME DE RÉCUPÉRATION DE CHALEUR AIR/EAU À EFFET « CENTRIFUGE »

Le système de récupération air/eau permet d'assurer un préchauffage de l'eau pour alimenter une batterie chaude ou pour une application directe « chauffage et/ou eau chaude sanitaire ». Cet échangeur à effet centrifuge permet une circulation à vitesse élevée des fumées entre le tube d'eau et le caisson en suivant une trajectoire cyclonique. La force centrifuge va « plaquer » les poussières et particules des fumées épurant un minimum l'air extrait. L'intérêt d'un tel échangeur est de pouvoir récupérer la chaleur sur des fluides encrassés (présence de graisses, de poussière) en réduisant le risque de colmatage des conduits.

Ce système est à placer sur le réseau d'extraction en amont de la tourelle ou caisson d'extraction. Il permet de traiter un débit d'air de l'ordre de quelques milliers de m³/h et ce, pour une puissance thermique récupérée de quelques dizaines de kW. L'efficacité annoncée est de l'ordre de 60 %.

Figure 20 : Système de récupération de chaleur à effet centrifuge



5.2.4 COMMENT VALORISER LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE SUR LES FUMÉES DE COMBUSTION ?

La température des fumées rejetées est variable selon le combustible (gaz, fioul, bois) et selon la technologie de la chaudière. Une solution répandue dans le tertiaire est le recours à une chaudière à condensation.

5.2.4.1 SYSTÈMES À CONDENSATION

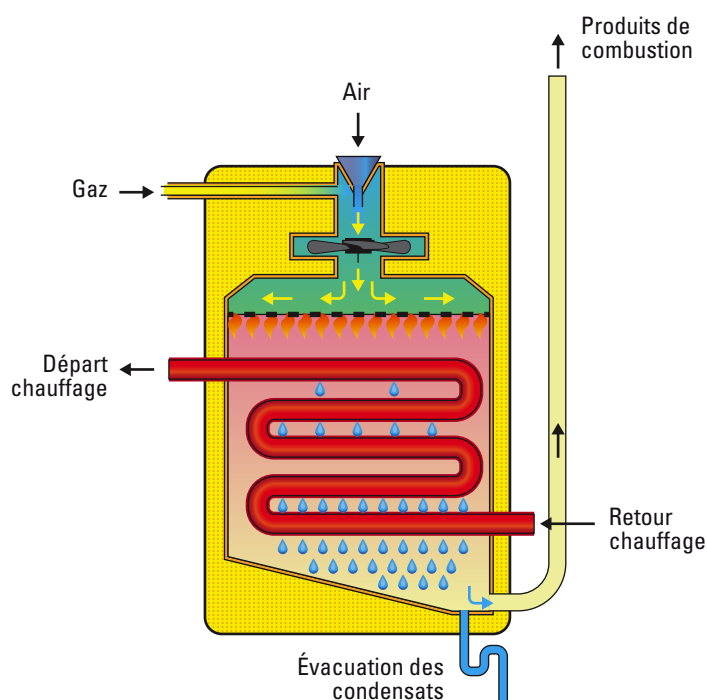
CONSEILS



Les chaudières sont omniprésentes dans les bâtiments tertiaires. Elles présentent une composante saisonnière pour assurer le chauffage du bâtiment et une composante permanente pour assurer la production de l'eau chaude sanitaire.

Le principe du système à condensation est de récupérer la chaleur latente issue de la liquéfaction de la vapeur d'eau contenue dans les fumées en plus de la chaleur sensible des fumées. Pour ce faire, il faut que la température d'eau de retour soit suffisamment basse pour pouvoir refroidir les fumées jusqu'au point de rosée. Par rapport aux chaudières d'ancienne génération, ou non-équipées de système de récupération par condensation, il est possible de gagner entre 6 % et 12 % de rendement en fonction du combustible utilisé.

Figure 21 : Principe de fonctionnement d'une chaudière à condensation



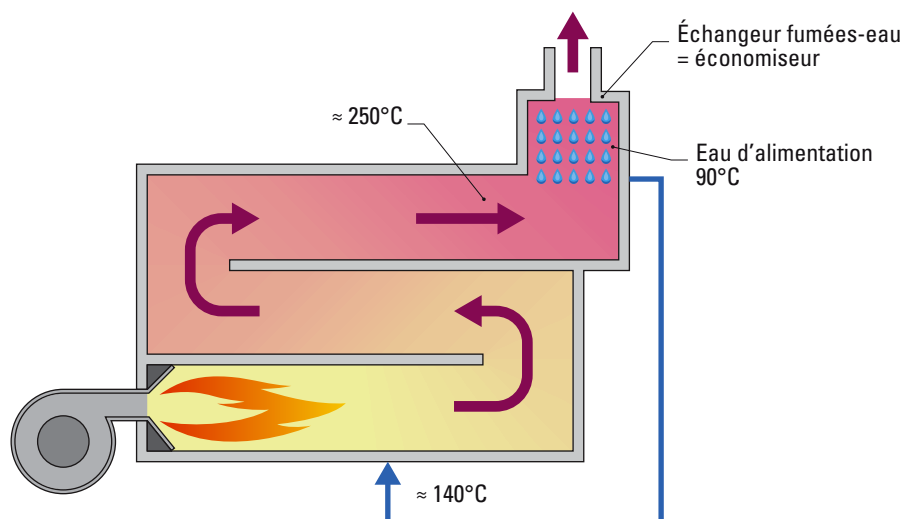
Ce système a pour avantage de diminuer la température de sortie des fumées, mais doit gérer en contrepartie les condensats, souvent acides, produits par la récupération de chaleur.

5.2.4.2 CHAUDIÈRE EXISTANTE – AJOUT D'UN ÉCONOMISEUR

La récupération d'énergie sur les fumées des chaudières peut également se faire via un « économiseur » situé entre la chaudière et le conduit de fumée. Il s'agit d'un échangeur « fumées/eau » qui permet de récupérer la chaleur sensible contenue dans les fumées pour préchauffer l'eau d'alimentation de la chaudière. L'économiseur permet d'augmenter d'environ 5 % le rendement de la chaudière. Pour éviter tout problème de condensation non prévu, la température d'eau en entrée de l'économiseur doit être supérieure à la température de rosée des fumées.

Cet échangeur, constitué de tubes classiques voire de tubes à ailettes pour accroître l'échange thermique peut s'adapter à tout type de combustible.

Ce procédé de récupération est principalement utilisé dans le secteur industriel.

Figure 22 : Représentation schématique d'un économiseur en sortie de chaudière (d'après CEGIBAT)

5

3

EAUX GRISES

5.3.1 PRINCIPE

La consommation d'eau à différents niveaux de température concerne une multitude de bâtiments tertiaires.

Le potentiel de récupération de chaleur sur les eaux grises est d'autant plus intéressant que les besoins en eau chaude sanitaire sont importants : les centres médicaux, le secteur hôtelier, les équipements sportifs ou encore les centres aquatiques sont des typologies de bâtiment bien adaptées à cette récupération de chaleur sur les eaux grises.

La récupération sur les eaux grises concerne uniquement toute récupération sur les eaux provenant des douches, lavabos, éviers. Ne sont pas concernées les eaux provenant des sanitaires.

NOTE

Ces récupérateurs échangent les calories uniquement avec les réseaux d'eaux grises qui ne comprennent pas les eaux vannes (sanitaires). En conséquence, ces deux réseaux doivent absolument être distincts avant tout raccordement d'un récupérateur de chaleur. Ceci peut être une contrainte en rénovation, où les collecteurs en pied de bâtiment peuvent regrouper les eaux usées et les eaux vannes.

La récupération de chaleur sur les eaux grises peut se faire à différents endroits :

- Directement sous « l'émetteur », au niveau du point de puisage le plus chaud (douche par exemple) où la température des eaux grises récupérées peut atteindre environ 35 °C ;
- Au niveau d'autres sources de rejet comme les eaux de bassins ;
- Au pied du bâtiment où la température des eaux récupérées va être de l'ordre de 24 °C ;
- Au niveau des sous stations d'épurations, égouts où la température des eaux grises sera de l'ordre de 13 °C.

Le système de récupération de chaleur sur les eaux grises est différent selon l'endroit de récupération de ces calories : un système « passif » sera adapté pour récupérer les calories directement sous le point de puisage ou au plus près de celui-ci. Lorsque la température des eaux récupérées est plus faible par rapport aux besoins, le recours à un système actif (avec pompe à chaleur) est nécessaire.

Certains systèmes peuvent faire l'objet d'une fiche CEE. Ces éléments sont détaillés en annexe 1.

5.3.2 SYNTHÈSE

Récupération sur les eaux grises via un ...	Application principale	Exemple de catégorie de bâtiment	Mise en œuvre	Maintenance	Performances	Commentaires
Système passif individuel vertical (tube)	Préchauffage eau chaude sanitaire	Locaux hébergement Établissements de santé Établissements sportifs (gymnases) Centres aquatiques	Mise en œuvre assez aisée	Maintenance simplifiée. Vérification visuelle et passage d'une brosse au moins 1 fois/an	Efficacité très variable selon le système, la configuration de mise en œuvre et le type d'échangeur. Efficacité entre 35 % et 65 %	S'assurer de la séparation des réseaux « eaux grises » et « eaux vannes ».
Système passif vertical collecteur	Préchauffage eau chaude sanitaire	Locaux hébergement Établissements de santé Établissements sportifs (gymnases) Centres aquatiques	Mise en œuvre assez aisée. Prévoir un calorifuge de classe 2 sur collecteur horizontal. Pas d'obligation pour le calorifuge des chutes.	Maintenance simplifiée. Vérification visuelle et passage d'une brosse au moins 1 fois/an	Efficacité très variable selon le système, la configuration de mise en œuvre et le type d'échangeur. Efficacité entre 40 % et 50 %	S'assurer de la séparation des réseaux « eaux grises » et « eaux vannes »
Système passif horizontal	Préchauffage eau chaude sanitaire (ou eau de chauffage selon échangeur)	Locaux hébergement Centres aquatiques	Mise en œuvre assez aisée (aménagement du réceptacle de douche)	Vigilance sur l'encrassement de l'échangeur. Vérification régulière plusieurs fois/an Possibilité de nettoyage automatique selon les systèmes	Efficacité très variable selon le système, la configuration de mise en œuvre et le type d'échangeur. Efficacité entre 15 % et 50 %	S'assurer de la séparation des réseaux « eaux grises » et « eaux vannes »
Système actif (pompe à chaleur)	Chauffage eau chaude sanitaire (ou eau de chauffage)	Hôtellerie Restaurants Établissements sportifs (gymnases) Centres aquatiques Établissements de santé (Consommation journalière d'eau chaude sanitaire > 1500 l/j)	Mise en œuvre délicate en rénovation. Travaux d'adaptation du bâtiment. Vigilance sur la place disponible	Maintenance régulière manuelle au moins 1 fois/an (PAC + tous les éléments associés) Partie de la maintenance en procédure quotidienne et automatisée	Bonnes performances thermiques liées à la PAC. Performances supérieures avec association d'un échangeur à plaques	S'assurer de la séparation des réseaux « eaux grises » et « eaux vannes ». Investissement important (plusieurs dizaines de milliers d'euros) Pilotage et suivi à distance de l'installation

Tableau 17 : Caractéristiques de différentes solutions de récupération sur les eaux grises

5.3.3 COMMENT VALORISER LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE SUR LES EAUX GRISES ?

3 principes existent pour récupérer la chaleur sur les eaux grises en vue d'une réutilisation pour le (pré)chauffage de l'ECS et/ou de l'eau de chauffage :

- Récupération instantanée via un échangeur passif horizontal ;
- Récupération instantanée via un échangeur passif vertical ;
- Récupération via une pompe à chaleur.

5.3.3.1 SYSTÈMES PASSIFS

Les systèmes « passifs » de récupération de chaleur des eaux grises sont constitués d'un « échangeur » assurant le transfert des calories des eaux grises vers l'eau froide sanitaire. Ces systèmes ne nécessitent aucun auxiliaire électrique. **La récupération d'énergie est possible lorsqu'il y a consommation et évacuation d'eau chaude simultanément.**

Parmi les systèmes passifs, nous distinguons : les systèmes individuels verticaux, les systèmes collectifs (ou centralisés) verticaux et les systèmes individuels horizontaux.

Ils trouvent leur application dans tout type de bâtiment ayant une consommation importante d'eau chaude sanitaire au niveau des douches : les gymnases, centres aquatiques, hôtels ou encore établissements de santé par exemple.

COMMENT FAIRE



Les systèmes passifs peuvent également être utilisés dans les cuisines professionnelles. Toutefois, ce choix n'est pas technico-économiquement satisfaisant : le volume d'eau traité est peu important par rapport à l'investissement nécessaire concernant le récupérateur. Celui-ci doit être spécifiquement adapté à la récupération des effluents gras issus des cuisines.

Les systèmes génèrent des pertes de charge plus ou moins importantes selon le produit et le débit d'eau circulant dans l'échangeur. Cette perte de charge doit être intégrée pour le calcul de la pression disponible aux différents points de puisage.

En termes de dimensionnement, la valeur minimale à avoir au point de puisage est de 1 bar (selon NF DTU 60.11).

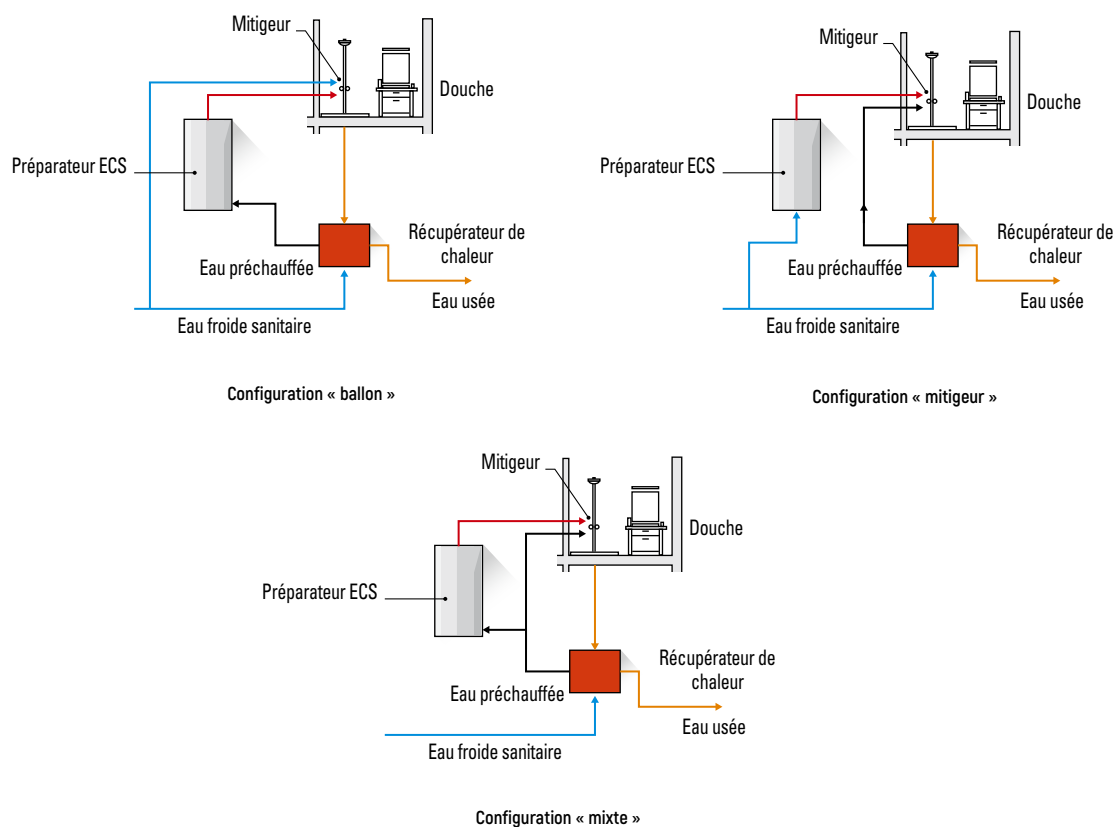
Les débits à considérer pour un usage de confort dépendent de la pomme de douche et de la robinetterie. Pour les douches en collectivités équipées de robinetterie à fermeture temporisée ou électronique, les débits peuvent varier entre 6 et 9 l/min. En dessous, le risque d'inconfort est grand.

Les performances de ces produits dépendent principalement, pour une gamme donnée, du débit d'eau grise s'écoulant dans l'échangeur, de leur niveau de température et de la configuration de branchement choisie : montage « ballon », montage « mitigeur » ou montage « mixte » (ballon et mitigeur). Généralement, les industriels proposent plusieurs gammes se distinguant entre elles par la longueur de l'échangeur vertical et ainsi son efficacité.

L'efficacité nominale mesurée des récupérateurs instantanés de chaleur sur les eaux grises et indiquée par les industriels correspond au ratio entre la puissance récupérée sur l'eau froide et celle évacuée au niveau de l'échangeur de chaleur. Cette efficacité est mesurée selon le protocole d'essai RECADO du CSTB pour les trois configurations de raccordement possibles décrites ci-après :

- Configuration « ballon » : l'eau préchauffée est renvoyée au ballon d'eau chaude ;
- Configuration « mitigeur » : l'eau préchauffée est renvoyée au côté froid du mitigeur thermostatique de la douche ;
- Configuration « mixte » : l'eau préchauffée est renvoyée au ballon et au côté froid du mitigeur thermostatique de la douche.

Figure 22 : Différentes configurations de raccordement d'un système passif de récupération de chaleur sur les eaux grises



Pour un même produit, son efficacité varie selon la configuration de raccordement. Parmi les trois configurations possibles, l'efficacité est supérieure pour la configuration « mixte ».

L'efficacité du système en configuration « ballon » peut être un peu supérieure à la configuration « mitigeur ».

COMMENT FAIRE



Cette efficacité nominale dépend de conditions d'essai précises concernant les débits d'eau, les températures, la conception de l'échangeur.

Sur une installation réelle, le pourcentage d'énergie récupérée par rapport à l'énergie soutirée est généralement plus faible car il dépend de conditions d'utilisation et d'installation (pertes de charge, débit et température d'eau variables...).

RISQUES SANITAIRES ET LÉGIONELLES



Les températures de consigne de production d'ECS ne doivent pas être inférieures à 55-60°C pour les ballons d'ECS, vis-à-vis du risque lié aux légionelles. Une consigne de 60°C est recommandée pour les productions collectives d'ECS.

Le réseau bouclé d'ECS doit être maintenu, en tout point, à une température supérieure à 50°C pour limiter également ce risque lié aux légionelles (arrêté du 30 novembre 2025 modifiant l'arrêté du 23 juin 1978 relatif aux installations fixes destinées au chauffage et à l'alimentation en eau chaude sanitaire des bâtiments d'habitation, des locaux de travail ou des locaux recevant du public).

Vis-à-vis du risque de brûlures par l'ECS, il est imposé de ne pas dépasser une température de 50°C dans les pièces destinées à la toilette (arrêté du 30 novembre 2025). L'installation de limiteurs de température au plus près possible des points de puisage ou des mitigeurs thermostatiques aux points de soutirage avec une butée à 50°C maximum est préconisée pour respecter cette exigence. Dans le cas d'un récupérateur utilisé pour préchauffer l'eau froide à l'entrée du poste de douche, un mitigeur thermostatique doit impérativement être installé sur ce poste compte tenu des variations de température engendrées par ce système.

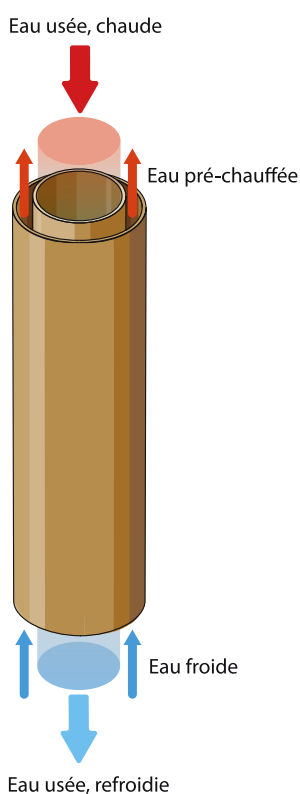
Le système le plus répandu est le **tube individuel vertical composé d'une double paroi** séparant les eaux grises et l'eau froide de ville. Les eaux grises chaudes s'écoulent dans le tube central et vont transférer les calories à l'eau froide circulant autour du tube.

Dans tous les cas, cet échange se fait à contre-courant pour optimiser le transfert de calories.

Ce système, simple de mise en œuvre, peut afficher une efficacité variant entre 35 % et 65 % selon les modèles, la longueur du tube, le débit d'eau ou encore la configuration de montage.

Le coût d'un tube vertical à double paroi est de l'ordre de 1000 € TTC (fourni-posé).

Figure 23 : Schéma de principe d'un système individuel passif vertical de récupération de chaleur sur les eaux grises



La récupération de chaleur sur les eaux grises peut également se faire via un **réseau vertical collecteur** permettant une récupération centralisée en pied de bâtiment. Ce système permet de récupérer de grands volumes d'eaux grises mais à des températures moins élevées qu'au point de puisage. Le récupérateur centralisé est constitué d'échangeurs individuels verticaux de même constitution qu'un récupérateur individuel.

Ces systèmes disposent d'un répartiteur en partie supérieure afin de répartir de façon homogène le débit d'eaux grises dans tous les tubes. Compte tenu des impuretés dans les eaux grises, la répartition parfaite des débits entre tous les tubes verticaux peut être complexe. Pour favoriser les opérations de maintenance qui doivent être au moins annuelles, il est nécessaire de prévoir un système de bypass sur le circuit eaux grises.

La mise en œuvre des échangeurs verticaux impose une parfaite verticalité du produit afin de garantir leur efficacité.

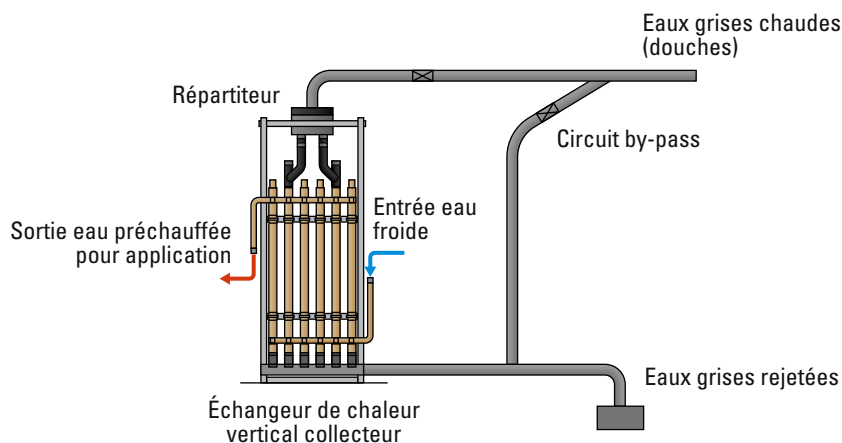
Le calorifugeage des chutes n'est pas obligatoire ; certaines chutes sont placées dans des gaines techniques calorifugées principalement pour des raisons acoustiques. En revanche, tout collecteur horizontal doit être calorifugé classe 2 minimum.

Par le caractère non traditionnel de la technique, certains systèmes collectifs verticaux font l'objet d'un avis technique. Le dimensionnement, la mise en œuvre ou encore la maintenance doivent être effectués conformément à l'avis technique du produit. Par exemple, la durée de vie estimée sur ces produits, en l'absence de toute pièce mécanique, est d'au moins 15 ans.

Un avis technique (Atec ou un document technique d'application - DTA) a toujours une période de validité, généralement de 2 à 7 ans.

Les systèmes collectifs verticaux sont dédiés aux installations collectives : douches gymnase, piscine et sont raccordés au générateur d'eau chaude sanitaire. Pour une configuration « ballon », l'efficacité de ce système collectif varie entre 40 % et 51 % selon la longueur des tubes. Ces systèmes collectifs peuvent avoir un coût jusqu'à 10-15 fois supérieur à un tube individuel.

Figure 24 : Schéma de principe d'un système collectif passif vertical de récupération de chaleur sur les eaux grises



Un retour d'expérience sur une piscine collective a montré, pour une configuration donnée, que la récupération d'énergie sur les eaux grises des douches via un système collecteur vertical a permis de récupérer 14 % de l'énergie totale nécessaire pour assurer les besoins en ECS (température de consigne de 55 °C avec une température d'eau froide de 14 °C). L'eau froide, initialement à 14 °C a ainsi pu être préchauffée à une température maximale de 22,6 °C (gain de + 8,5 °C).

Une campagne de mesure sur plusieurs années a été menée dans des résidences étudiantes de 110 logements aux Pays-Bas (<https://knowledge.recoup.co.uk/award-winning-student-accommodation-development-reduces-dhw-costs-by-40>). Une résidence est équipée de tubes individuels verticaux et de réceptacles de douches horizontaux permettant de récupérer les calories des douches. Les résultats montrent une efficacité de 58 % concernant les tubes individuels verticaux. Quant aux besoins énergétiques totaux pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire, ils ont été réduits de plus de 40 %.

Les **récupérateurs horizontaux** sont à placer directement sous les douches. L'écoulement des eaux se fait à l'horizontal ce qui réduit la surface d'échange. L'échange peut se faire via deux tuyaux de cuivre pressés indépendamment l'un de l'autre. Ces systèmes sont généralement moins efficaces que les tubes verticaux individuels et ont un coût environ 40 % plus cher. Leur efficacité, variable selon les produits, est de l'ordre de 30 % à 40 %.

Un récupérateur horizontal est plus sensible au phénomène d'encrassement en raison de sa position horizontale et de sections plus faibles. Ceci implique une maintenance régulière fréquente : un entretien de l'échangeur peut être préconisé tous les 2 mois. Ces systèmes se caractérisent généralement par une simplicité d'installation. Compte tenu des caractéristiques, ces récupérateurs ont plutôt une application résidentielle mais sont également proposés pour des applications en résidence étudiante, établissements de santé...

Certains récupérateurs horizontaux disposent d'un échangeur à plaques pour transférer les calories entre les eaux grises et l'eau froide. Cette technologie est intéressante en raison de la bonne efficacité d'un échangeur à plaques. L'efficacité d'un tel système peut atteindre environ 50 %. Également, moyennant une classe d'inox spécifique, l'échangeur de chaleur peut être utilisé pour des applications spécifiques comme la récupération de chaleur sur les eaux de bassins.

En revanche, un échangeur à plaques est sensible à l'encrassement qui est déjà un point important dans la récupération des eaux grises avec un récupérateur horizontal.

La maintenance de ces systèmes est primordiale pour garantir leur efficacité dans le temps. Les impuretés contenues dans les eaux grises contribuent à l'encrassement de l'échangeur, à la formation de biofilm. Cet encrassement a pour conséquence d'augmenter l'épaisseur de la paroi d'échange entre les deux fluides et donc augmenter la résistance thermique et réduire l'efficacité du système.

Une alternative à l'entretien manuel est un nettoyage automatique tel que développé sur certains récupérateurs horizontaux. Les opérations de nettoyage automatique des systèmes sont particulièrement efficaces mais nécessitent un stockage d'eau et une consommation électrique supplémentaires.

5.3.3.2 SYSTÈMES ACTIFS

Les systèmes actifs se composent d'une pompe à chaleur utilisant les eaux grises comme source froide et permettant d'assurer la production d'eau chaude sanitaire à une température supérieure à 55 °C.

Ils sont composés de plusieurs éléments dont l'encombrement est conséquent :

- La pompe à chaleur eau/eau de quelques dizaines de kW ;
- Une cuve de récupération des eaux usées (eaux préalablement décantées) ;
- Un ballon isolé de stockage d'eaux grises (en amont de la PAC) ;
- Un ballon isolé de stockage de l'eau chauffée par la PAC.

Ces systèmes peuvent être éligibles au Fond Chaleur ADEME.

Ils sont destinés aux bâtiments avec d'importants besoins en ECS. Une consommation d'au moins 1500 litres/jour doit être effective. Cela peut concerner des hôtels, grandes cuisines, centres sportifs et nautiques...

Ces systèmes peuvent également avoir une application pour la récupération des calories sur les eaux de bassins. Dans ce cas-là, les échangeurs de chaleur sont en INOX 316L (au lieu de INOX 304 en général) afin de résister aux eaux chlorées.

Un système actif est installé en pied de bâtiment afin de récupérer la totalité des eaux grises du bâtiment.

Les applications de ces systèmes sont principalement dédiées au neuf. Toutefois, ces systèmes peuvent s'intégrer dans des projets de rénovation dès lors que certains aspects sont validés lors de l'étude de faisabilité : par exemple, l'emprise au sol du système impose des surfaces et hauteurs minimales en local technique (supérieure à 10 m² avec une hauteur sous plafond supérieure à 2 m).

Également, la mise en place d'une pompe à chaleur dans un local impose des aménagements en termes de ventilation et de dispositifs divers de sécurité (selon NF EN 378).

Comme pour les systèmes passifs, la mise en œuvre de ces systèmes oblige à avoir une séparation des canalisations entre les eaux grises et les eaux vannes. La collecte des eaux usées se fait idéalement par voie gravitaire. En cas d'impossibilité, la mise en place de station de relevage au niveau du système est tout à fait possible bien que nécessitant des travaux et coûts supplémentaires.

En rénovation, une campagne de repérage des canalisations et collecteurs peut se révéler nécessaire.

COMMENT FAIRE

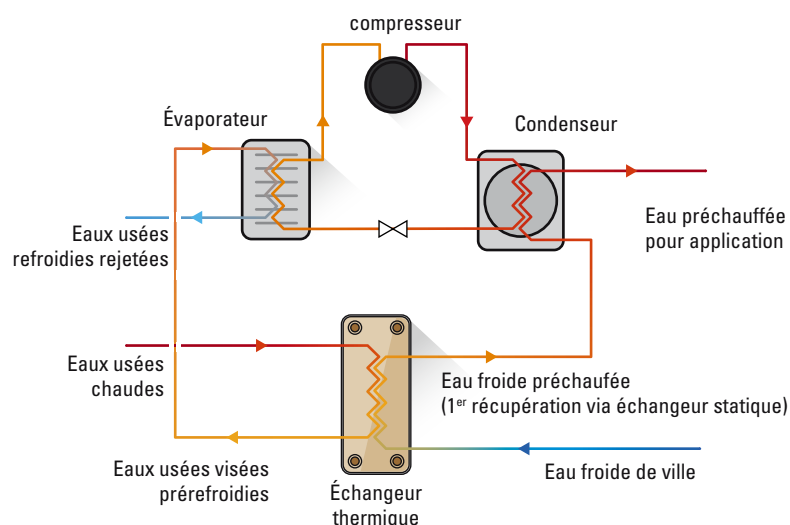


L'encombrement, les raccordements aux canalisations, les spécificités sécuritaires d'une pompe à chaleur peuvent favoriser l'utilisation de ces systèmes à des projets neufs (collectifs et tertiaires).

Toutefois, moyennant la validité de quelques critères techniques, ces systèmes peuvent également être pertinent lors de projets de réhabilitation.

Les systèmes actifs avec pompe à chaleur peuvent intégrer un échangeur thermique à plaques installé en amont de la PAC (côté condenseur) afin de préchauffer l'eau froide de ville avant son entrée côté condenseur de la PAC et de récupérer quelques calories au niveau des eaux usées avant son entrée côté évaporateur.

Figure 25 : Schéma de principe d'un système pompe à chaleur couplée à un échangeur thermique



5

4

PRODUCTION DE FROID

5.4.1 PRINCIPE

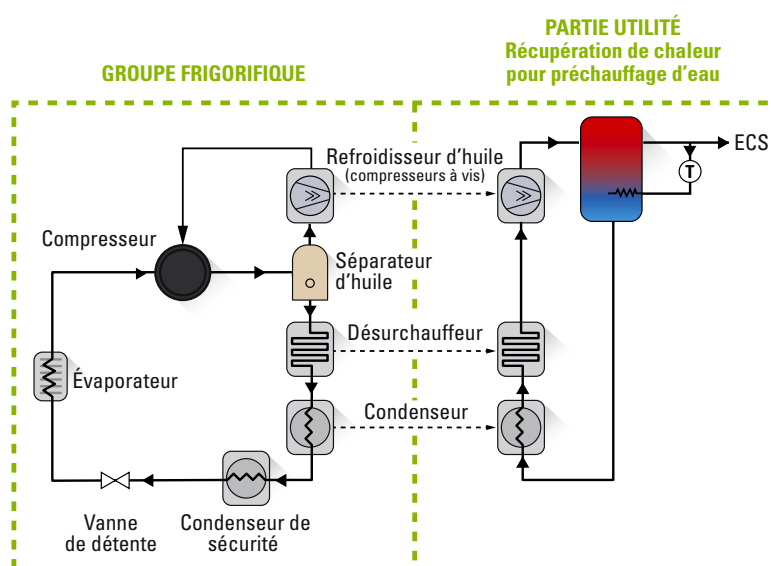
L'utilisation d'un système thermodynamique pour la réfrigération ou la climatisation d'un bâtiment va entraîner un rejet de chaleur vers l'extérieur. Cela peut concerner les bâtiments de restauration, de commerce mais également tout type de bâtiments avec un besoin de rafraîchissement. L'énergie récupérée au niveau du condenseur sera utilisée pour un préchauffage de fluide (air ou eau selon la nature du condenseur).

La récupération de chaleur sur le système thermodynamique peut théoriquement se faire à trois endroits :

- Au niveau d'un récupérateur de chaleur placé directement **en sortie du compresseur** : il s'agit de récupérer la chaleur de la désurchauffe du fluide frigorigène entre la sortie du compresseur et l'entrée du condenseur. C'est en sortie de compresseur que la température est la plus élevée mais la quantité d'énergie prélevée est peu conséquente (uniquement liée à une variation de température).
- **Au niveau du condenseur via un condenseur à air ou à eau** : c'est à ce niveau que la récupération de chaleur est la plus importante liée au changement d'état (vapeur – liquide) du fluide.
- Au niveau d'un récupérateur de chaleur placé sur la **tuyauterie d'huile frigorifique**. La récupération de chaleur sur l'huile implique que le système soit équipé d'un compresseur à vis et muni d'un séparateur d'huile. Cette récupération peut être effective pour des installations importantes de plusieurs centaines de kW et des applications gros tertiaire voire industrielles. Ce type de récupération sort du champ d'application de ce guide et ne sera pas développé davantage.

Certains systèmes de récupération peuvent être éligibles aux Certificats d'Economies d'Energie (CEE) permettant un financement de tout ou partie d'installation.

Figure 26 : Rappel des trois postes possibles de récupération de chaleur sur un groupe froid



5.4.2 SYNTHÈSE

Récupération sur la production de froid via un ...	Application principale	Exemple de catégorie de bâtiment	Mise en œuvre	Maintenance	Performances	Commentaires
Condenseur à air	Préchauffage air voire eau (chauffage)	Commerces (supermarchés)	Assez simple si préchauffage de l'air des locaux contigus	Maintenance liée au système thermodynamique (variable selon fluide frigorigène)	Information sur la puissance calorifique (pas d'engagement précis sur la température)	Installation simple Utilisation principale en hiver
Condenseur à eau	Préchauffage eau (ECS voire chauffage)	Commerces, hôtellerie, restauration	Prévoir tuyauteries et capacité de stockage	Maintenance liée au système thermodynamique (variable selon fluide frigorigène)	Information sur la puissance calorifique (pas d'engagement précis sur la température)	Avoir une température d'eau de retour au condenseur \leq à 35 °C environ Utilisation pour ECS si fonctionnement continu du groupe froid
Échangeur en sortie de compresseur (avant condenseur à air)	(Pré) chauffage ECS	Commerces, hôtellerie, restauration,	Prévoir échangeur supplémentaire avec tuyauterie, capacité de stockage.	Maintenance liée au système thermodynamique (variable selon fluide frigorigène) + maintenance échangeur supplémentaire	Information sur la puissance calorifique (pas d'engagement précis sur la température)	Avoir des besoins en ECS importants Échangeur supplémentaire à dimensionner

Tableau 18 : Caractéristiques de différentes solutions de récupération sur un groupe froid

A noter que la centrale frigorifique au CO₂ en application transcritique (avec un condenseur gaz cooler) est une solution largement utilisée en réfrigération commerciale. La température de refoulement au niveau du compresseur dépasse souvent 70 °C, permettant de récupérer de la chaleur à un niveau de température élevé, directement utilisable pour différents besoins : ECS, chauffage.

5.4.3 COMMENT VALORISER LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE SUR LES SYSTÈMES DE PRODUCTION DE FROID ?

5.4.3.1 GROUPE FROID AVEC CONDENSEUR À AIR

La solution la plus simple à mettre en œuvre est de récupérer la chaleur sur le condenseur à air pour chauffer directement un local à proximité via un réseau de gaines. Cette solution récupère et utilise directement la chaleur sans stockage pour un (pré) chauffage de locaux. Ceci implique un fonctionnement du groupe froid au moins pendant la période hivernale. En période estivale, la chaleur peut être déviée vers l'extérieur. Ce système peut être adapté dans les centres commerciaux.

Également, la chaleur récupérée sur le condenseur à air peut être valorisée sur un échangeur à eau pour assurer un préchauffage. Le recours à un échangeur supplémentaire va réduire la température récupérée sur l'eau.

5.4.3.2 GROUPE FROID AVEC CONDENSEUR À EAU

Une solution couramment utilisée est de récupérer l'énergie au niveau du condenseur à eau pour la transférer à une boucle d'eau et l'utiliser sur un système de chauffage ou de préparation d'eau chaude sanitaire. Ces récupérateurs sont utilisables partiellement ou de façon périodique comme le chauffage.

Pour un fonctionnement optimisé du groupe froid qui est l'objectif premier, la température d'eau en entrée du condenseur doit être constante à environ 30 °C maximum pour limiter la température de condensation. La température d'eau en sortie de condenseur assurera un préchauffage et nécessitera une source complémentaire pour une production d'eau chaude sanitaire.

5.4.3.3 GROUPE FROID AVEC ÉCHANGEUR À EAU EN SORTIE DE COMPRESSEUR ET AMONT DU CONDENSEUR À AIR

La récupération de chaleur sur les groupes froids peut comprendre la récupération de chaleur sensible en sortie de compresseur (désurchauffe) et la récupération de chaleur latente au niveau du condenseur.

Certains récupérateurs, les désurchauffeurs, vont exploiter uniquement la désurchauffe. En sortie de compresseur, le fluide frigorigène présente une température élevée (de l'ordre de 70-90 °C selon la nature du fluide) ce qui permet de récupérer la chaleur sensible avant son entrée dans le condenseur. Le potentiel de récupération de chaleur est peu important car lié à un abaissement de température. Cela représente environ 15 % de l'énergie récupérable.

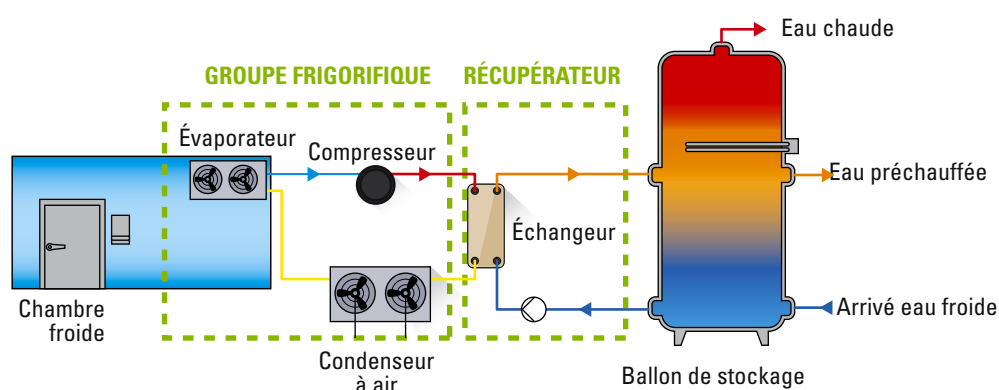
La mise en place d'un échangeur de chaleur entre le compresseur et le condenseur va permettre d'exploiter la désurchauffe et la condensation afin de récupérer tout ou partie de la chaleur totale rejetée. Cette solution est proposée par divers industriels.

Selon les options, l'échangeur va jouer le rôle de « désurchauffeur » en cas de récupération partielle de chaleur (environ 15 %) ou de condenseur en cas de récupération totale de la chaleur.

Ce rejet de chaleur peut être réutilisé comme source d'énergie pour le préchauffage de l'eau chaude sanitaire. Pour ce faire, les besoins en eau chaude sanitaire doivent être importants. Les secteurs alimentaires et de restauration sont parfaitement adaptés pour la mise en place de ce système de récupération.

La simultanéité des besoins chaud et froid est peu évidente ; il est important de prévoir un stockage permettant de différer la production de froid et la consommation de chaud.

Figure 27 : Schéma de principe du récupérateur de chaleur sur groupe froid avec ajout d'un échangeur de chaleur en sortie de compresseur



5

5

ASCENSEURS

5.5.1 PRINCIPE

Les ascenseurs électriques à traction sont les plus couramment utilisés comme « ascenseur de personnes ». Ce type de cabine fonctionne par l'intermédiaire d'un système de poulie et un contrepoids pour déplacer l'installation de haut en bas.

La consommation énergétique d'un ascenseur dépend de plusieurs facteurs :

- **Charge et capacité** : La charge de l'ascenseur (nombre de passagers et poids transporté) affecte la consommation d'énergie. Les ascenseurs surchargés consomment plus d'énergie pour effectuer un déplacement donné. (Pour une charge moyenne de 500 kg, la consommation énergétique peut être estimée à environ 0,6 kWh/trajet).
- **Distance de déplacement** : Plus la distance de déplacement est grande, plus la consommation d'énergie augmente, principalement due à l'énergie requise pour surmonter la gravité et la résistance au roulement. Pour un ascenseur qui monte sur 10 étages – 30 m – la consommation peut être estimée à 2-3 kWh/trajet.
- **Fréquence d'utilisation** : Les ascenseurs très sollicités dans les grands bâtiments consomment plus d'énergie que ceux avec une utilisation moins fréquente (un ascenseur consomme environ 0,5 à 1 kWh/trajet).

Dans un système d'entraînement d'ascenseur standard, l'énergie produite principalement dans les phases de freinage est dissipée sous forme de chaleur et est perdue.

Dans un objectif de récupération d'énergie gratuite, de nouveaux systèmes d'entraînement de l'ascenseur dotés d'une « technologie de régénération énergétique » se sont développés.

Le système d'entraînement régénératif permet de récupérer et convertir cette énergie en énergie électrique et de la mettre à disposition de divers équipements : ascenseurs, éclairage par exemple.

Concrètement, l'énergie de l'ascenseur est renvoyée dans le réseau électrique de l'immeuble dans plusieurs situations :

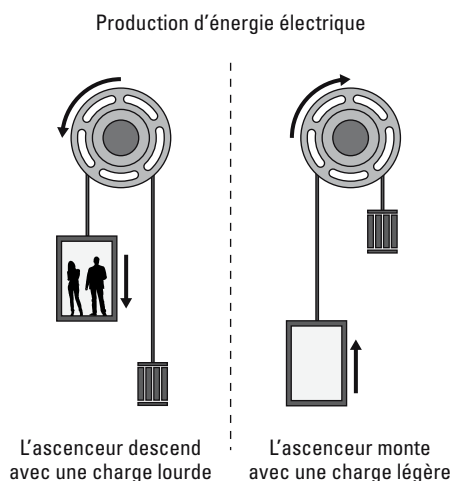
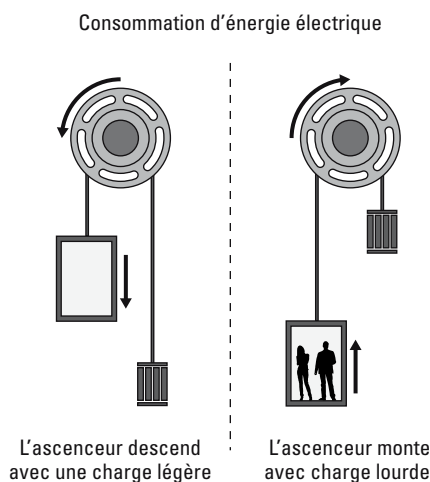
- lors de la phase de freinage ;
- lors de la phase de déplacement.

Cette récupération a un intérêt dans les bâtiments de grande hauteur, résidentiel ou tertiaire.

5.5.2 COMMENT VALORISER LA RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE SUR LES ASCENSEURS ?

En présence d'un système d'entraînement régénératif, les phase de récupération d'énergie se font lorsque :

- L'ascenseur ralentit : l'énergie normalement dissipée sous forme de chaleur est captée par l'entraînement régénératif.
- L'ascenseur vide ou légèrement chargé monte : le moteur tourne mais le contrepoids effectue la majeure partie du travail. L'énergie de rotation est captée et transformée en énergie électrique.
- L'ascenseur chargé descend : l'énergie créée par le freinage et la gravité est récupérée et transformée en énergie électrique.

Figure 28 : Phases de production d'énergie électrique sur un ascenseur**Figure 29 : Phases de consommation d'énergie électrique sur un ascenseur**

Les économies d'énergie possibles grâce à cette technologie peuvent varier en fonction de plusieurs facteurs, notamment :

- Fréquence d'utilisation de l'ascenseur : Plus l'ascenseur est utilisé, plus le potentiel de récupération d'énergie est élevé.
- Poids transporté : Les ascenseurs qui transportent des charges lourdes en descendant peuvent générer plus d'énergie récupérable.
- La durée du trajet.
- L'âge de l'équipement.

Les moteurs modernes (AC ou DC), sont souvent équipés de systèmes VVVF (Entraînements à Variation de Fréquence [VVVF]) pour améliorer l'efficacité énergétique et offrir un contrôle précis de la vitesse et du couple.

Les moteurs AC, et en particulier les moteurs synchrones à Aimants Permanents sont couramment utilisés avec des systèmes de régénération pour capturer l'énergie lors du freinage et la réinjecter dans le réseau électrique.

L'énergie électrique générée est conditionnée pour correspondre aux exigences du réseau électrique du bâtiment. Cela inclut la transformation de la tension et de la fréquence si nécessaire, et la réduction des harmoniques pour éviter les perturbations du réseau (filtre de réseau).

L'énergie électrique conditionnée est réinjectée dans le réseau électrique du bâtiment. Cette énergie peut être utilisée par d'autres équipements électriques, réduisant ainsi la consommation globale d'énergie du bâtiment.

L'énergie générée est d'autant plus importante que les distances parcourues sont longues et le nombre de trajets est élevé.

A titre indicatif, une notice fabricant indique un gain énergétique supérieur à 50% lié au système d'entraînement régénératif pour un bâtiment de 20 étages (course de 60 m) avec une charge de 1275 kg (16 personnes) effectuant 300 000 trajets/ans à une vitesse de 1,6 m/s.

Une étude a été menée en 2013 sur les ascenseurs des bureaux du gouvernement central de Tamar (Hong Kong) équipés de système de régénération d'énergie.

L'étude a porté sur la performance énergétique des ascenseurs pour une capacité nominale de 1600 kg et des vitesses de 6 m/s, 5 m/s, 3,5 m/s, 3 m/s et 2,5 m/s. Il a été confirmé que la capacité de l'ascenseur, sa vitesse de déplacement et la distance parcourue influent sur la quantité d'énergie économisée grâce à la régénération.

Ainsi, la régénération a permis d'économiser entre 20 % et 30 % d'énergie.



POUR ALLER PLUS LOIN DANS LA RÉCUPÉRATION DE CHALEUR

5.6.1 PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE

Un panneau photovoltaïque standard convertit environ 20 % de la lumière en électricité et 80 % en chaleur. Avec un panneau standard, cette chaleur est perdue. De plus, elle entraîne une surchauffe au niveau du panneau qui est à l'origine d'une dégradation de son rendement. En effet, au-dessus d'une température de surface de 25 °C, le panneau photovoltaïque perd 0,5 % de rendement par degré supplémentaire.

Le développement de panneau hybride (ou panneau photovoltaïque/thermique, dit panneau PV/T) permet de produire de l'électricité sur sa face supérieure et de récupérer et valoriser la chaleur sur sa face inférieure.

La valorisation des apports solaires via la mise en place de capteurs sur les toitures ou les ombrières de parking peut concerner tout type de bâtiment tertiaire : bâtiments de bureaux, bâtiments sportifs, bâtiments culturels...

Outre l'intérêt d'assurer plusieurs fonctions (production électrique et production thermique), le panneau hybride permet un gain de production électrique de quelques % par rapport à un panneau photovoltaïque standard.

5.6.1.1 COMMENT VALORISER L'ÉNERGIE SUR LE PHOTOVOLTAÏQUE ?

Deux types de panneaux hybrides (photovoltaïque/thermique) existent et permettent de récupérer de la chaleur pour un préchauffage de l'air ou de l'eau :

- Le panneau hybride à eau ;
- Le panneau hybride à air (panneau aérovoltaique).

Les panneaux hybrides à air connaissent plutôt une utilisation en résidentiel voire pour les bâtiments de stockage, industriels avec le préchauffage de l'air neuf.

Le capteur hybride à eau se compose de cellules photovoltaïques en face avant et d'un échangeur thermique en face arrière permettant la production d'énergie thermique pour le préchauffage de l'eau ainsi qu'une production d'électricité (en autoconsommation).

Cette solution peut également être associée à une pompe à chaleur « solaire » comme solution globale pour assurer le chauffage de l'eau sanitaire. Une application est également possible dans les centres aquatiques afin de chauffer l'eau des bassins. Pour cette

application, la performance du système est d'autant meilleure que le niveau de température à atteindre est plus faible (environ 30 °C en température de consigne) que pour une production d'eau chaude sanitaire.

La pompe à chaleur associée aux panneaux hybrides est une pompe à chaleur solaire spécifique dans la mesure où elle permet de récupérer le fluide côté évaporateur jusqu'à des températures de l'ordre de 70 °C.

Certains systèmes sont éligibles au Fond Chaleur ADEME.

5.6.1.2 QUELS SONT LES ÉLÉMENTS À CONSIDÉRER ?

Avant toute mise en œuvre d'un panneau PVT, plusieurs éléments sont à considérer pour valider ou non l'intérêt de tels capteurs.

En rénovation, la mise en place de capteurs PVT en toiture nécessite de vérifier :

- L'état de la toiture et sa robustesse : un renfort de toiture peut être nécessaire. Également, un complexe d'étanchéité doit être adapté à ce type de capteur PVT ;
- Les contraintes d'implantation par rapport aux obstacles environnants et aux potentielles zones d'ombre : les capteurs sont orientés au sud (voire à l'ouest ou à l'est) ;
- Une surface minimale de capteur de quelques dizaines de m² est requise.

La mise en œuvre en rénovation va présenter un coût environ 20 % supérieur au neuf lié notamment aux contraintes d'un site occupé (stockage...).

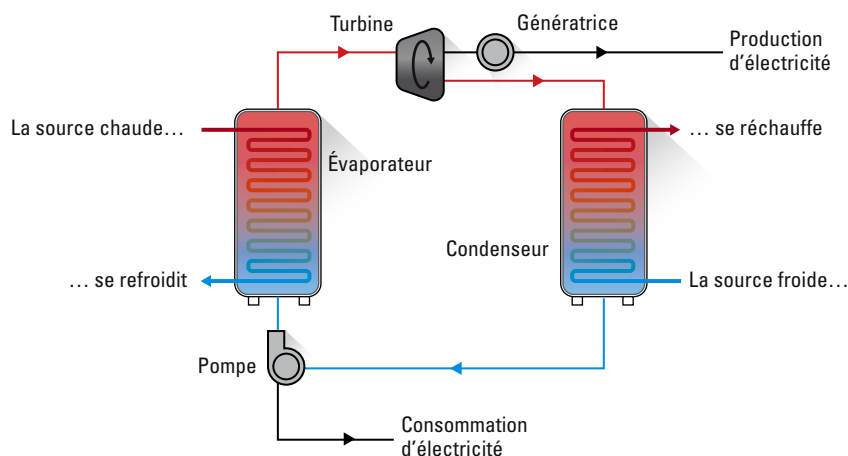
5.6.2 PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ À PARTIR DE REJETS THERMIQUES

Selon l'usage et le besoin du bâtiment, la chaleur récupérée sur les différents rejets thermiques (eau, air, fumées) peut être utilisée indirectement pour produire de l'électricité.

Parmi les technologies rencontrées pour la valorisation électrique de la chaleur fatale, notons les systèmes à cycle organique de Rankine (ORC) : un fluide organique se vaporise en récupérant de la chaleur à l'évaporateur. La turbine ORC, élément central du système, détend le fluide de travail en produisant de l'énergie mécanique qui est convertie en électricité via un générateur couplé à la turbine.

Cette technique est envisagée pour valoriser les flux thermiques dont la température est supérieure à 100 °C. Ces applications existent principalement dans le domaine de l'industrie.

Figure 30 : Principe de fonctionnement du cycle de Rankine pour la production d'électricité



Le coût des investissements au regard des gains attendus pour une autoconsommation de l'électricité dans le tertiaire en fait une solution pas forcément performante d'un point de vue économique.

CONSEILS



La valorisation électrique de la chaleur fatale serait une solution à étudier lorsque toute autre possibilité de valorisation par la chaleur ne peut être réalisée.

5.6.3 RÉCUPÉRATION DE LA CHALEUR DES DATA CENTERS

Le développement du numérique s'accompagne d'un nombre croissant de data centers. Si le refroidissement de ces structures est un enjeu énergétique important, il est également primordial de chercher à valoriser la chaleur rejetée par les serveurs. La valorisation de cette chaleur fatale peut être interne pour assurer les besoins du bâtiment ou externe pour répondre aux besoins d'autres bâtiments, collectivités... La valorisation externe se fait notamment par un réseau de chaleur. Pour être performante économiquement, la récupération et la valorisation externe de cette chaleur impliquent les considérations suivantes :

- La localisation géographique du data center, sa proximité avec des bâtiments consommateurs de chaleur et sa proximité avec un réseau de chaleur
- Le niveau de température récupéré et le niveau de température requis par les bâtiments
- Le besoin annuel de chaleur

En ce sens, l'exemple de la ZAC Val d'Europe est pertinent : la chaleur issue d'un data center permet de chauffer un centre aquatique, des entreprises, une chaufferie. La quantité d'énergie récupérée annuellement au niveau du data center peut atteindre 2,4 GWh : cette énergie a été utilisée en priorité pour alimenter le centre nautique dont la consommation annuelle peut atteindre environ 2 GWh.

La température de rejet issue du data center se situe plutôt vers 35-60°C [rejet « basse température »]. Selon les réseaux de chaleur, il peut être nécessaire de « relever » cette température en ajoutant une pompe à chaleur (haute température) entre le data center et le réseau urbain. Dans ces conditions, un coût financier supplémentaire est à considérer pour évaluer l'intérêt technico-économique de la solution.

6

MESURER ET VALORISER LES RÉSULTATS

Comme pour toute action d'amélioration de la performance énergétique (AAPE), chercher à qualifier la performance effective (tant énergétique qu'économique) obtenue grâce à la mise en œuvre d'une solution de récupération d'énergie présente plusieurs intérêts :

- S'assurer du bon fonctionnement de l'installation
- Justifier de la rentabilité économique des actions engagées
- Créer un retour d'expérience valorisable sur d'autres projets quant aux performances réelles de la solution utilisée
- Pouvoir inscrire le projet dans un cadre contractuel avec engagement de résultats (Contrat de Performance Énergétique notamment)
- Etc...

6 1

EVALUER LES ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Mesurer les économies réelles apportées par un projet d'efficacité énergétique relève du domaine de la « Mesure et Vérification » (M&V).

Le cadre méthodologique de référence en la matière est constitué par l'IPMVP (International Performance Measurement and Verification Protocol).

Le principe général de ces approches est de coupler la réalisation de mesures (mesures des consommations d'énergie et mesures des facteurs d'influence de ces consommations) et l'utilisation de modèles (statistiques ou physiques) afin de pouvoir comparer, à conditions de fonctionnement équivalentes, ce qu'aurait été la consommation énergétique du bâtiment ou du process si l'action d'amélioration n'avait pas été mise en œuvre à ce qu'elle a été en réalité grâce à cette solution d'amélioration.

D'une manière générale et dans le cadre de la mise en œuvre de solutions de récupération d'énergie en particulier, l'évaluation des économies d'énergie réelles par l'application d'un processus de M&V nécessite en premier lieu de définir le périmètre de cette évaluation :

- Soit parce que l'économie d'énergie apportée par la solution de récupération est suffisamment significative à l'échelle de la consommation d'énergie du site, soit parce que la solution de récupération d'énergie fait partie d'un ensemble d'actions d'amélioration et que cet ensemble d'améliorations génère une économie d'énergie suffisamment significative à l'échelle de la consommation d'énergie du site, alors le périmètre de l'étude sera celui du site en entier. Dans cette approche, les données issues des compteurs de facturation pourront, le plus souvent, être utilisées.

- En dehors de ces situations, le périmètre de l'étude sera centré uniquement sur la solution de récupération d'énergie mise en œuvre (« périmètre isolé »). Dans ce cas de figure, le projet nécessitera la mise en œuvre de sous-comptages et d'équipements de mesure permettant de suivre spécifiquement les consommations d'énergie impactées par la solution de récupération.

D'un point de vue organisationnel, il est important de noter que vouloir mesurer correctement les économies d'énergie d'un projet (c'est-à-dire avoir recours à un processus de M&V) nécessite de prendre des dispositions bien en amont de la phase de travaux. En effet, **le principe fondamental de la M&V est de comparer les consommations avant et après améliorations pour des conditions identiques**, autrement dit pour une même valeur des paramètres d'influence des consommations. Cela implique de mesurer ou documenter, pour une période dite de « référence », non seulement le niveau des consommations énergétiques mais également celui de ces paramètres d'influence.

NOTE



Les propos précédents sont centrés sur la mesure d'une consommation d'énergie avant et après la mise en œuvre de la solution de récupération d'énergie et non pas sur la mesure de la quantité d'énergie récupérée elle-même.

Mesurer la quantité d'énergie récupérée peut avoir un intérêt, notamment pour qualifier et suivre dans le temps le bon fonctionnement et les performances du procédé. Cependant, il peut exister un écart entre l'énergie récupérée et l'économie d'énergie obtenue finalement ou, autrement dit, un écart entre la quantité d'énergie récupérable, la quantité brute d'énergie récupérée et la quantité utile (ou effectivement valorisée) d'énergie récupérée.

6

2

VALORISER DANS UN CADRE CONTRACTUEL OU UN PROCESSUS DE CERTIFICATION

Vouloir mesurer correctement les économies d'énergie d'un projet est un objectif suffisant pour décider d'avoir recours à un processus de M&V.

Mais cette approche peut également être valorisée dans des contextes ou des cadres contractuels spécifiques. La M&V constitue alors le socle technique et méthodologique du projet.

L'application d'un processus de M&V est particulièrement recommandée dans le cadre d'un Contrat de Performance Énergétique (CPE) ou encore pour la mise en œuvre d'une démarche ISO 50 0001.

Le Plan de Mesure et Vérification (PMV) permet la formalisation de tous les aspects du projet de M&V (périmètre du projet, données de référence, modèle d'ajustement, ...). Si le projet s'inscrit dans le cadre d'un CPE ou d'une certification ISO 50 001, le PMV constituera l'annexe technique du contrat ou du dossier.

6

3

EVALUER LA RENTABILITE ECONOMIQUE

De la même manière, disposer d'une évaluation correcte de l'économie d'énergie générée par le projet permet de mener une évaluation correcte de sa rentabilité économique.

Cette évaluation de la rentabilité basée sur un processus de M&V, et donc sur l'évolution dans le temps des consommations d'énergie, peut être considérée comme une évaluation « a posteriori » ou « en phase d'exploitation ».

Dans une phase d'étude de faisabilité ou de conception, le concept de « coût actualisé de l'énergie » (ou, en anglais, LCOE pour « Levelized Cost Of Energy ») peut être une approche pertinente pour comparer différentes technologies de récupération d'énergie ou pour les comparer à d'autres filières de production et/ou de valorisation d'énergies renouvelables. Cet indicateur, qui s'exprime en €/kWh, consiste à diviser la somme des coûts (coûts d'investissement et coûts de fonctionnement) considérés sur une période donnée (par exemple 15 ans) par la somme des quantités d'énergie produite (ici récupérée) sur le même horizon temporel, les deux quantités faisant l'objet d'une correction par un facteur d'actualisation.

Pour une solution de récupération d'énergie, le calcul du LCOE intégrera donc :

- Les éléments de CAPEX (c'est-à-dire de coût d'investissement) qui comprendront : l'équipement de récupération d'énergie lui-même, les travaux de mise en œuvre et de raccordement, les éventuels points de comptage, raccordement à la GTB et les prestations liées au processus de M&V
- Les éléments d'OPEX (c'est-à-dire de coûts d'exploitation) intégrant principalement les coûts de maintenance de la solution
- Les consommations d'énergie évitées et la traduction financière de ces consommations.



ANNEXES



ANNEXE 1 : CERTIFICATS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE (CEE)

7.1.1 ANNEXE 1 : CERTIFICATS ÉCONOMIES D'ÉNERGIE

Selon l'Arrêté du 30 décembre 2024 modifiant l'arrêté du 22 décembre 2014 définissant les opérations standardisées d'économies d'énergie et l'arrêté du 29 décembre 2014 relatif aux modalités d'application du dispositif des certificats d'économies d'énergie".

<https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/operations-standardisees-deconomies-denergie>

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR L'AIR EXTRAIT

Fiche CEE – Opération N° BAT-TH-125 : Ventilation mécanique simple flux à débit d'air constant ou modulé

Secteur application : tertiaire existant

Exemple de conditions à remplir : le caisson de ventilation a une puissance électrique absorbée $\leq 0,3 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ au débit nominal

Durée de vie conventionnelle : 17 ans

Fiche CEE – Opération N° BAT-TH-126 : Ventilation mécanique double flux avec échangeur à débit d'air constant ou modulé

Secteur application : tertiaire existant

Exemple de conditions à remplir : efficacité de récupération de l'échangeur $\geq 75 \%$ (efficacité mesurée selon la norme NF EN 13053 ou la NF EN 308). Echangeur de chaleur à plaques air-air ou échangeur régénératif certifiés Eurovent Certified Performance peuvent satisfaire à cette exigence.

Durée de vie conventionnelle : 17 ans

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR LES EAUX GRISES

Fiche CEE – Opération N° BAT-TH-154 : Récupération instantanée de chaleur sur eaux grises

Secteur application : bâtiment tertiaire existant à usage suivant : hôtellerie, établissement sportif, santé, terrain de camping équipé de blocs sanitaires collectifs, salon de coiffure, piscine recevant du public.

Dénomination : mise en place d'un récupérateur instantanée de la chaleur sur les eaux grises pour la production d'eau chaude sanitaire ou le préchauffage des eaux de bassin de piscine.

Exemple de conditions à remplir pour la **récupération instantanée de chaleur sur eaux grises pour la production d'eau chaude sanitaire** : taux d'efficacité nominal du système de récupération de chaleur doit être \geq à 35 % (mesuré sur base du référentiel RECADO).

Exemple de conditions à remplir pour la **récupération instantanée de chaleur sur eaux grises pour le préchauffage des eaux de bassin de piscine** : taux d'efficacité nominal du système de récupération de chaleur doit être \geq à 35 % (dans des conditions précises de température et débit d'eau).

Durée de vie conventionnelle : 15 ans

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR SUR UN GROUPE DE PRODUCTION DE FROID

Fiche CEE – Opération N° BAT-TH-139 : Système de récupération de chaleur sur un groupe de production de froid

Secteur application : bâtiment tertiaire existant

Dénomination : mise en place d'un système de récupération de chaleur sur un groupe de production de froid afin de chauffer ou préchauffer un fluide caloporteur (l'eau), sur site, pour le chauffage du bâtiment, la production d'eau chaude sanitaire ou un besoin en procédé.

Est exclu de l'opération tout système de récupération de chaleur sur un groupe de production de froid afin de chauffer ou préchauffer de l'air.

La mise en place d'un système de récupération de chaleur sur un groupe de production de froid de secours ou sur une pompe à chaleur n'est pas éligible à cette opération.

Exemples de conditions à remplir : cette fiche s'applique au groupe de production de froid par compression mécanique utilisant un fluide frigorigène, circulant en circuit fermé, dont la température d'évaporation est inférieure ou égale à 18 °C.

La mise en place du système de récupération de chaleur fait l'objet d'une étude préalable de dimensionnement établie, datée et signée par un professionnel ou un bureau d'étude.

Durée de vie conventionnelle : 14 ans

TABLE DES MATIÈRES

○	RÉSUMÉ EXÉCUTIF	4
1	INTRODUCTION	5
	1.1 Les secteurs d'activités et le potentiel de récupération d'énergie	5
	1.2 Notions traitées dans ce guide	9
2	CONTEXTE	11
	2.1 Règlementaire	11
	2.2 Environnemental et financier	13
	2.3 Environnemental et climatique	14
3	BIEN AUDITER POUR ÉTUDIER LA FAISABILITÉ D'UNE RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE	15
	3.1 Quelques éléments à définir en complément des systèmes de récupération	15
	3.2 Etude de faisabilité pour la récupération sur l'air extrait	16
	3.2.1 Absence d'un système de ventilation	18
	3.2.2 Présence d'un système de ventilation	18
	3.2.3 Synthèse des solutions envisageables	19
	3.3 Etude de faisabilité pour la récupération sur les fumées	20
	3.3.1 Fumées de cuisson	20
	3.3.2 Fumées de combustion	21
	3.3.3 Synthèse des solutions envisageables	21
	3.4 Etude de faisabilité pour la récupération sur les eaux grises	22
	3.4.1 Récupération directe sous l'émetteur	23
	3.4.2 Récupération en pied de bâtiment	23
	3.4.3 Synthèse des solutions envisageables	24
	3.5 Etude de faisabilité pour la récupération sur un groupe froid	24
	3.5.1 système de production de froid utilisé pour des besoins ponctuels	25
	3.5.2 système de production de froid utilise pour des besoins continus	25
	3.5.3 Synthèse des solutions envisageables	26
	3.6 Etude de faisabilité pour la récupération d'énergie sur les ascenseurs :	26
	3.6.1 Présence d'un ascenseur	27
4	SYNTHÈSE	28
	4.1 Critères de comparaison	28
	4.1.1 Gisement	28
	4.1.2 Mise en œuvre	28
	4.1.3 Rentabilité	28
	4.1.4 Maintenance	28
	4.1.5 Durée de vie	29

TABLe DES MATIÈRES

4.2 Comparatif des différentes techniques de récupération d'énergie	29
4.3 Comparatif par champ d'application	30

5 APPLICATIONS	31
5.1 Air extrait	31
5.1.1 Principe	31
5.1.2 Synthèse	32
5.1.3 Comment valoriser la récupération d'énergie sur l'air extrait ?	33
5.2 Fumées	38
5.2.1 Principe	38
5.2.2 Synthèse	39
5.2.3 Comment valoriser la récupération d'énergie sur les fumées de cuisson ?	39
5.2.4 Comment valoriser la récupération d'énergie sur les fumées de combustion ?	41
5.3 Eaux grises	43
5.3.1 Principe	43
5.3.2 Synthèse	44
5.3.3 Comment valoriser la récupération d'énergie sur les eaux grises ?	45
5.4 Production de froid	51
5.4.1 Principe	51
5.4.2 Synthèse	52
5.4.3 Comment valoriser la récupération d'énergie sur les systèmes de production de froid ?	52
5.5 Ascenseurs	54
5.5.1 Principe	54
5.5.2 Comment valoriser la récupération d'énergie sur les ascenseurs ?	54
5.6 Pour aller plus loin dans la récupération de chaleur	56
5.6.1 Production photovoltaïque	56
5.6.2 Production d'électricité à partir de rejets thermiques	57
5.6.3 Récupération de la chaleur des data centers	58

6 MESURER ET VALORISER LES RÉSULTATS	59
6.1 Evaluer les économies d'énergie	59
6.2 Valoriser dans un cadre contractuel ou un processus de certification	60
6.3 Evaluer la rentabilité économique	61

7 ANNEXES	62
7.1 Annexe 1 : Certificats d'économies d'énergie (CEE)	62
7.1.1 Annexe 1 : Certificats économies d'énergie	62

This image shows a full page of white paper with horizontal dashed lines, typical of primary-ruled notebook paper. The lines are evenly spaced and run across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

NOTES

This image shows a full page of a handwriting practice worksheet. It consists of multiple rows of horizontal dashed lines spaced evenly down the page, providing a guide for letter height and placement. The background is plain white, and there are no other markings or text present.

RÉSUMÉ

Ce guide technique synthétise et illustre différentes solutions identifiées pour récupérer et valoriser l'énergie dans les bâtiments tertiaires. Le guide s'adresse principalement à la maîtrise d'ouvrage et à la maîtrise d'œuvre pour les informer et les sensibiliser sur le choix et la pertinence de solutions de récupération d'énergie. Sont notamment traitées les solutions de récupération d'énergie sur l'air extrait, les fumées, les eaux usées ou encore la production de froid.

La faisabilité technique et économique de ces solutions de récupération est étudiée afin d'orienter le professionnel sur les solutions envisageables en accord avec les configurations existantes de son bâtiment.

Accéder gratuitement à l'ensemble des ressources et outils PROFEEL sur www.proreno.fr

