

Ventilation, chauffage, climatisation et sobriété énergétique

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS)

pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée en 1947 sous l'égide de la Caisse nationale d'assurance maladie, administrée par un Conseil paritaire (employeurs et salariés). De l'acquisition de connaissances jusqu'à leur diffusion, en passant par leur transformation en solutions pratiques, l'Institut met à profit ses ressources pluridisciplinaires pour diffuser une culture de prévention dans les entreprises et proposer des outils adaptés à la diversité des risques professionnels à tous ceux qui, en entreprise, sont chargés de la prévention : chef d'entreprise, services de prévention et de santé au travail, instances représentatives du personnel, salariés...

Toutes les publications de l'INRS sont disponibles en téléchargement sur le site de l'INRS : www.inrs.fr

Les caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (Carsat), la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) et les caisses générales de sécurité sociale (CGSS) de l'Assurance maladie - Risques professionnels,

disposent, pour participer à la diminution des risques professionnels dans leur région, d'un service Prévention composé notamment d'ingénieurs-conseils et de contrôleurs de sécurité. Spécifiquement formés aux disciplines de la prévention des risques professionnels et s'appuyant sur l'expérience quotidienne de l'entreprise, ces professionnels sont en mesure de conseiller et, sous certaines conditions, de soutenir les acteurs de l'entreprise (direction, médecin du travail, instances représentatives du personnel, etc.) dans la mise en œuvre des démarches et outils de prévention les mieux adaptés à chaque situation.

Les caisses assurent aussi la diffusion des publications éditées par l'INRS auprès des entreprises.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'INRS, de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite. Il en est de même pour la traduction, l'adaptation ou la transformation, l'arrangement ou la reproduction, par un art ou un procédé quelconque (article L. 122-4 du code de la propriété intellectuelle). La violation des droits d'auteur constitue une contrefaçon punie d'un emprisonnement de trois ans et d'une amende de 300 000 euros (article L. 335-2 et suivants du code de la propriété intellectuelle).

© INRS, 2024.

Édition : Katia Bourdelet

Conception graphique : Eva Minem

Mise en pages : Valérie Latchague Causse

Guide pratique de ventilation

Ventilation, chauffage, climatisation et sobriété énergétique

ED 6543 |
novembre 2024

Brochure élaborée par B. Courtois (INRS),
R. Guichard (INRS) et R. Woehrly (Carsat Nord-Est)

Sommaire

Introduction	3
1 Évaluation des consommations d'énergie et optimisation du fonctionnement existant	4
2 Amélioration des procédés et du système de ventilation	5
3 Pilotage des installations	7
3.1 Locaux à pollution non spécifique	7
3.2 Locaux à pollution spécifique	8
4 Récupération d'énergie	9
4.1 Locaux à pollution non spécifique	9
4.2 Locaux à pollution spécifique	9
5 Recyclage de l'air	11
Bibliographie	14
Annexe. Technologies d'échangeur de chaleur	15



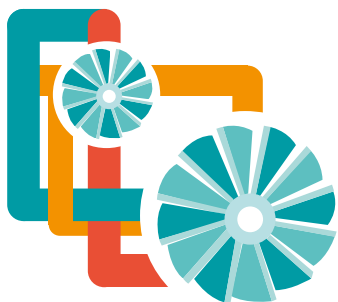
Introduction

Le ministère chargé de la Transition énergétique a mis en place un plan de sobriété énergétique visant à réduire de 10 % la consommation d'énergie en France entre 2022 et 2024, et de 40 % entre 2022 et 2050. Si cette action s'inscrit dans la durée en accord avec le 4^e plan national santé-environnement (PNSE 4), sa nécessité se voit renforcée par les crises énergétiques actuelles. Le 4^e plan santé travail (PST 4) incite les différentes parties prenantes à faire converger les efforts de prévention des risques professionnels et environnementaux. En d'autres termes, il s'agit d'encourager le développement d'une approche partagée de la santé au travail, de la santé publique et de l'environnement. Même si les grandes lignes sont établies par le gouvernement, chaque entreprise doit établir son propre plan de sobriété, sans réduire sa production.

Il est nécessaire que les actions engagées par les entreprises ne s'effectuent pas au détriment de la protection de la santé des travailleurs (dégradation, par exemple, de la qualité de l'air intérieur ou du confort thermique). Toute action visant à réduire la consommation d'énergie dans l'entreprise doit être évaluée en tenant compte de ses effets potentiels sur la santé et la sécurité des salariés avec, le cas échéant, une mise à jour de l'évaluation des risques.

La ventilation, qu'elle soit destinée au renouvellement de l'air des bâtiments ou au captage à la source d'agents chimiques et biologiques émis, entraîne une dépense d'énergie significative. Celle-ci est due à la consommation électrique des moteurs des ventilateurs et, surtout, aux besoins de chauffage ou de climatisation nécessaires pour conditionner l'air introduit en compensation de l'air rejeté à l'extérieur.

Ce document propose une démarche par étapes successives permettant de réduire les consommations d'énergie provenant de la ventilation et du conditionnement de l'air (chauffage et climatisation), tout en préservant la santé et le confort thermique des salariés ainsi que la maîtrise des rejets de polluants vers l'extérieur.

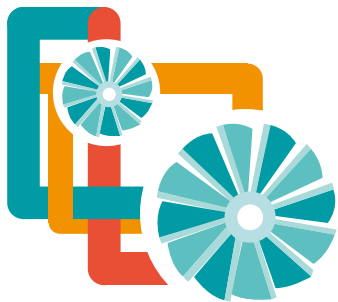


1. Évaluation des consommations d'énergie et optimisation du fonctionnement existant

La première étape consiste à recenser les sources de consommation d'énergie et à réaliser un bilan énergétique de l'ensemble du site de l'entreprise, afin d'identifier les équipements, les procédés et les bâtiments les plus énergivores. Il s'agit d'un préalable à un plan d'actions pertinent, qui permettra à l'entreprise de définir les points de consommation d'énergie où le potentiel de réduction est le plus grand. Par exemple, un établissement qui met en évidence que ses consommations sont majoritairement dues au chauffage de ses locaux agira en priorité sur ce poste.

Il est ensuite nécessaire de vérifier que les consignes des systèmes de ventilation-chauffage-climatisation (températures, débits d'air...) correspondent bien à un fonctionnement optimal, c'est-à-dire une consommation d'énergie la plus faible possible qui assure le confort et la sécurité du personnel. Il ne s'agit donc pas de réduire le confort thermique des occupants ou de dégrader le renouvellement de l'air, mais de s'assurer, par exemple, que la chaleur ressentie au sein des locaux ne soit pas trop élevée lorsque la température extérieure est basse, ou inversement (surchauffage en période hivernale ou refroidissement inconfortable en été). Un suivi des paramètres ambiants est nécessaire pour optimiser le fonctionnement du système de ventilation-chauffage-climatisation.

L'entretien des systèmes de ventilation est également essentiel car les filtres colmatés des ventilateurs encrassés entraîneront une consommation d'énergie plus élevée. L'entreprise doit disposer d'un dossier d'installation de ventilation, qui contient notamment les recommandations de maintenance et les valeurs de référence nécessaires au fonctionnement optimal de l'installation (voir le document ED 6008 dans *Pour en savoir plus*).



2. Amélioration des procédés et du système de ventilation

■ L'élimination ou la réduction des sources d'émission de polluants dans l'air permet de limiter le recours aux solutions de ventilation (captage à la source, ventilation générale, épuration de l'air...), consommatrices d'énergie et coûteuses en investissement et en maintenance.

Cela nécessite tout d'abord de remplacer les produits dangereux par d'autres qui ne le sont pas ou le sont moins, puis d'agir sur les procédés. L'action sur les procédés émissifs consiste à modifier les paramètres opératoires de manière à limiter la formation de polluants et leur émission dans l'air. Il est enfin possible de remplacer, dans certains cas, le procédé existant par un procédé moins émissif.

Lorsque la modification d'un procédé est inefficace ou inenvisageable, le travail en système clos et la mise en place d'un dispositif de captage et de piégeage des polluants intégré au procédé ou à la machine doivent être étudiés.

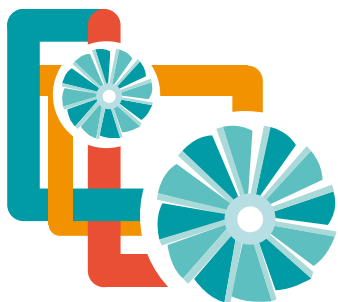
Un travail sur le design et le positionnement des dispositifs de captage à la source permet d'améliorer leur efficacité et de réduire ainsi les débits d'air à mettre en œuvre à efficacité constante, par exemple en utilisant des hottes plus enveloppantes.

De même, une limitation des pertes de charge du réseau (en évitant les filtres sous-dimensionnés et donc rapidement encrassés, les coudes inutiles, les changements brusques de diamètres...) entraînera, pour un même débit de fonctionnement, une diminution de la puissance consommée par les ventilateurs. Cette solution présente également l'avantage de réduire le bruit généré par les systèmes de ventilation.

Concernant la compensation d'air, lorsque les procédés n'imposent pas de contraintes en termes de température ou d'hygrométrie et que les salariés ne sont pas à proximité, il est possible d'apporter de l'air non conditionné dans un encoffrement ou à proximité de la zone de captage. Dans ce dernier cas, l'air sera en grande partie évacué vers l'extérieur et ne dégradera pas le confort thermique des occupants.

Dans certaines situations, le mode de diffusion de l'air à l'intérieur des locaux peut être adapté pour répondre aux besoins de prévention des risques tout en minimisant l'énergie requise (ventilation par déplacement¹ plutôt que par mélange).

1. La ventilation par déplacement consiste à créer un mouvement en général ascendant de l'air d'un local permettant de réduire le mélange de l'air neuf introduit avec l'air ambiant. Les débits d'air neuf peuvent ainsi être plus faibles que dans le cas d'une ventilation par mélange, ce qui permet une diminution de la consommation d'énergie.



3. Pilotage des installations

3.1 Locaux à pollution non spécifique

Le pilotage des installations de ventilation permet d'ajuster les apports d'air neuf selon l'occupation réelle d'un bâtiment dans les locaux à pollution non spécifique (par exemple, les locaux tertiaires comme les bureaux, salles de réunion et de formation).

Le pilotage par programmation ou d'après une information issue de capteurs filaires ou connectés, telle que la mesure du taux de dioxyde de carbone (CO₂) provenant de la respiration des occupants [1-2], permet d'optimiser à faible coût le fonctionnement des installations [3]. Les besoins en renouvellement de l'air des locaux pour une entreprise pratiquant des horaires de bureaux peuvent ainsi être divisés par quatre grâce à la ventilation modulée (environ 42 heures de fonctionnement par semaine au débit nominal, au lieu de 168 heures). Concernant le chauffage et la climatisation, le conditionnement thermique de l'air doit être anticipé bien avant l'arrivée du personnel, la durée étant définie en fonction de la température extérieure et de l'inertie des locaux. Des systèmes intelligents peuvent aujourd'hui apprendre la réponse des bâtiments de façon à anticiper suffisamment le démarrage des installations.

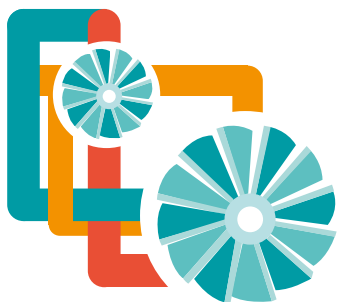
Il convient de vérifier périodiquement le bon fonctionnement de ces dispositifs de régulation et de réaliser un suivi énergétique des installations pour détecter les dérives et déclencher des maintenances prédictives. Il est donc important que le personnel exploitant soit formé afin d'avoir une bonne connaissance technique des installations, de leur suivi et de leur maintenance.

3.2 Locaux à pollution spécifique

Dans les locaux à pollution spécifique (tels que les locaux industriels ou tout local de travail incluant des procédés émettant des polluants), le pilotage des installations de ventilation permet aussi d'ajuster la consommation d'air des dispositifs de captage des polluants selon le fonctionnement des procédés.

La mise sur le marché de capteurs fiables et accessibles du point de vue de leur utilisation et de leur coût permet, à ce jour, de réaliser en différents points de l'espace un suivi continu (ou périodique) de paramètres, tels que la température, la concentration en dioxyde de carbone (CO₂), la concentration en certains gaz dangereux (CO, NH₃, H₂S...) . . . Le choix et l'utilisation de ces capteurs nécessitent cependant de grandes précautions et l'étalonnage doit être fait régulièrement [4]. Au-delà de transmettre des données utiles à la prévention de l'exposition aux agents chimiques dangereux, la mesure en continu permet également une réduction potentiellement importante des consommations énergétiques, en modulant la ventilation selon les besoins.

Ainsi, les systèmes de captage à la source peuvent être démarrés uniquement quand la machine, le procédé ou les enceintes ventilées (sorbonnes de laboratoire, par exemple) sont utilisés, avec un arrêt temporisé après utilisation. Le réseau de ventilation doit être conçu pour permettre le transport des polluants, quel que soit le nombre de procédés mis en œuvre simultanément, en particulier dans le cas des poussières. Des automates permettent aujourd'hui de piloter le captage en fonction de l'utilisation des équipements sans nécessiter d'intervention des opérateurs sur la ventilation. La connaissance technique des installations et leur contrôle périodique sont, là encore, indispensables.



4. Récupération d'énergie

4.1 Locaux à pollution non spécifique

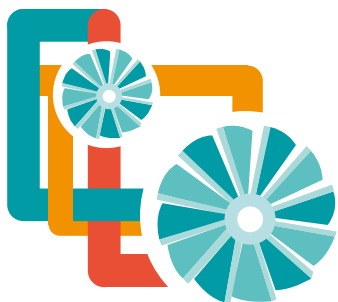
Dans les locaux à pollution non spécifique, les calories évacuées à l'extérieur avec l'air de ventilation peuvent être en grande partie récupérées à l'aide d'échangeurs de chaleur. De tels systèmes sont aujourd'hui couramment mis en œuvre sur les réseaux de ventilation générale ; on parle de ventilation « double flux ». Ils nécessitent une bonne étanchéité du local ainsi qu'un entretien régulier qui est décrit dans le dossier d'installation de ventilation.

4.2 Locaux à pollution spécifique

Dans les locaux à pollution spécifique, des échangeurs de chaleur peuvent également être mis en œuvre pour récupérer les calories de l'air issu du captage à la source de polluants. Chaque situation nécessite une étude afin de déterminer la meilleure solution à mettre en œuvre. Différentes technologies d'échangeurs sont disponibles en fonction des flux thermiques mis en jeu et des propriétés physico-chimiques des effluents captés (voir annexe). Il est à noter que le rendement de la récupération d'énergie est amélioré si la différence de température entre l'air rejeté et l'extérieur est importante. Lorsque la technologie d'échangeur est adaptée, une forte humidité de l'air rejeté permet d'augmenter le rendement grâce à la condensation d'une partie de la vapeur d'eau.

Dans les locaux ayant une grande hauteur sous plafond, l'utilisation de déstratificateurs permet d'envoyer vers le bas l'air chaud qui s'accumule en partie haute pour obtenir des températures plus homogènes. Toutefois, l'utilisation de tels dispositifs n'est recommandée que si les sources de chaleur ne sont pas associées à des sources de polluants (les ventilateurs rabattraient les polluants en même temps que la chaleur vers les salariés) et s'ils ne perturbent pas les systèmes de captage en générant des vitesses d'air trop élevées. La mise en œuvre de faux plafonds, de cloisonnements ou de sas peut également, dans certains cas, réduire le volume à conditionner et limiter ainsi les déperditions thermiques.

Pour réduire la consommation d'énergie du chauffage, une autre possibilité consiste à exploiter une pompe à chaleur permettant de récupérer les calories du sol (géothermie) ou de l'air extérieur (aérothermie). Certains systèmes sont réversibles, permettant également le refroidissement de l'air. Une pompe à chaleur peut aussi être utilisée pour récupérer les calories de l'air rejeté par la ventilation avec un meilleur rendement qu'un simple échangeur de chaleur.



5. Recyclage de l'air

Le recyclage de l'air est un dernier recours et à utiliser avec prudence.

Il consiste à épurer l'air capté avant de le réintroduire au sein du même local ou d'un autre local à proximité. Cela permet de limiter fortement les déperditions de chaleur dues au renouvellement de l'air, avec un investissement généralement moindre qu'un échangeur thermique, mais avec des contraintes strictes d'utilisation. Des exigences listées dans la réglementation sont en effet requises pour assurer la bonne protection des salariés et son maintien dans le temps (voir encadré). Des apports d'air neuf restent également nécessaires pour diluer et évacuer les polluants émis par les personnes (dioxyde de carbone, vapeur d'eau...), par les bâtiments (composés organiques volatils et éventuellement radon), ainsi que les agents chimiques dangereux non captés.

L'épuration de l'air avant recyclage dépend des polluants présents et de leur état physique :

- Pour les aérosols solides, il existe des filtres à haute efficacité qui conservent leurs performances lorsqu'ils se colmatent mais voient leur perte de charge augmenter. Dans le cas des aérosols liquides, il peut y avoir des relargages lorsque le filtre est saturé. La perte de charge peut facilement être mesurée en continu pour déterminer le moment où les filtres doivent être remplacés.
- Pour les gaz et vapeurs, bien que des systèmes d'épuration existent en particulier par adsorption, la très forte variabilité d'efficacité et de durée d'utilisation en fonction des polluants présents et des adsorbants est telle que le recyclage est en général fortement déconseillé. L'épuration en vue du recyclage peut être pratiquée uniquement dans les conditions décrites par la réglementation (voir encadré), impliquant notamment que la composition et les concentrations en polluants soient parfaitement déterminées et qu'un système d'épuration ait été validé pour ces conditions.

- Pour certains aérosols, les particules peuvent être associées à des vapeurs. C'est notamment le cas des poussières de bois qui sont associées à des composés organiques volatils comme le formaldéhyde, ainsi que des aérosols de fluides de coupe qui sont généralement des aérosols semi-volatils. Dans le cas des aérosols semi-volatils constitués à la fois d'une fraction solide et d'une fraction gazeuse, l'épuration est encore plus difficile à maîtriser, générant un risque accru de relargage des polluants dans l'atmosphère de travail.

■ Qu'impose la réglementation pour le recyclage ?

Les conditions que doivent respecter les installations de recyclage sont fixées par les articles R. 4222-14 à R. 4222-17 du Code du travail.

L'air provenant d'un local à pollution spécifique ne peut être recyclé que s'il est efficacement épuré pour tous les polluants émis. Il ne peut être envoyé après recyclage dans d'autres locaux que si la pollution de tous les locaux concernés est de même nature. En cas de recyclage, les concentrations de polluants dans l'atmosphère du local doivent demeurer inférieures aux valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires contraignantes ou indicatives.

Les installations de recyclage comportent un système de surveillance permettant de déceler les défauts des dispositifs d'épuration. En cas de défaut, les mesures nécessaires sont prises par l'employeur pour maintenir le respect des valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires contraignantes en arrêtant le recyclage, le cas échéant. En cas de recyclage de l'air, les conditions du recyclage sont portées à la connaissance du médecin du travail, des membres du CSE ou, à défaut, des délégués du personnel. Ces personnes sont également consultées pour toute nouvelle installation ou toute modification des conditions de recyclage.

L'arrêté du 8 octobre 1987 modifié relatif au contrôle périodique des installations d'aération et d'assainissement des locaux de travail définit le contenu du dossier d'installation et les contrôles périodiques à effectuer.





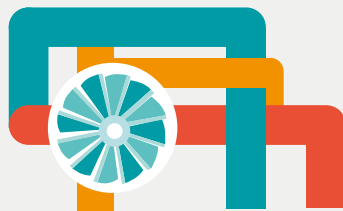
Dans le cas d'une installation avec recyclage, le dossier des valeurs de référence doit comporter en sus des informations prévues pour toute installation de ventilation :

- le débit d'air neuf introduit dans les locaux,
- l'efficacité minimale des systèmes d'épuration et, dans le cas de poussières, l'efficacité par tranches granulométriques. Ces indications sont celles fournies par les constructeurs ou par des mesures initiales,
- la concentration en poussières sans effet spécifique ou en autres polluants en différents points caractéristiques de la pollution dans l'atelier et dans les gaines de recyclage ou à leur sortie dans un écoulement canalisé,
- le système de surveillance mis en œuvre et les moyens de contrôle de ces systèmes.

Dans le cas d'une installation avec recyclage, en sus des contrôles annuels prévus pour toute installation de ventilation, les contrôles suivants doivent être effectués au moins tous les 6 mois et les résultats de ceux-ci doivent être portés sur le dossier de maintenance :

- la concentration en poussières sans effet spécifique ou en autres polluants en différents points caractéristiques de la pollution dans l'atelier et dans les gaines de recyclage ou à leur sortie dans un écoulement canalisé,
- tous les systèmes de surveillance mis en œuvre.

Bibliographie



Références

[1] Améliorer la ventilation des locaux de travail du tertiaire, pendant et après la pandémie de Covid-19. NT 92, INRS

[2] Mesure en temps réel du dioxyde de carbone dans les espaces de travail. NT 96, INRS

[3] Guide pratique de modulation des débits de ventilation. Cetiat

[4] Détection fixe de gaz et de vapeurs pour l'industrie. ED 6271, INRS

Pour en savoir plus

Documents INRS

- Récupération d'énergie : évaluation d'un échangeur à batteries et à circulation d'un mélange eau-glycol. NT 11
- Récupération d'énergie : évaluation d'un échangeur à plaques. NT 12
- Récupération d'énergie : évaluation d'un échangeur rotatif. NT 17
- Récupération d'énergie : performances d'une installation de chauffage et de ventilation dans une menuiserie. NT 30
- Principes généraux de ventilation. ED 695
- L'assainissement de l'air des locaux de travail. ED 657
- Aération et assainissement, aide-mémoire juridique. TJ 5
- Le dossier d'installation de ventilation. ED 6008
- Qualité de l'air intérieur. Dossier Web

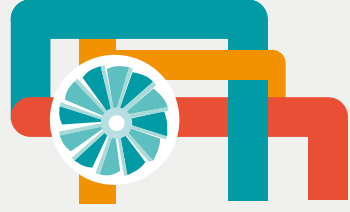
Autres sources

www.ventilation-industrie.fr

www.batiment-ventilation.fr

Annexe

Technologies d'échangeur de chaleur

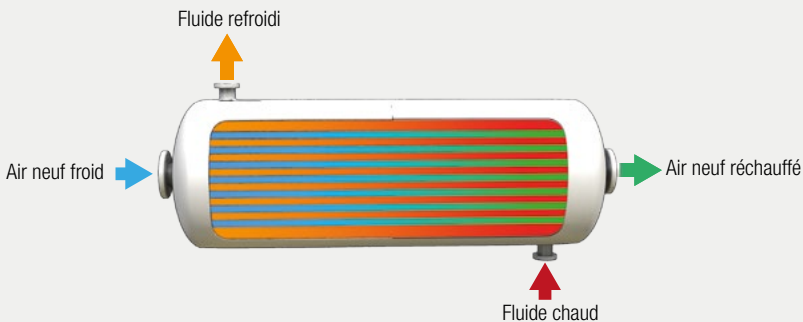


Un échangeur de chaleur est un système permettant de transférer de l'énergie thermique d'un fluide vers un autre, sans les mélanger. Il met en œuvre un fluide chaud et un fluide froid, séparés par une paroi qui va constituer la surface d'échange. Celle-ci doit être choisie selon les propriétés physico-chimiques des fluides et favoriser le transfert énergétique. Certaines optimisations permettent d'agrandir la surface d'échange afin d'augmenter les performances des appareils. Il existe de nombreuses technologies d'échangeur : quelques grandes familles sont présentées ci-dessous.

Échangeur tubulaire

Dans sa version la plus simple (échangeur coaxial), l'échangeur tubulaire représente le principe de base d'un échangeur thermique : le fluide primaire circule dans un tube positionné à l'intérieur d'un élément de diamètre supérieur dans lequel circule le fluide secondaire. Ce type d'équipement est notamment utilisé dans les chaudières (serpentin circulant dans un ballon d'eau).

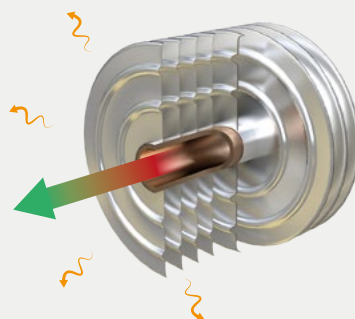
Les versions optimisées de cette technologie augmentent la surface d'échange en multipliant le nombre de canaux (échangeurs multitubulaires) et leur longueur ou le nombre de passes des fluides (échangeurs tubes et calandres).



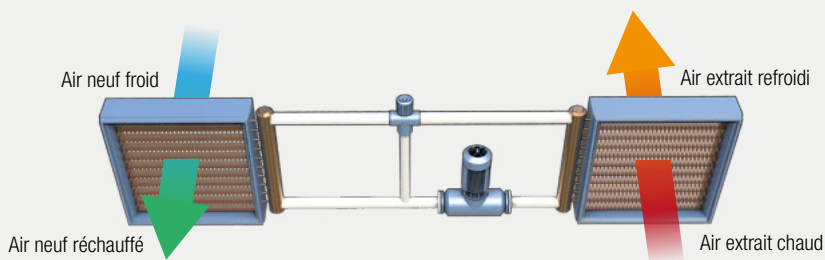
D'autres échangeurs moins encombrants proposent des performances thermiques supérieures. Cette famille d'échangeurs reste néanmoins robuste et peut être utilisée dans des applications plus contraignantes (pression élevée, écart de température important...).

Échangeur à tubes à ailettes

Ce type d'appareils est une version spécifique des échangeurs tubulaires très utilisés dans le domaine air/liquide. Un liquide circule dans un tube équipé d'ailettes qui permettent d'augmenter la surface d'échange. Le gaz (généralement de l'air) circule le long du tube et entre les ailettes permettant l'échange thermique.



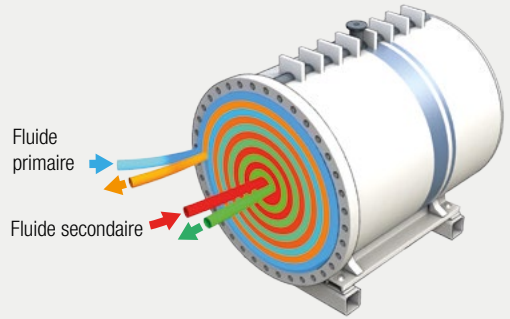
Les boucles d'eau glycolée (voir schéma), fréquemment rencontrées sur les systèmes de ventilation générale, intègrent généralement des batteries de tubes à ailettes. Ce principe de fonctionnement, qui permet une récupération énergétique sur une source éloignée, induit généralement des rendements plus faibles car il implique la présence de deux échangeurs.



Échangeur spiralé

Deux plaques de métal enroulées de façon concentrique forment des canaux de circulation uniques pour chaque fluide. L'espacement défini en fonction du débit est obtenu par des taquets soudés sur les plaques. La présence des taquets permet de maintenir un écoulement turbulent dans le canal qui voit passer la totalité du fluide, favorisant ainsi les échanges thermiques.

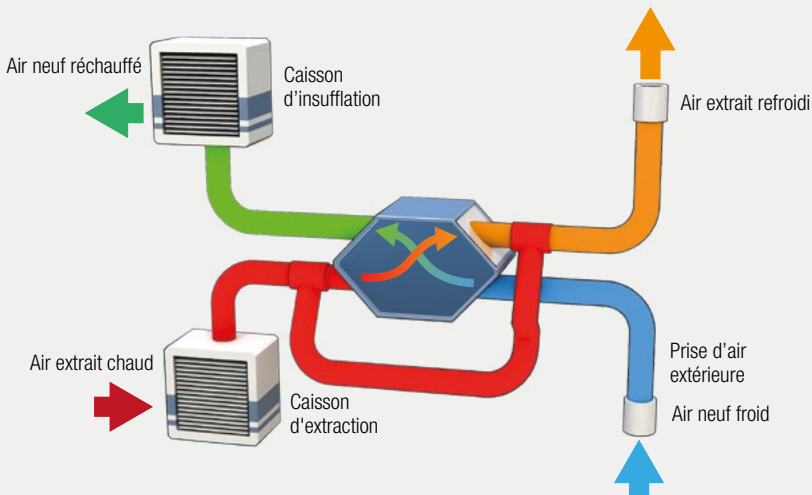
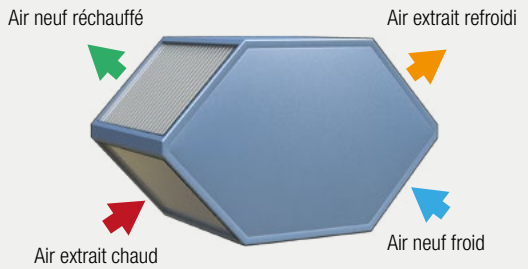
Cette conception offre une bonne compacité et a l'avantage de limiter l'encrassement. Bien que ses performances soient inférieures à d'autres technologies, elle permet néanmoins la mise en œuvre de produits chargés ou visqueux.



Échangeur à plaques

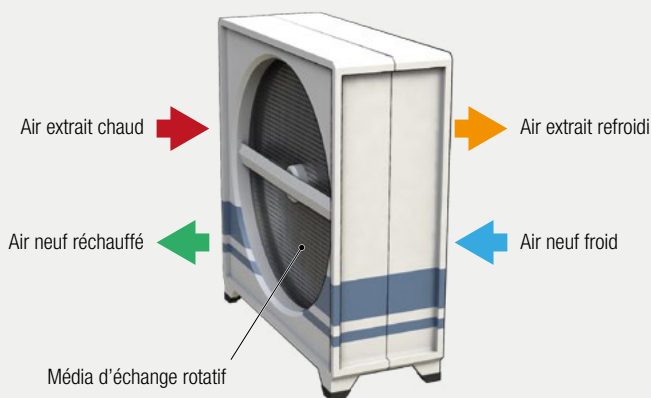
Les fluides sont distribués à travers un paquet de plaques installées parallèlement. Des joints ou des soudures permettent d'alterner les canaux chauds et froids. Cette catégorie d'appareils compacts et modulables est utilisable pour de nombreuses applications liquides et/ou gazeuses. Les performances obtenues sont élevées, les appareils sont de taille réduite et les investissements moins importants. Les échangeurs à plaques sont souvent utilisés dans les centrales de traitement d'air (CTA).

Leur mise en œuvre doit cependant faire l'objet d'une étude soignée. Plus fragiles que d'autres technologies (sujet à l'encrassement, gamme de pression et écarts de température plus faibles...), ils génèrent des pertes de charges plus élevées que d'autres systèmes. Ces caractéristiques doivent conduire à adapter le reste de l'installation.



Échangeur rotatif

Une roue constituée d'un maillage caloporteur est mise en rotation. Le passage de l'air chaud chauffe le maillage. Les calories emmagasinées sont recédées au contact de l'air frais. Les performances de cette technologie, destinée aux gaz et également utilisée dans les CTA, sont élevées et le dimensionnement des appareils est compact. Les pertes de charges sont moindres que pour un échangeur à plaques.



La roue motorisée doit être alimentée en énergie et tourner en continu pour éviter l'encrassement. Il existe également un débit de fuite (gaz extrait piégé dans le maillage pendant la rotation de la roue) pouvant aller jusqu'à 5 % du débit mis en œuvre.

Autres technologies

D'autres familles d'équipements destinés à des applications spécifiques existent, notamment :

- les échangeurs en plastique destinés aux produits corrosifs,
- les échangeurs « cycloniques » incluant un étage de filtration souvent destiné aux fumées/vapeurs de cuisson,
- les économiseurs/condenseurs utilisés dans les chaudières à condensation permettant un préchauffage du fluide froid circulant en circuit fermé par condensation des fumées de combustion.

Toutes les publications de l'INRS sont téléchargeables sur ■
www.inrs.fr

Pour commander les publications de l'INRS au format papier ■

Les entreprises du régime général de la Sécurité sociale peuvent se procurer les publications de l'INRS à titre gratuit auprès des services prévention des Carsat/Cramif/CGSS. Retrouvez leurs coordonnées sur www.inrs.fr/reseau-am

L'INRS propose un service de commande en ligne pour les publications et affiches, payant au-delà de deux documents par commande.

Les entreprises hors régime général de la Sécurité sociale peuvent acheter directement les publications auprès de l'INRS en s'adressant au service diffusion par mail à service.diffusion@inrs.fr

La ventilation, qu'elle soit destinée au renouvellement de l'air des bâtiments ou au captage à la source d'agents chimiques ou biologiques émis, entraîne une dépense significative d'énergie. Celle-ci provient notamment des besoins de chauffage ou de climatisation nécessaires pour conditionner l'air introduit en compensation de l'air rejeté à l'extérieur.

Ce document propose une démarche par étapes permettant de réduire cette consommation, tout en préservant la santé et le confort thermique des salariés.



Institut national de recherche et de sécurité
pour la prévention des accidents du travail
et des maladies professionnelles
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
Tél. 01 40 44 30 00 • info@inrs.fr

Édition INRS ED 6543

1^{re} édition | novembre 2024 | 1000 ex. | ISBN 978-2-7389-2937-2

L'INRS est financé par la Sécurité sociale
Assurance maladie / Risques professionnels

www.inrs.fr

