

Ventilation Information Paper n° 6

Juin 2004

© INIVE EEIG
Operating Agent
and Management
Boulevard Poincaré 79
B-1060 Brussels – Belgium
inive@bbri.be - www.inive.org

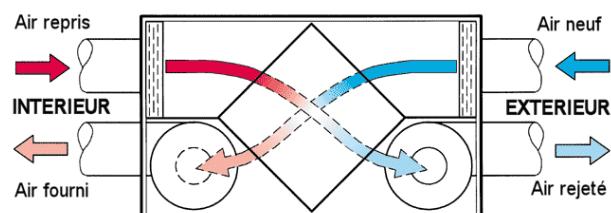
International Energy Agency
Energy Conservation in Buildings
and Community Systems Programme



Air Infiltration and Ventilation Centre

Échangeurs de chaleur air-air dans les systèmes de ventilation

Dr. Peter G. Schild
Norwegian Building Research Institute



chaleur et ses appareils auxiliaires (moteur, commandes, etc.), mais on utilise souvent ce terme pour désigner le CTA complet intégrant un échangeur de chaleur.

Dérivation : passage secondaire permettant au flux d'air de contourner l'échangeur de chaleur, et donc la récupération de chaleur (parfois utile en été).

Enthalpie totale : quantité de chaleur spécifique par kg d'air ; la somme de l'enthalpie sensible (dépendant de la température) et de la chaleur latente de son contenu en humidité.

1.3 Conditions d'utilisation

La récupération de chaleur peut servir dans les systèmes de ventilation double flux (à savoir à flux d'air fourni et repris motorisés). Le bâtiment doit être suffisamment étanche à l'air (les fuites d'air constituent des pertes thermiques supplémentaires car cet air ne passe pas par l'unité de récupération de chaleur). Pour les habitations, le taux d'infiltration ne devrait pas dépasser 10 à 20 % du débit de l'unité de récupération de chaleur.

1 Introduction

1.1 Notions de base

Une unité de récupération de chaleur transfère la chaleur (certains modèles également l'humidité) du flux d'air repris vers le flux d'air fourni, réduisant ainsi les pertes thermiques dues à la ventilation et les besoins de chauffer l'air froid aspiré. Inversement, quand l'air extérieur est chaud et humide, une unité de récupération de chaleur peut garder la chaleur (dans certains cas aussi l'humidité) à l'extérieur, réduisant ainsi les frais de climatisation.

1.2 Définitions générales

Caisson de traitement d'air (CTA) : appareil autonome comprenant des ventilateurs, des filtres, parfois des batteries de chauffage/réfrigération, de dés-/humidification etc. Les CTA sont généralement conçus pour assurer une ventilation équilibrée (à savoir fourniture et reprise) et ils peuvent comprendre un échangeur de chaleur pour la récupération de chaleur air-air.

Échangeur de chaleur : Composant inclus dans l'unité de récupération de chaleur qui transfère la chaleur entre deux fluides (ici l'air).

Unité de récupération de chaleur : Le composant ou module du caisson de traitement de air (CTA) qui comporte un échangeur de

1.4 Utilisation

La récupération de chaleur convient également pour les bâtiments quel que soit le système de chauffage. Correctement dimensionnées et entretenues, les unités de récupération de chaleur à haut rendement seront amorties en quelques années, grâce à une réduction des frais de ventilation et de chauffage. Le rendement augmente si le ventilateur d'extraction est situé avant l'échangeur de chaleur. Il faudrait pouvoir réduire l'efficacité de la récupération de chaleur en dehors de la période de chauffe, pour prévenir une température excessive à l'intérieur. Certains échangeurs de chaleur peuvent aussi récupérer l'humidité. Il peut être souhaitable de récupérer l'humidité dans les bâtiments équipés d'une humidification centralisée en hiver pour réduire les frais d'humidification. Pour les CTA équipés d'un refroidissement (climatisation), une récupération de l'humidité peut être souhaitable en été (quand il fait chaud et humide à l'extérieur) pour réduire la puissance de refroidissement nécessaire pour la déshumidification. Si l'air repris contient des odeurs/polluants solubles dans l'eau, il est préférable d'utiliser un échangeur de chaleur ne récupérant pas l'humidité, c'est-à-dire des flux d'air totalement séparés. Les unités de récupération de chaleur demandent un contrôle et un entretien réguliers, mais ces opérations sont à la portée de toute personne ayant des aptitudes techniques normales, à condition qu'un manuel d'utilisation et d'entretien convenable soit fourni.

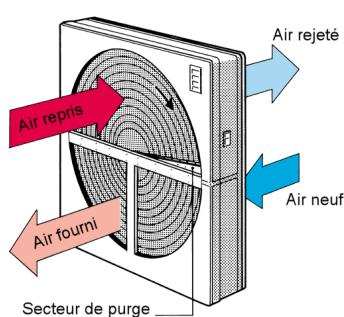


Figure 1 : échangeur de chaleur rotatif

2 Types et domaines d'utilisation

2.1 Principaux types

Il existe essentiellement deux types d'unité de récupération de chaleur : à *régénération* (cyclique) et à *récupération* (statique).

2.2 Récupération de chaleur à régénération

2.2.1 Généralités

Les échangeurs de chaleur à régénération transfèrent la chaleur via des surfaces accumulatrices de chaleur exposées de manière alternée à l'air rejeté et à l'air neuf. Les surfaces accumulant la chaleur sont généralement métalliques. Ces échangeurs de chaleur peuvent aussi récupérer l'humidité. Une fuite indésirable entre les deux flux d'air peut se produire, mais ce problème peut être limité en plaçant judicieusement le ventilateur pour annihiler la fuite.

2.2.2 Échangeurs de chaleur rotatifs

Ceux-ci comprennent un rotor (roue thermique) comportant de nombreux petits canaux parallèles par lesquels passe l'air. Pendant qu'une moitié de la roue est chauffée par l'air repris, l'autre moitié transmet la chaleur accumulée à l'air neuf. On en trouve de deux types :

- les rotors **hygroscopiques** (à enthalpie), à savoir un rotor réalisé dans un matériau absorbant l'humidité (vapeur et liquide), généralement une surface d'oxyde d'aluminium poreux. Les « roues à absorption » sont les plus efficaces pour la récupération de l'humidité.
- les rotors **non hygroscopiques** (roues à condensation). Ceux-ci ne peuvent transférer l'humidité que si l'humidité de l'air repris condense.

Le rendement des échangeurs de chaleur rotatifs peut être commandé en réglant la vitesse du rotor ou avec un fonctionnement intermittent. On peut aussi utiliser une dérivation. Le sens alterné des flux passant par le rotor tend à le préserver de la poussière. Cependant, pour prévenir la recirculation des polluants, on peut utiliser un *secteur de purge*. Pour prévenir l'encrassement du rotor à l'arrêt (p.ex. en été), il faut le faire tourner régulièrement. En principe, un givrage

n'intervient que sous environ -20°C pour les modèles hygroscopiques (en fonction du taux d'humidité de l'air repris et de l'efficacité de la récupération de chaleur).

Les ventilateurs devraient être situés de manière à diriger la fuite depuis l'air fourni vers l'air rejeté (Figure 2). Sans secteur de purge, au moins 2 à 4% de l'air extrait est recirculé. Un secteur de purge permet de réduire cela à moins de 1%. Le taux de transfert des odeurs et des polluants dépend du taux de diffusion de chaque composant et de la capacité d'adsorption de la surface du rotor.

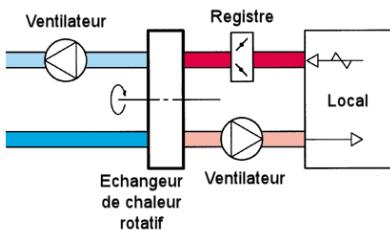


Figure 2 : emplacement du ventilateur et du registre pour réduire la recirculation

Avec les rotors hygroscopiques, l'efficacité du transfert de l'ammoniac et du butane dépasse 50%, et pour le CO₂, le pétrole et les odeurs de cuisson il s'agit d'environ 10%. En présence de ces composés hydrosolubles, un secteur de purge n'est guère utile et les rotors hygroscopiques ne devraient pas être utilisés. Même des rotors non-hygroscopiques peuvent devenir plus hygroscopiques avec le temps, en raison de la corrosion des canaux (et de l'accumulation éventuelle de poussière). Par conséquent, il vaut mieux ne pas utiliser d'échangeurs de chaleur rotatifs quand l'air extrait contient de fortes odeurs ou des polluants nocifs.

2.2.3 Échangeurs de chaleur à flux alternés

Ceux-ci comprennent deux chambres d'accumulation de chaleur séparées (cassettes) et un registre motorisé modifiant le sens du flux à intervalles réguliers, en principe à chaque minute. Chaque chambre comporte de nombreuses plaques parallèles ou un matériau similaire aux échangeurs de chaleur rotatifs. La recirculation indésirable de l'air extrait vers l'air frais est semblable à celle d'un échangeur de chaleur rotatif (1 à 6%, y compris le court-circuitage externe entre le rejet et la prise d'air

frais). Le risque de givrage est très semblable à celui des échangeurs de chaleur rotatifs.

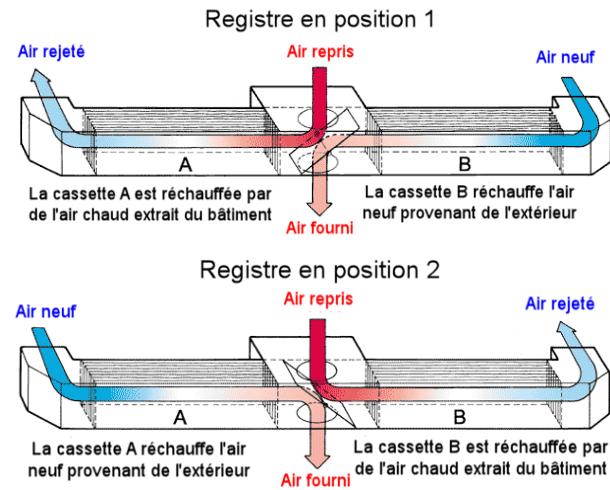


Figure 3 : Exemple d'échangeur de chaleur à flux alternés

2.3 Récupération de chaleur à récupération

2.3.1 Généralités

Les échangeurs de chaleur à récupération transfèrent la chaleur par conduction thermique au travers d'une plaque de séparation (échangeur de chaleur à plaque ou à tubes), ou grâce à un fluide intermédiaire (de type à circuit fermé, à caloduc ou pompe à chaleur). Comme les deux flux d'air sont séparés, en théorie ces échangeurs ne transfèrent pas les odeurs, mais en pratique, les échangeurs de chaleur à plaques, qui sont les plus courants, présentent généralement une recirculation de 1 à 3% due aux fuites internes.

2.3.2 Échangeurs de chaleur à plaques

Les échangeurs de chaleur à plaques comprennent des plaques parallèles (planes ou ondulées) qui séparent les flux d'air fourni et repris (Figure 4). Si la température des plaques baisse sous 0°C, de la glace peut se former dans les passages d'air repris de l'échangeur, et finalement l'obstruer. Si la récupération de chaleur n'est pas souhaitable, en été, on peut utiliser un registre de dérivation, ou pour les petits appareils résidentiels, l'échangeur peut être remplacé par un modèle à une seule plaque (« cassette d'été »). En raison de la condensation dans l'échangeur en hiver, il faut prévoir une évacuation du condensat. La conduite d'évacuation doit être protégée du

gel, présenter une pente sur toute sa longueur et avoir un siphon d'une hauteur suffisante par rapport à la pression nominale maximale dans le CTA (Figure 6).

Traditionnellement, les échangeurs de chaleur à flux croisés sont les plus courants (Figure 4). Le développement des échangeurs de chaleur à contre-courant (Figure 5) est plus récent. Ces derniers présentent une efficacité de récupération plus élevée, mais ils se sont plus sensibles au givrage.

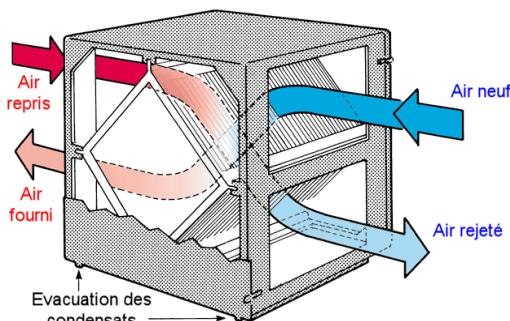


Figure 4 : Échangeur de chaleur à plaques à flux croisés

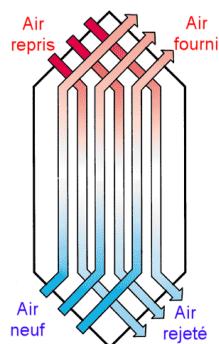


Figure 5 : Principe d'un échangeur de chaleur à plaques à contre-courant

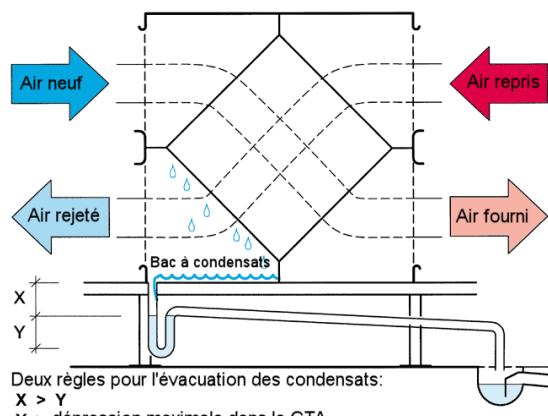


Figure 6 : Siphon et conduite d'évacuation corrects

2.3.3 Échangeurs de chaleur tubulaires

Ceux-ci fonctionnent de manière très similaire à celle des échangeurs de chaleur à plaques, les tubes remplaçant les plaques. Ils sont plus faciles à nettoyer que les échangeurs de chaleur à plaques et peuvent être équipés d'un dispositif de nettoyage automatique. Les tubes peuvent être en verre, pour une meilleure résistance à la corrosion. Les risques d'une obstruction due au gel sont moins élevés qu'avec les échangeurs à plaques et les fuites internes sont généralement moins importantes.

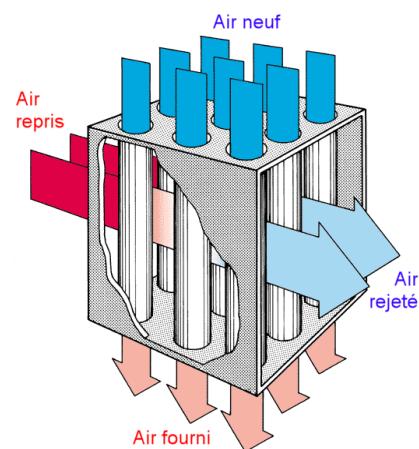


Figure 7 : Échangeur de chaleur tubulaire

2.3.4 Échangeurs à circuit fermé

Ces derniers consistent en deux batteries, une dans chaque flux d'air, reliées par un circuit de fluide eau/glycol ou eau/alcool (Figure 8). La concentration de glycol nécessaire [pour la protection antigel] dépend de la plage de température de fonctionnement, mais elle est généralement de 30 à 40%. Le rendement est inversement proportionnel à la concentration en glycol. Dans les grands systèmes, on utilise de la saumure au lieu d'eau glycolée.

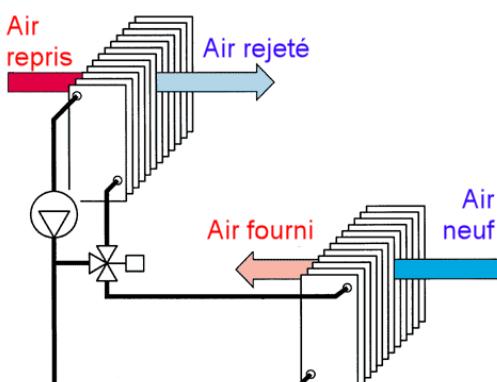


Figure 8 : échangeur de chaleur à fluide intermédiaire à circuit fermé

L'avantage de ce type d'échangeur de chaleur est que les gaines d'air repris et d'air fourni peuvent être séparés par une grande distance et que la chaleur peut être récupérée à partir de plusieurs gaines d'air repris à l'aide de batteries séparées. Ce système convient en cas d'air repris fortement pollué car il n'y a pas de risque de contamination de l'air fourni par l'air repris due aux fuites (les batteries en inox, en cuivre ou en plastique offrent une bonne résistance à la corrosion). Une vanne à trois voies sert à contrôler l'efficacité de la récupération de chaleur pour la protection antigel.

2.3.5 Échangeurs à caloduc

Leur fonctionnement s'apparente beaucoup à celui des échangeurs à circuit fermé. Le fluide caloporteur est un réfrigérant qui s'évapore sous l'effet de la chaleur et se condense quand il se refroidit. Le système ne demande pas de pompe. L'efficacité de la récupération de chaleur est plus élevée par temps froid. La récupération de chaleur peut être contrôlée au besoin par une dérivation. On en trouve de deux types :

- à caloduc **vertical**. (Figure 9)
- à caloduc **horizontal** (ou légèrement incliné), ceux-ci sont moins courants. La circulation naturelle est obtenue à l'aide d'un capillaire dans le tube, servant à conduire le condensat.

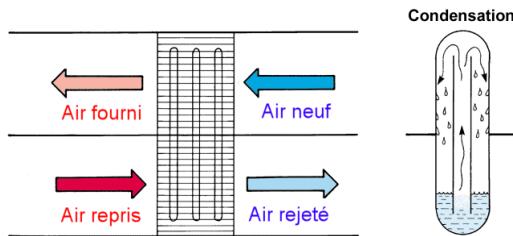


Figure 9 : caloduc vertical

2.3.6 Récupération de chaleur par pompe à chaleur

Les caissons de traitement d'air (CTA) peuvent comporter une pompe à chaleur intégrée. La pompe à chaleur comprend deux batteries (une dans chaque flux d'air, comme pour un échangeur à circuit fermé) raccordées par un circuit de réfrigérant avec un compresseur motorisé et un détendeur. La consommation électrique du compresseur représente 20 à 30% de la chaleur extraite du flux d'air repris, et elle est aussi libérée en tant que chaleur transférée

à l'air fourni. Les pompes à chaleur ne transfèrent pas l'humidité. L'efficacité de la récupération de chaleur est en principe contrôlée en régulant la vitesse du compresseur ou en déviant du gaz du côté pression du compresseur vers son côté aspiration. Le dégivrage se fait par une inversion périodique ou simplement en réglant le point de consigne de l'air rejeté juste au-dessus de 0°C.

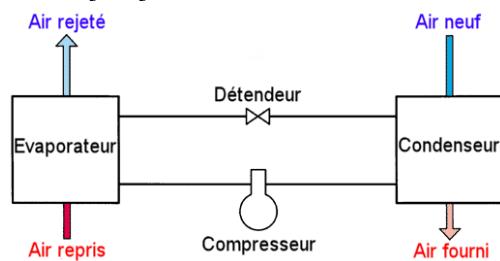


Figure 10 : Récupération de chaleur utilisant une pompe à chaleur. Le refroidissement peut être obtenu en changeant le sens de la pompe et en inversant le condenseur et l'évaporateur (nécessite deux détendeurs unidirectionnels)

En raison du coût élevé de l'installation, les pompes à chaleur sont généralement utilisées dans les bâtiments qui ont besoin de la climatisation, du fait que le même système peut servir en été pour la climatisation et en hiver pour la récupération de chaleur.

3 Récupération de l'humidité et protection antigel

3.1 Récupération de l'humidité

Certaines unités de récupération de chaleur récupèrent la vapeur d'eau (ce qu'on appelle aussi « récupération enthalpique »). Il s'agit le plus souvent d'unités de récupération de chaleur à régénération. Les appareils non-hygroscopiques récupèrent l'humidité en présence de condensation, tandis que les appareils hygroscopiques récupèrent l'humidité dans toutes les conditions (à peu près avec la même efficacité pour l'humidité et la chaleur sensible).

Bien que les échangeurs de chaleur à récupération normaux ne récupèrent pas l'humidité, certains échangeurs de chaleur à plaques sont construits dans des matériaux qui permettent la diffusion de l'humidité à travers les parois des plaques (p.ex. cellulose). La récupération de l'humidité sert en principe à

réduire les coûts d'humidification dans les bâtiments où il est important de maintenir un taux d'humidité relative élevée en hiver, dans l'industrie papetière ou autre, les musées, etc. Pour les bâtiments « normaux » (habitations, écoles, bureaux, etc.) la récupération de l'humidité ne se justifie en principe que dans les climats chauds et humides (quand il est intéressant de réduire les coûts de déshumidification) ou sous les climats très froids et secs (pour réduire les problèmes d'inconfort dû à un air intérieur sec avec moins de 25% d'humidité relative). Cependant, la récupération de l'humidité doit être utilisée avec précaution pour éviter un taux d'humidité trop élevé à l'intérieur.

3.2 Protections antigel

Par temps froid, la température de la vapeur d'eau de l'air repris peut descendre sous son point de rosée et se condenser dans l'échangeur de chaleur. L'air rejeté très sec peut avoir un point de rosée situé sous 0°C. Au-dessous de 0°C, la condensation gèle. Les problèmes de fonctionnement que peut provoquer la glace dépendent du type d'échangeur de chaleur et des conditions de fonctionnement. La glace pose moins de problème pour les échangeurs de chaleur à régénération, en raison des flux d'air alternés passant dans l'échangeur.

La protection antigel est particulièrement importante pour les échangeurs de chaleur à récupération [statiques] à haut rendement, surtout quand l'air repris est saturé en humidité (piscines) et dans les climats froids. Les méthodes courantes de protection antigel sont : dérivation, préchauffage et arrêt périodique du ventilateur de pulsion.

Les unités à récupération ont besoin d'une évacuation du condensat, à l'inverse des unités à régénération qui n'en ont généralement pas besoin. L'efficacité de la récupération de chaleur est réduite quand la protection antigel est active (Figure 13), c'est pourquoi on l'utilise uniquement quand c'est nécessaire. Si on utilise une batterie de préchauffage, elle doit présenter une capacité suffisante pour les températures extérieures les plus froides attendues. La commande de la protection antigel devrait être automatique, avec un capteur d'humidité ou de température détectant les conditions de givrage.

4 Performances de la récupération de chaleur

4.1 Définitions du rendement de la récupération de chaleur

Il est utile de connaître le rendement d'un système de récupération de chaleur pour calculer les économies d'énergie et la rentabilité.

Il y a différentes définitions du rendement des échangeurs de chaleur, en fonction de l'endroit où l'on fixe les limites du système, à savoir l'échangeur de chaleur lui-même, le CTA, ou l'ensemble du système de ventilation (Figure 11).

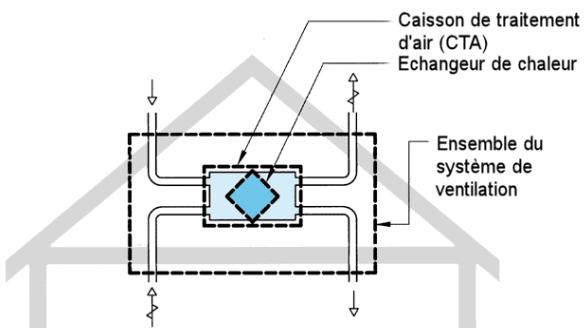


Figure 11 : Illustration des limites du système

Par ailleurs, on peut mesurer le rendement pour la température (à savoir l'enthalpie sensible), l'humidité ou l'enthalpie totale. On peut aussi le mesurer dans des conditions stables ou variables sur toute une période de chauffe (pour une valeur moyenne annuelle). Plusieurs définitions courantes du rendement sont reprises ci-dessous :

– **rendement de récupération de chaleur sensible d'un échangeur de chaleur** : le rapport de température défini par l'équation 1 [valable pour des flux massiques équilibrés].

– **rendement net de récupération de chaleur sensible d'un CTA** : récupération de la chaleur sensible pour le CTA dans son ensemble, corrigée pour les pertes du système (fuites d'air, recirculation et énergie utilisée par les ventilateurs, les batteries de dégivrage, etc. perdue sous forme de chaleur dans l'air rejeté). Il est égal au rapport de température d'évacuation de l'unité (équation 2) si le système est équilibré et en l'absence de condensation dans l'échangeur de chaleur et si la fuite d'air frais vers l'air évacué est

négligeable. Pour une définition et une équation plus rigoureuses, voir la réf.[2].

– **rapport de température d'air fourni du CTA** (équation 3) : celui-ci donne seulement une indication du confort thermique assuré par le CTA (à savoir la température de l'air fourni). Il ne constitue pas une mesure précise du rendement de la récupération de chaleur.

– **rendement net de récupération d'humidité d'un CTA** : comme l'équation 2, mais ici on mesure le rapport d'humidité [kg/kg] au lieu de la température. Il tient compte de la recirculation. Voir aussi la réf. [2].

– **rendement net moyen saisonnier de récupération de chaleur d'un CTA** : moyenne pondérée par les degrés-jours du rendement net de récupération de chaleur sensible d'un CTA pendant la période de chauffe. Il repose sur des mesures du rendement de récupération de chaleur pour différentes températures extérieures. Il est valable pour une combinaison spécifique de : (i) débit, (ii) climat local, et (iii) température du point d'équilibre du bâtiment, qui détermine quand la saison de chauffe du bâtiment démarre/s'arrête.

4.2 Mesure du rendement d'un échangeur de chaleur

Les paramètres des équations 1, 2 et 3 peuvent être : la température (T) [$^{\circ}\text{C}$], le taux d'humidité (w) [kg/kg], l'enthalpie sensible ($T(1006+1805 w)$) [J/kg] ou l'enthalpie totale ($T(1006+1805 w)+2501000 w$) [J/kg].

$$\eta_{heatx} \approx \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} \quad (\text{Equ.1})$$

$$\eta_{CTA-\text{exhaust}} \approx \frac{T_r - T_e}{T_r - T_f} \quad (\text{Equ.2})$$

$$\eta_{CTA-\text{supply}} \approx \frac{T_s - T_f}{T_r - T_f} \quad (\text{Equ.3})$$

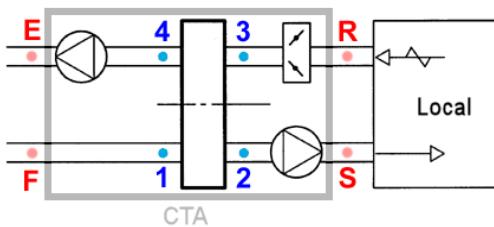


Figure 12 : Points de mesure pour déterminer le rendement de récupération de chaleur

4.3 Rendement net moyen saisonnier de récupération de chaleur

La Figure 13 illustre l'influence de la température extérieure sur la récupération de chaleur de quatre différentes unités de récupération de chaleur, toutes avec des stratégies de protection antigel idéales.

Par temps froid, la condensation dans l'échangeur de chaleur augmente le rendement de récupération de chaleur sensible. Cet effet est plus prononcé pour les échangeurs de chaleur les plus efficaces. Cependant, avec une température extérieure plus basse, et avec des rendements plus élevés, la condensation va geler et obstruer l'unité. On peut l'éviter en adoptant différentes stratégies de protection antigel qui réduisent le rendement de récupération de chaleur par temps froid (voir aussi le chapitre 3.2).

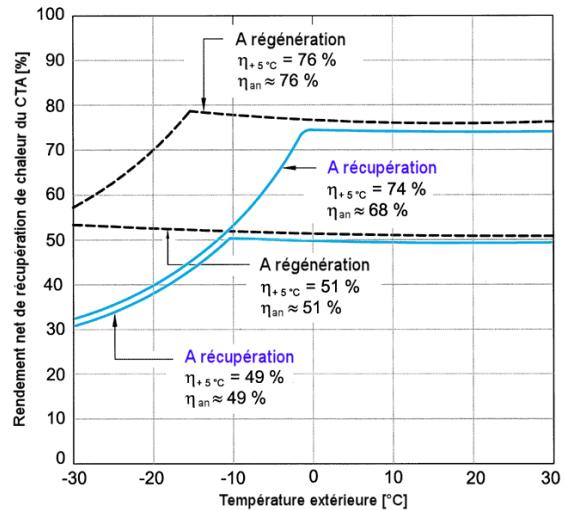


Figure 13 : Illustration de l'effet de la température extérieure sur le rendement de récupération de chaleur, pour différents types d'échangeurs de chaleur, tous avec les protections antigel idéales.

Le rendement net moyen saisonnier de récupération de chaleur des CTA sert à calculer les économies annuelles en frais de chauffage. On peut le calculer à l'aide de la courbe de distribution annuelle de la température extérieure. Le rendement moyen pendant la saison de chauffe est pratiquement égal à la valeur moyenne pondérée par les

degrés-jours du rendement net de récupération de chaleur sensible des CTA pendant la saison [la température de l'air extrait servant de base]. La méthode de calcul est décrite dans la référence [2].

Les Figure 14 et Figure 15 illustrent ces courbes de distribution pour une habitation et un immeuble de bureaux respectivement. La courbe bleue (*point d'équilibre de la température de l'air fourni*) est la température de l'air fourni au-dessus de laquelle le chauffage n'est pas nécessaire. C'est-à-dire que les gains solaires et les gains internes (personnes, équipements) combinés à une récupération de chaleur éventuelle, sont suffisants pour maintenir la température intérieure au niveau requis. La *point d'équilibre de la température de l'air fourni* dépend du coefficient U du bâtiment, de son étanchéité à l'air et des gains internes et solaires. Les quatre zones ①, ②, ① et ② représentent quatre quantités d'énergie :

La zone ① + ② + ① + ② représente les déperditions calorifiques maximales théoriques dues à la ventilation sans récupération de chaleur.

La zone ① + ② est la part des déperditions calorifiques par ventilation précitée couverte par les apports internes et solaires.

La zone ① + ② est la part des déperditions calorifiques par ventilation précitée couverte par la production de chaleur, en l'absence de récupération de chaleur.

La zone ① + ① est la chaleur récupérée par l'échangeur, dont ① représente des économies en frais de chauffage, tandis que ① n'entraîne pas de réduction de frais, mais simplement une surchauffe en été.

La zone ② est la chaleur à produire pour réchauffer l'air fourni à température ambiante

La zone ③ s'applique aux bâtiments qui ont de faibles apports internes par rapport aux déperditions calorifiques, de sorte que l'air fourni peut-être chauffé au-delà de la température ambiante en hiver sans provoquer de surchauffe.

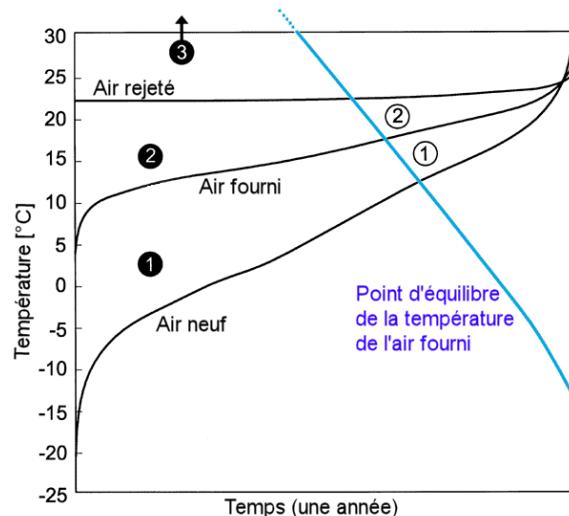


Figure 14 : Courbe de distribution de température annuelle, habitation

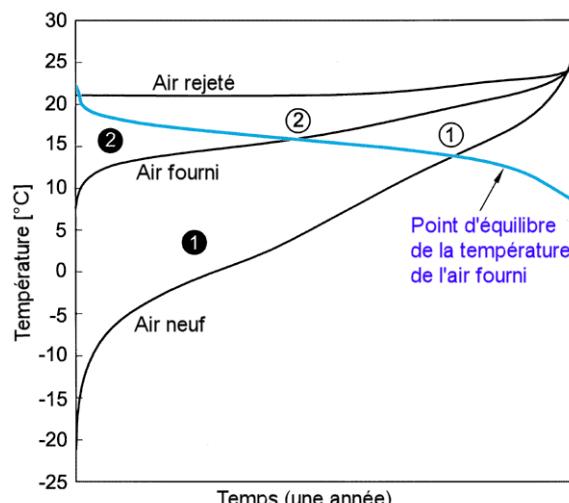
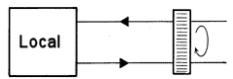
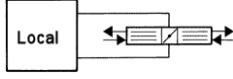
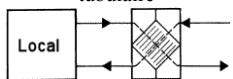
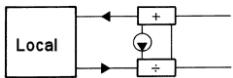
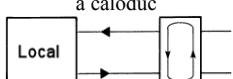
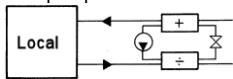


Figure 15 : Courbe de distribution de température annuelle, bureau

Tableau 1 : Comparaison des différents systèmes de récupération de chaleur pour une ventilation équilibrée

Type d'échangeur de chaleur	*Coûts d'installation relatifs	Rapport de temp. d'air fourni. (équ.3)	Rendement net saisonnier	Commandes (hiver/ été) & commentaires	Avantages	Inconvénients
À régénération						
rotatif 	1.00	70~80%	50~70%	<ul style="list-style-type: none"> Contrôle de la vitesse de rotation. Registry de dérivation. Rendement de récupération de l'humidité d'un rotor hygroscopique : 70~85%. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendement de récupération de chaleur élevé. Peut avoir un rendement de récupération de l'humidité aussi élevé. Rendement facile à réguler. Protection antigel pas nécessaire au-dessus d'environ -15°C (surtout pour un air intérieur sec). 	<ul style="list-style-type: none"> Risque de recirculation d'odeurs et de polluants. Risque de propagation de fumée lors d'un incendie. Les gaines d'extraction et de pulsion doivent être réunies en un même lieu Comprend des pièces mobiles demandant une maintenance. Risque d'enrassement du rotor à l'arrêt.
à flux alternés 	1.15	75~90%	70~85%	<ul style="list-style-type: none"> Changement de l'intervalle d'inversion. Haut rendement à des intervalles de 1 min. ; Rendement plus faible pour des intervalles plus longs. 	<ul style="list-style-type: none"> Rendement de récupération de chaleur le plus élevé. Peut avoir un bon rendement de récupération de l'humidité. Rendement facile à réguler. Protection antigel pas nécessaire au-dessus d'environ -15°C (surtout pour un air intérieur sec). Le registre est la seule pièce mobile. 	<ul style="list-style-type: none"> Risque de recirculation d'odeurs et de polluants. Risque de propagation de fumée lors d'un incendie Les gaines d'extraction et de pulsion doivent être réunies en un même lieu Système très encombrant. Doit être situé près d'un mur extérieur.
À récupération						
à plaque (à flux croisés ou à contre-courant) ou tubulaire 	1.05	Croisés : 50~70% Contre-courant 80~90%	45~60% 60~75%	<ul style="list-style-type: none"> Registry de dérivation. Certaines petites unités ont une cassette d'été de remplacement. 	<ul style="list-style-type: none"> Recirculation d'odeurs et de polluants minimale. Le registre de dérivation est la seule pièce mobile. Mécaniquement fiable. L'échangeur de chaleur à contre-courant présente un rendement de récupération de chaleur élevé. 	<ul style="list-style-type: none"> Les gaines d'extraction et de pulsion doivent être réunies en un même lieu. La dérivation demande un espace supplémentaire. Demande une protection antigel. Doit comporter une évacuation du condensat. Risque de propagation d'un incendie.
à fluide intermédiaire à circuit fermé 	1.45	50~65%	45~55%	<ul style="list-style-type: none"> Réglage du débit de fluide. Commande de dérivation du flux de fluide. Arrêt périodique de la pompe 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de recirculation d'odeurs et de polluants. Les gaines d'extraction et de pulsion peuvent se trouver en différents endroits ; relativement facile à installer dans les bâtiments existants. Rendement de récupération de chaleur facile à réguler. 	<ul style="list-style-type: none"> Comprend des pièces mobiles demandant une maintenance. Demande une protection antigel et le fluide doit contenir de l'antigel. Demande une tuyauterie reliant les batteries.
à fluide intermédiaire à caloduc 	1.25	55~65%	50~55%	<ul style="list-style-type: none"> En partie autorégulant. Registry de dérivation. Modification de l'inclinaison du caloduc (type 'horizontal'). 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de recirculation d'odeurs et de polluants. Pas de pièces mobiles. Pas de raccords de tuyaux. Moins de risque de gel qu'avec un échangeur de chaleur à plaques en raison d'une distribution plus uniforme de la température. 	<ul style="list-style-type: none"> Les gaines d'extraction et de pulsion doivent être réunies en un même lieu. Demande une protection antigel. Le contrôle du rendement de récupération de chaleur est compliqué. La dérivation demande un espace supplémentaire.
à fluide intermédiaire pompe à chaleur 	2.0~3.0	60~80%	35~60%	<ul style="list-style-type: none"> Régulation du compresseur. 	<ul style="list-style-type: none"> Pas de recirculation d'odeurs et de polluants. Les gaines d'extraction et de pulsion peuvent se trouver en différents endroits si le système de pompe à chaleur est scindé ; relativement facile à installer dans les bâtiments existants. Peut fournir du refroidissement en été. 	<ul style="list-style-type: none"> Demande beaucoup d'espace. Comprend des pièces mobiles, risque plus élevé de panne. Le contrôle du rendement de récupération de chaleur est compliqué. Demande une protection antigel (ou limiter le refroidissement du rejet à +5°C). Nuisances sonores éventuelles Coûts d'investissement et d'exploitation élevés

5 Calcul des économies d'énergie et de la rentabilité

5.1 Réduction de la consommation d'énergie

5.1.1 Méthode précise

Les économies d'énergie engendrées par une unité de récupération de chaleur peuvent être évaluées avec précision à l'aide d'un logiciel de simulation thermique des bâtiments (comme EnergyPlus, ESPr, TRNSYS, BSim etc.). Il faut de préférence que le logiciel puisse prendre en compte le changement de rendement de récupération de chaleur en fonction de la température extérieure (*Figure 13*). Il est aussi important de spécifier correctement le rendement de récupération de chaleur : s'il modélise les pièces séparées du CTA (p.ex. échangeur de chaleur, ventilateurs, etc), alors il faut spécifier le *rendement de chaleur sensible de l'échangeur*. Si le modèle ne calcule pas séparément la puissance du ventilateur (ceci comprend des méthodes plus simples telles que EN 832), alors il faut utiliser le *rendement net de récupération de chaleur sensible du CTA*.

5.1.2 Méthode simplifiée

On peut aussi utiliser une équation simple à la place d'un logiciel pour évaluer les économies d'énergie par comparaison à une ventilation naturelle :

$$kWh_{saved} = 3 \cdot n \cdot V \cdot \bar{\eta} \cdot k \cdot (22 - \bar{T}_u) \quad (\text{Equ.4})$$

où :

n constante ($= 1.2 \text{ kg/m}^3 \times 1050 \text{ J/kgK} \times 0,001 \text{ kW/W} / 3600 \text{ s/h} \times 8760 \text{ h/an}$) [$\text{J/m}^3\text{K}$]

V Renouvellement d'air moyen pendant la période de chauffe dû à la ventilation mécanique (infiltration non comprise). La valeur moyenne tient compte des périodes de débit réduit ou sans ventilation (p.ex. la nuit ou le week-end) [h^{-1}]

$\bar{\eta}$ Volume du bâtiment ventilé [m^3]

T_u rendement net moyen saisonnier de récupération de chaleur sensible du CTA au débit d'air approprié et selon les conditions climatiques locales [valeur comprise entre 0 et 1]. Pour la ventilation mécanique par extraction des habitations (sans récupération de chaleur) $\eta \approx 0.05$

\bar{T}_u Temp. extérieure moyenne annuelle. [$^\circ\text{C}$]

k Fraction de chaleur récupérée qui constitue une réduction des frais de chauffage, c.-à-d. pas un surplus de chaleur [entre 0 et 1] :

$$k \approx a (1 - b \cdot \bar{\eta}^3) \quad (\text{Equ.5})$$

Les constantes a et b dépendent de la construction, de l'utilisation et des gains internes et solaires du bâtiment. (Tableau 2)

Tableau 2 : Exemples de valeurs des constantes 'a' et 'b' utilisées pour une estimation simplifiée des économies d'énergie, pour le climat nordique avec des coefficients U : murs = $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$, fenêtres = $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$, toit et sol = $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

Type de bâtiment	a	b
Maison 4 façades	0,87	0,03
Appartement	0,83	0,06
Jardin d'enfants	0,87	0,14
École	0,79	0,30
Immeuble de bureaux	0,77	0,27

5.1.3 Récupération d'enthalpie ou de chaleur sensible?

Dans les bâtiments avec humidification centralisée, on peut évaluer les économies d'énergie par un calcul basé sur le rendement de récupération d'enthalpie (voir le chap. 4.2). Cependant, les calculs simplifiés utilisant le rendement de récupération d'enthalpie totale peuvent conduire à une surévaluation des économies. Il est préférable d'effectuer des calculs séparés des économies de chaleur sensible (en utilisant le *rendement net de récupération de chaleur sensible*) et des économies de chaleur latente (en utilisant le *rendement net de récupération de l'humidité*) et d'additionner les deux. Les calculs de chaleur latente doivent être faits uniquement pour les bâtiments équipés d'une humidification centralisée (ou équivalents) ayant des frais d'utilisation plus bas en raison de la récupération de l'humidité dans l'échangeur de chaleur.

6 Choix de la récupération de chaleur pour différents types de bâtiment

6.1 Généralités

Le choix du type de système de récupération de chaleur repose à la fois sur la rentabilité et les qualités fonctionnelles comme les fuites (recirculation), la récupération d'humidité et la protection antigel (voir le *Tableau I*). La protection incendie peut aussi être un facteur décisif pour les grands immeubles afin de prévenir les risques de propagation de la fumée et du feu par le système de ventilation. La rentabilité augmente avec le débit et le temps de fonctionnement. Les économies sont plus importantes pour les piscines, les bâtiments industriels et les hôpitaux, moins importantes pour les bureaux et les moins importantes pour les habitations.

6.2 Exigences pour l'emplacement les conduits

Le meilleur emplacement pour le CTA est une salle des machines spécifique ou un autre local technique (toilette, réserve) ou un grenier chauffé offrant un accès aisément. L'emplacement choisi doit aussi permettre un réseau de conduits courts (plus spécialement pour le conduit d'air frais) et larges. Sous les climats froids, il n'est pas recommandé d'installer le CTA à l'extérieur ou dans un grenier froid (en dehors de l'enveloppe isolante du bâtiment). Si les gaines d'extraction et d'air fourni ne se rejoignent pas au même endroit, il faut alors choisir un système à circuit fermé ou à pompe à chaleur. Les conduits d'air neuf et d'air rejeté doivent toujours être isolées sur toute leur longueur. Les conduits d'air fourni et d'air rejeté doivent être isolés quand ils passent dans des locaux non chauffés ou particulièrement chauds (p.ex. les combles). L'isolation des conduits devrait atteindre 50 mm ou 100~150 mm sous les climats particulièrement froids.

6.3 Habitations

Une ventilation équilibrée avec récupération de chaleur offre la meilleure combinaison pour les habitations : un air de bonne qualité et un bon rendement énergétique, spécialement dans les habitations à plusieurs étages dans les climats froids. L'habitation doit être étanche à l'air (≤ 2

renouvellements d'air à 50 Pa lors de l'essai de perméabilité). Il faut accorder une attention spéciale à l'insonorisation (placer un silencieux dans le conduit d'air fourni après le CTA, des conduits de grande section de préférence toujours supérieure à 125 mm \varnothing et des bouches silencieuses) et aux problèmes de courants d'air (dans les climats froids, il faut prévoir éventuellement une batterie de post chauffe pour éviter que la température de l'air fourni descende nettement sous environ 17°C, et le point de consigne ne doit pas dépasser 19°C).

6.4 Immeubles à appartements

Dans les nouveaux immeubles à appartements, et les bâtiments existants à ventilation équilibrée, la récupération de chaleur est presque toujours utilisée actuellement. Pour les immeubles à appartements existants équipés uniquement d'un système d'extraction, il n'est généralement pas rentable d'installer une ventilation équilibrée avec récupération de chaleur en raison du manque de place pour les nouvelles gaines de pulsion. Dans ces cas-là, il est plus économique d'installer une pompe à chaleur sur l'air extrait pour chauffer l'eau chaude sanitaire ou préchauffer l'eau du chauffage central par radiateurs. Néanmoins, la ventilation équilibrée assure la meilleure qualité de l'air et le moins de problèmes de courants d'air.

6.5 Immeubles de bureaux

Aujourd'hui, la plupart des immeubles de bureaux sont équipés d'une ventilation équilibrée avec récupération de chaleur. Si un refroidissement est nécessaire, on peut utiliser une unité de récupération de chaleur à pompe à chaleur, qui peut assurer le refroidissement en été. La récupération de l'humidité est généralement recommandée.

6.6 Hôpitaux

Un fonctionnement continu combiné à des débits importants rend la récupération de chaleur très rentable. Les types à régénération et à récupération sont pertinents, en fonction de l'application. Pour la ventilation de zones à risque élevé d'infection, il faut éviter d'utiliser des échangeurs de chaleur à régénération, en raison des risques de recirculation (des échangeurs à circuit fermé ou à caloduc sont préférables).

6.7 École, jardin d'enfants, halls

Pour les bâtiments occupés uniquement pendant une petite partie de la journée, et présentant une densité d'occupation élevée (d'où des gains internes élevés), la rentabilité de la récupération de chaleur est moins distincte. La récupération de l'humidité pourrait par moment conduire à un taux d'humidité trop élevée à l'intérieur, de sorte qu'elle n'est pas nécessairement bénéfique.

6.8 Industrie

Pour les applications industrielles, le principal souci vient de l'influence des polluants, à la fois sur la fiabilité du système de récupération de chaleur et sur le risque de contamination croisée (recirculation). Avec les échangeurs de chaleur rotatifs, le risque de contamination croisée peut être réduit en prévoyant un secteur de purge et par une localisation appropriée des ventilateurs (*Figure 2*). Les particules sèches posent moins de problèmes d'encrassement que les particules collantes. La roue est aussi protégée par un filtre du côté de l'air repris. Les mesures contre les polluants spécifiques sont présentées ci-dessous :

– Les **huiles ou vapeur grasses** peuvent conduire à une accumulation importante de poussières du côté avant de l'échangeur de chaleur ainsi que dans les gaines. Il faut placer un filtre avant l'échangeur de chaleur. Si l'air extrait contient des aérosols d'huile chargés en particules, le système doit être conçu pour permettre un nettoyage aux solvants et à l'eau sous pression. Les échangeurs de chaleur tubulaires constituent souvent le meilleur choix.

– Les **matériaux fibreux**, p.ex. des textiles, laine minérale ou fibres de verre peuvent être éliminés par un fin tamis dans la gaine d'extraction. En outre, il faut placer un filtre normal après le tamis.

– Les **solvants**. Il faut éviter les échangeurs de chaleur à régénération avec un matériau hygroscopique ou absorbant si l'air extrait contient de l'ammoniac, du formaldéhyde ou des solvants. Même les échangeurs de chaleur en aluminium non hygroscopiques deviennent de plus en plus hygroscopiques au fil du temps en raison de l'encrassement ou de l'oxydation de l'aluminium.

– Les **peintures et les laques**. Le degré d'encrassement et d'obturation dépend du type de peinture et du taux de séchage des

particules. Un filtrage spécialisé est nécessaire sur la gaine d'extraction.

– Les **sels** présentent un risque important de corrosion. Le CTA, ainsi que l'échangeur de chaleur et la conduite d'évacuation du condensat doivent être réalisés dans un matériau résistant à la corrosion.

– Les **fumées de soudage**. Nettoyer l'échangeur de chaleur quand c'est nécessaire est la stratégie la plus économique. Le filtrage de l'air extrait n'est pas pratique en raison d'une obstruction rapide. Les séparateurs cycloniques peuvent apporter une réponse. Les échangeurs de chaleur rotatifs offrent de bonnes propriétés autonettoyantes, s'ils fonctionnent en permanence.

7 Mise en service, utilisation et maintenance

7.1 Essai à la réception

Les échangeurs de chaleur doivent faire l'objet d'un essai lors de la procédure de réception du système de ventilation. Le choix de la méthode de mesure et l'étendue des essais, dépendent de la taille du système et doivent être spécifiés dans le cahier des charges. Pour les CTA plus grands, les fuites de l'enveloppe doivent être spécifiées et être conformes aux valeurs limites fixées par la norme EN 1886 [4]. La norme EN 13053 [5] décrit d'autres essais pour les unités plus grandes. Les essais d'installation pour les unités résidentielles sont décrits dans la norme EN 14134 [6]. Lors des essais de réception, il faut aussi contrôler les commandes et le fonctionnement. Voir par exemple [7].

7.2 Essai de fonctionnement

Les performances de l'échangeur de chaleur peuvent être contrôlées par une simple mesure du rapport de température. Celle-ci implique de mesurer les débits d'admission et d'extraction et de mesurer la température de l'air dans les deux flux d'air avant et après l'échangeur de chaleur. En raison de la distribution inégale de la température dans l'échangeur de chaleur, il faut effectuer plusieurs mesures de température dans la zone du flux. Il est aussi possible de mesurer la température après un ventilateur ou un autre dispositif de mélange (en soustrayant l'augmentation de température à travers le

ventilateur). Il faut effectuer des mesures dans des conditions qui n'entraînent pas de condensation dans l'échangeur de chaleur.

Pour certains types d'échangeur de chaleur, il convient aussi de mesurer le rendement de récupération de l'humidité. Les autres essais fonctionnels comprennent : mesure de la puissance de post chauffage, baisse de la pression et niveau de bruit de ventilation dans certaines pièces et à l'extérieur.

7.3 Mode d'emploi et d'entretien

On ne peut garantir un fonctionnement fiable et économique d'un système de récupération de chaleur qu'à l'aide de bonnes pratiques d'utilisation, de contrôle et de maintenance. Cela demande un mode d'emploi et d'entretien adapté au système de ventilation.

8 Références

- [1] AIVC Technical Note 45: Air-to-Air Heat Recovery in Ventilation. December 1994.
- [2] Nordtest method NT VVS 130: Air/air heat recovery units – Aerodynamic and thermal performance. www.nordtest.org
- [3] EN 308. Échangeurs thermiques - Procédures d'essai pour la détermination de la performance des récupérateurs de chaleur air/air et air/gaz
- [4] EN 1886. Ventilation des bâtiments - Caissons de traitement d'air - Performances mécaniques
- [5] EN 13053. Ventilation des bâtiments - Caissons de traitement d'air - Classification et performance des unités, composants et sections
- [6] EN 14134. Ventilation des bâtiments - Essai de performances et contrôles d'installation des systèmes de ventilation résidentiels
- [7] CIBSE Commissioning Code M: Commissioning Management 2003. ISBN 1 903287 33 2 - www.cibse.org

Version originale en anglais

Traduction française financée par le Service Publique de Wallonie DGO4  et par le CSTC  (Belgique)

Le Centre de la Ventilation et des Infiltrations d'Air est régi par l'annexe V du décret d'exécution de l'ECBCS de l'**Agence Internationale de l'Energie**. L'AIVC a pour principal objectif de fournir un forum technique et d'information international de grande qualité dans le domaine de la ventilation et de l'infiltration d'air dans les environnements bâti portant sur l'efficacité énergétique, la qualité de l'air intérieur et le confort thermique. Cette initiative a pour principale motivation de répondre aux préoccupations nationales et internationales dans le domaine du développement durable, des changements climatiques et de la salubrité des bâtiments.

L'**Air Infiltration and Ventilation Centre** est subventionné par les sept pays suivants : la Belgique, la République Tchèque, la France, la Grèce, les Pays-Bas, la Norvège et les États-Unis d'Amérique.