

## Notes techniques

# RÉCUPÉRATION D'ÉNERGIE: ÉVALUATION D'UN ÉCHANGEUR ROTATIF

Les récupérateurs d'énergie permettent de limiter les coûts de fonctionnement des ventilations associées aux systèmes de captage à la source. Troisième d'une série consacrée à ces équipements, cet article montre l'intérêt technico-économique d'un échangeur rotatif.

ROLAND  
RAPP  
INRS,  
département  
Ingénierie des  
procédés

**F**ace aux atmosphères polluées par des produits dangereux utilisés dans les locaux de production, le captage à la source constitue bien souvent la seule solution pour préserver la santé des salariés. L'efficacité du captage et le confort thermique des salariés nécessitent alors que l'air extrait soit compensé par un apport équivalent en air extérieur, chauffé en hiver et éventuellement rafraîchi en été. Problème: ces installations sont très énergivores. La question du coût ne doit pas pour autant rester un frein au déploiement de

ces dispositifs. Plusieurs technologies permettent de récupérer une partie de l'énergie consommée en vue de minimiser les frais de fonctionnement par rapport à une installation classique et, ainsi, d'amortir l'investissement de départ. Afin de convaincre de l'intérêt de tels équipements, *Hygiène et sécurité du travail* propose une série d'articles détaillant les technologies disponibles et leurs avantages socio-économiques. Après avoir démontré l'intérêt des échangeurs à deux batteries et à circulation d'un mélange eau-glycol, puis des échangeurs à plaques, la revue

### RÉSUMÉ

Le recours à des systèmes de captage à la source est bien souvent la seule solution qui permette de préserver la santé des salariés exposés à des produits dangereux. L'air ainsi extrait doit toutefois être compensé par des systèmes de ventilation très énergivores, notamment du fait du nécessaire réchauffage

de l'air neuf introduit en période hivernale. Les surcoûts ainsi générés peuvent néanmoins être compensés par l'installation de récupérateurs d'énergie. Plusieurs technologies sont aujourd'hui disponibles, dont l'échangeur rotatif. Une évaluation menée sur ce dispositif dans un site de

construction de véhicules automobiles montre ainsi que les économies réalisées sont de l'ordre de 5 000 € par an et pourraient atteindre près de 18 000 € pour des conditions normales de fonctionnement. Dans ce cas, le retour sur investissement est inférieur à 4 ans.

### *Energy recovery: assessing a rotary exchanger*

*Resorting to source-based collection systems is often the only solution for preserving the health of employees exposed to hazardous substances. However, the air extracted in this way must be compensated by high energy-hungry ventilation systems, especially*

*when the fresh air introduced requires heating during the winter period. The resulting extra costs can nevertheless be offset by installing energy recovery systems. Several technologies are now available, including the rotary exchanger. An assessment of*

*this machine performed at a car manufacturing site reveals that savings are of the order of 5,000 €/year and could be as much as 18,000 €/year under normal operating conditions. In the latter case, the investment return period is less than 4 years.*

s'intéresse, dans ce numéro, aux échangeurs rotatifs (Cf. Encadré).

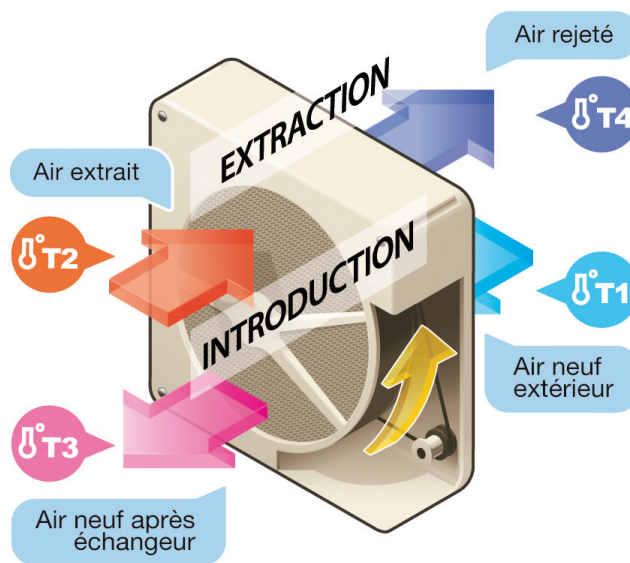
Les performances de ce type de récupérateur d'énergie ont été évaluées à partir d'une étude réalisée en 2013 dans un atelier de montage de véhicules automobiles. Dans cet atelier d'une surface totale de 10800 m<sup>2</sup>, les châssis de voitures sont assemblés par soudure électrique à l'aide de dispositifs robotisés. Le soudage est à l'origine de l'émission de poussières et de gaz nocifs pour la santé du personnel. Afin d'en limiter les effets,

#### ENCADRÉ PRINCIPE DE L'ÉCHANGEUR ROTATIF

Un échangeur rotatif est constitué d'un assemblage de plaques planes et ondulées montées dans un cylindre (ou roue) et formant un réseau de veines d'air parallèles à son axe. Ce réseau est parcouru pour moitié par l'air introduit et pour l'autre moitié par l'air extrait. Du fait du mouvement rotatif appliqué au cylindre, les veines d'air sont alternativement parcourues par l'air extrait puis par l'air entrant. L'échange de chaleur entre l'air extrait et l'air introduit s'effectue par un double transfert thermique: le premier entre l'air extrait et le matériau constitutif de la roue, le second entre le matériau et l'air introduit. Ainsi, l'air extrait, qui passe de la température T2 à T4, assure le réchauffage progressif d'une moitié de la roue. Cette dernière, entraînée dans le mouvement de rotation, passe ensuite du côté de l'air introduit et transmet alors de la chaleur à l'air neuf dont la température passe de T1 à T3. En fonction du matériau utilisé, la récupération d'énergie est plus ou moins performante. Elle est optimale lorsqu'on recourt à un matériau hygroscopique. Elle est moins efficace si l'on utilise un matériau métallique. Un dispositif de nettoyage permet de limiter la contamination de l'air neuf par l'air extrait.

de l'air qui assure, d'une part, l'extraction de l'air prélevé par différents systèmes de captages installés sur la chaîne de fabrication dans la zone de production concernée et d'autre part, l'introduction de l'air par des diffuseurs placés à environ 3 m de haut et répartis dans la même zone (Cf. Figure 2). La centrale de traitement de l'air comporte des filtres à la fois du côté extraction et du côté introduction. Une batterie à ailettes permet un conditionnement correct de l'air introduit dans le local à la température T<sub>IN</sub> en hiver. Cette batterie est raccordée au circuit eau chaude du site.

Comment se traduit le fonctionnement de tous ces équipements? Les débits théoriques sont variables en fonction de la saison et de l'activité. Pendant les heures d'occupation des locaux, le débit global d'extraction mécanique est de 56 400 m<sup>3</sup>/h. Les centrales assurent un débit d'introduction en air neuf de 112 000 m<sup>3</sup>/h en hiver et de 296 000 m<sup>3</sup>/h en été. Le surplus d'air s'évacue de manière naturelle (ouvertures, autres centrales..).



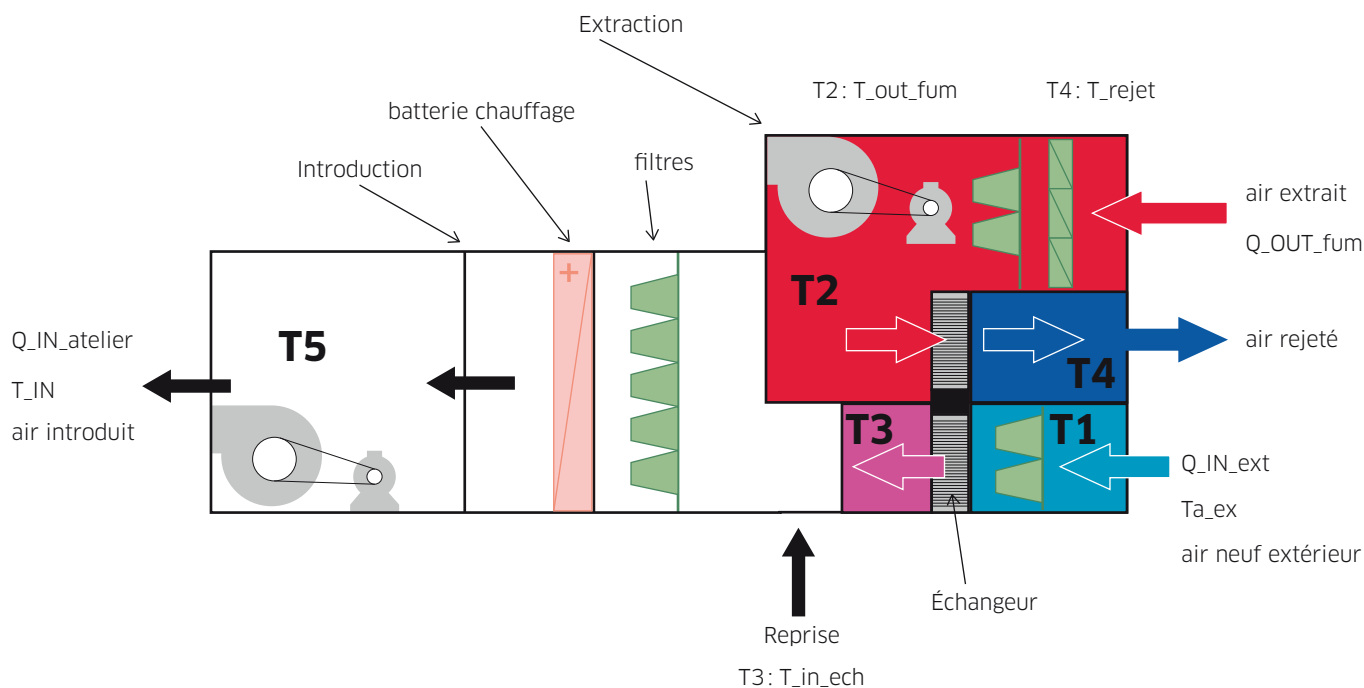
↑ FIGURE 1 Schéma de principe de l'échangeur rotatif.

une extraction des émissions polluantes est réalisée dans les zones de production. Ce dispositif est complété par une ventilation générale et un apport en air extérieur pour tout l'atelier. L'une des centrales de ventilation dédiée à une zone à pollution spécifique est équipée d'un système de récupération d'énergie rotatif.

Ce récupérateur est constitué d'une roue d'environ 2,30 m de diamètre et 0,20 m d'épaisseur, associée à un dispositif de nettoyage des veines d'air par injection d'air comprimé (Cf. Figure 1). Il est installé à l'intérieur d'une centrale de traitement

En ce qui concerne la centrale de traitement de l'air étudiée, le débit théorique extrait de la zone de production est de 25 000 m<sup>3</sup>/h, quelle que soit la saison. En été, l'air est directement rejeté à l'extérieur. En hiver, l'air transite au travers de l'échangeur avant d'être rejeté à l'extérieur, ce qui permet une récupération d'énergie au profit de l'air neuf. Toujours pour cette centrale, le débit de ventilation théorique introduit dans la zone de production est de 95 000 m<sup>3</sup>/h en été. Durant cette période, il s'agit en totalité d'air neuf en provenance directe de l'extérieur. En période hivernale,





↑ FIGURE 2 Schéma de principe de la centrale de traitement de l'air

le débit théorique introduit est de 80 000 m<sup>3</sup>/h, dont 39 000 m<sup>3</sup>/h en air neuf qui transitent au travers de l'échangeur et 41 000 m<sup>3</sup>/h en air prélevés à l'emplacement de la centrale de traitement de l'air. Ce débit de reprise a pour unique rôle d'assurer une certaine homogénéisation de la température ambiante dans la zone de production. Ces débits sont valables en période de production, c'est-à-dire entre 6 h et 22 h 30 les jours ouvrés. En dehors des heures d'occupation, la centrale est généralement à l'arrêt. En hiver, elle permet néanmoins de conserver une température minimale dans la zone de production, et si besoin fonctionne alors en reprise sans passer par l'échangeur : dans ce cas, le débit extrait de la zone de production et les apports en air neuf sont nuls.

L'évaluation du système de récupération d'énergie a été réalisée à partir des mesures de débits, de températures, d'humidités et de consommations électriques enregistrées sur 80 jours en période froide. L'évolution dans le temps des débits d'introduction en air neuf (Q\_IN\_ext), dans le local (Q\_IN\_atelier) et d'extraction (Q\_OUT\_fum) est donnée sur la Figure 3.

En période de production, le débit moyen en air neuf transitant au travers de l'échangeur est d'environ 7 500 m<sup>3</sup>/h pour un débit théorique de 39 000 m<sup>3</sup>/h. Celui introduit dans le local est de 56 500 m<sup>3</sup>/h. Le débit d'extraction est par contre conforme à l'attendu, sa valeur moyenne se situant à 27 500 m<sup>3</sup>/h pour un débit théorique de 25 000 m<sup>3</sup>/h. Ces données montrent qu'environ 20 000 m<sup>3</sup>/h d'air neuf se sont introduits par ailleurs (ouvertures, autres centrales...).

L'évolution dans le temps de la température extérieure Ta\_ex, de la température relevée juste après l'échangeur coté introduction à l'intérieur de la centrale T3, de la température de l'air injecté dans le réseau vers le local T\_IN et de la température de l'air extrait T2 est donnée sur la Figure 4.

Sur toute la période d'observation, la température extérieure Ta\_ex enregistrée est en moyenne de 1,7°C avec un minimum à - 12,7°C et un maximum à 18,3°C. En période de production, l'augmentation de température observée au niveau de l'échangeur coté introduction est en moyenne de 9°C (réchauffage de l'air neuf par la roue). Sur la période globale des mesures, la consommation en électricité est de 60 000 kWh, soit en moyenne 750 kWh/jour, dont environ 55 % sont dus au ventilateur d'introduction de l'air dans le local. Qu'en est-il du bilan énergétique? L'évolution de l'énergie récupérée et restituée par l'échangeur à l'air entrant par rapport à l'énergie globale nécessaire pour assurer le conditionnement de l'air neuf à la bonne température est donnée sur la Figure 5.

Sur la période des mesures, l'énergie prélevée par l'échangeur sur l'air extrait est d'environ 25 900 kWh tandis que celle restituée à l'air neuf est de 22 400 kWh. En outre, 17 500 kWh supplémentaires sont nécessaires pour un conditionnement correct de l'air introduit dans le local. L'efficacité énergétique du récupérateur est donnée par le rapport entre l'énergie restituée du point de vue thermique coté introduction et la consommation globale en énergie nécessaire pour assurer un conditionnement correct de l'air entrant dans l'atelier.

L'efficacité énergétique de l'installation calculée sur le même principe, prend en compte toutes les énergies nécessaires pour assurer, en plus du conditionnement de l'air, le fonctionnement de l'installation. Sur la période des mesures, le rendement du récupérateur est supérieur à 85%, et son efficacité énergétique est supérieure à 55%. Ces valeurs sont obtenues pour des débits de ventilation de l'ordre de 27 500 m<sup>3</sup>/h en extraction et de 7 500 m<sup>3</sup>/h en air neuf. Par contre, en partant d'une consommation énergétique proche de 60 000 kWh sur la période des mesures, l'efficacité de l'installation est inférieure à 25%.

Sur la base d'une émission de 0,065 kg de carbone pour 1 kWh d'énergie obtenue par la combustion de gaz naturel en France, le récupérateur de chaleur a permis de réduire les émissions de carbone de près de 1 455 kg sur la période des mesures considérée, soit plus de 18 kg de carbone par jour. En supposant un maintien des performances du récupérateur et un débit en air neuf extérieur transitant au travers de la roue au moins égal au

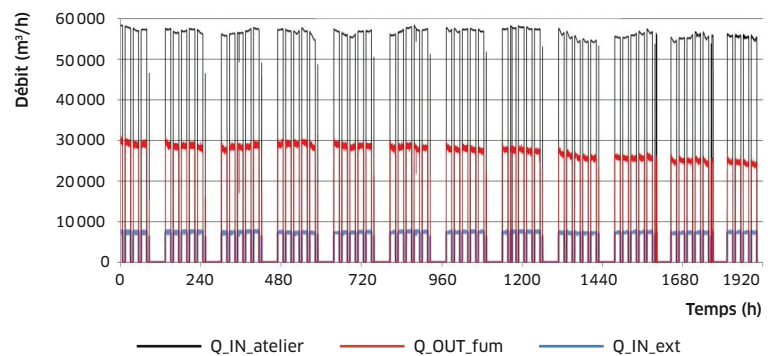
## POUR EN SAVOIR +

- Note technique « Récupération d'énergie: évaluation d'un échangeur à batteries et à circulation d'un mélange eau-glycol », HST n°234, janvier-février-mars 2014
- Note technique « Récupération d'énergie: évaluation d'un échangeur à plaques », HST n°235, avril-mai-juin 2014

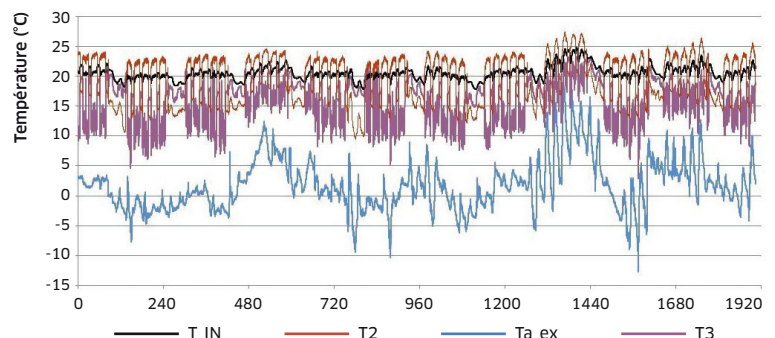
débit extrait, l'énergie restituée durant la période d'observation côté introduction est estimée à 82 000 kWh. Le conditionnement additionnel pour l'air neuf, quant à lui, est évalué à 64 000 kWh. Dans ces conditions, l'efficacité énergétique de l'installation est proche de 66%.

L'évaluation de l'installation dépend également de l'investissement réalisé. Malheureusement, celui-ci, datant de 1997, n'est pas connu. Le bureau d'étude en charge du suivi des installations de ventilation et d'économie d'énergie du site a chiffré la partie récupération de la centrale à un montant compris entre 50 000 et 60 000 €, valeur actualisée pour l'année 2013. Sur la base d'un débit de ventilation en air neuf de 7 500 m<sup>3</sup>/h pendant les périodes d'occupation et en tenant compte de l'évolution des températures extérieures sur une année complète, l'échangeur permet de récupérer annuellement environ 59 000 kWh, soient près de 215 kWh par jour hors période d'été.

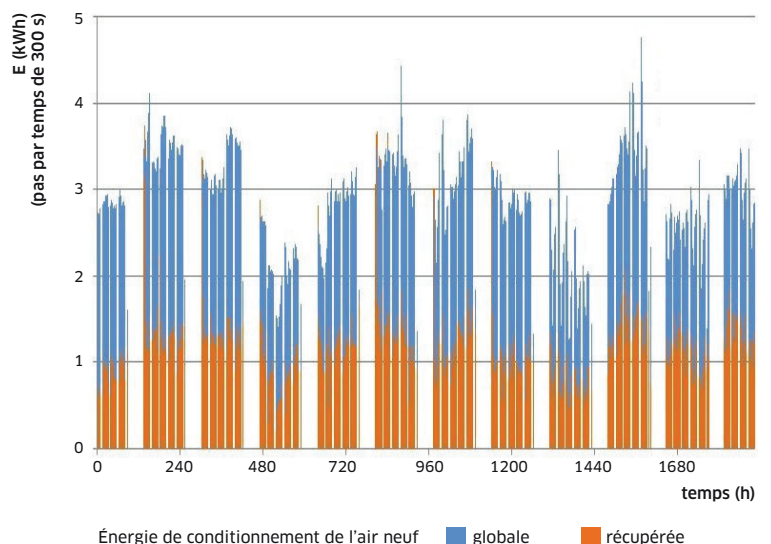
Considérant un tarif énergétique de 0,0834 € du kWh, équivalent au coût moyen réglé par l'exploitant en 2012, les économies sont de l'ordre de



↑ FIGURE 3 Évolution des débits en fonction du temps



↑ FIGURE 4 Évolution des températures en fonction du temps



↑ FIGURE 5 Air neuf - évolution des énergies en fonction du temps

5 000 € par an. Pour ce cas et dans les conditions défavorables de fonctionnement observées, le retour sur investissement est de 10 ans minimum. Avec un débit en air neuf équivalent au débit extrait, le gain énergétique serait supérieur à 780 kWh/jour hors été, ce qui permettrait des économies annuelles de l'ordre de 18 000 € et un retour sur investissement inférieur à 4 ans. ●

1. Sur cette période d'observation, la centrale de traitement de l'air a effectivement fonctionné pendant 963 heures.