

Ventilation

Les cinq critères d'une ventilation efficiente

- **Faible résistance:** Des conduits d'air courts, gros, les plus circulaires et les plus étanches possible, sans résistance inutile due à des étranglements, sans variations de forme ni de section, sans échangeur de chaleur, etc.
- **Faible quantité d'air:** Détermination précise du débit volumique d'air requis, ou du froid/de la chaleur et de l'humidité, exploitation en fonction du besoin (programmation, pas d'exploitation inutilement).
- Un **besoin variable** nécessite un débit volumique variable et un entraînement réglable.
- **Exploitation efficiente** de tous les éléments du ventilateur dans la plage du rendement optimal.
- **Moteur plus efficient** à entraînement direct, sans transmission et sans démultiplicateur.



Le 30 mars 2011, l'UE a publié la directive 327/2011, qui définit des exigences en termes de rendement des ventilateurs. [1] Elle détermine des rendements minimums pour les ventilateurs dans la plage de puissance de 0.12 à 500 kW. L'élément déterminant est la puissance électrique absorbée du moteur d'entraînement au point de fonctionnement optimal du ventilateur. La directive UE indique en annexe les meilleures valeurs de rendement pouvant aujourd'hui être atteintes selon le type de ventilateur utilisé (tableau 1).

Type de ventilateur	Système de mesure*	Catégorie de mesure	Niveau de rendement	
			1 kW	10 kW
Ventilateur axial	A, C	statique	58.7%	65%
	B, D	total	68.7%	75%
Ventilateur centrifuge à aubes inclinées vers l'avant ou à extrémité radiale	A, C	statique	55.7%	62%
	B, D	total	58.7%	65%
Ventilateur centrifuge à aubes inclinées vers l'arrière sans logement	A, C	statique	59.5%	70%
Ventilateur centrifuge à aubes inclinées vers l'arrière avec logement	A, C	statique	61.5%	72%
	B, D	total	64.5%	75%
Ventilateur hélico-centrifuge (forme mixte du ventilateur axial et du ventilateur centrifuge)	A, C	statique	50.5%	61%
	B, D	total	54.5%	65%
Ventilateur tangentiel	B, D	total	29.4%	32%

Tableau 1: Valeurs optimales pour les rendements des différents types de ventilateur conformément au Règlement UE 327/2011, Annexe IV, Tableau 1.

- *A: Aspiration libre, soufflerie libre
- B: Aspiration libre, canal côté pression
- C: Canal côté aspiration, soufflerie libre
- D: Canal côté aspiration, canal côté pression

Introduction

Objectif et public cible

Cette fiche technique traite de la ventilation mécanique à l'aide de ventilateurs, et a pour but de contribuer à réduire la consommation électrique qui en découle. Les ventilateurs sont des machines à écoulement qui, à l'aide d'un rotor, transportent un fluide gazeux. Pour ce faire, ils ont besoin d'un moteur électrique, souvent d'une transmission et d'un multiplicateur, parfois également d'un convertisseur de fréquence pour la régulation du régime. L'optimisation de l'ensemble du système de ventilation doit s'effectuer aussi bien dans les installations nouvelles que dans les installations existantes.

Les principes de cette fiche technique s'appliquent à tous les systèmes de ventilation. Cependant, son contenu s'oriente vers les systèmes de ventilation de taille moyenne et grande, présentant des débits volumiques supérieurs à 1 000 m³/h. Le principal domaine d'application regroupe les installations moyennes et grandes destinées à de grands bâtiments d'habitation et de services, ainsi que les installations de ventilation industrielles.

Ce document ne traite pas des installations d'aération douce (p. ex. pour les maisons familiales), des ventilateurs de cuisine et d'extraction d'air des WC, ni des très grandes installations (p. ex. pour les tunnels). Le traitement de l'air pour la climatisation ambiante (chauffage, refroidissement, humidification et déshumidifications) ne fait pas explicitement l'objet de cette fiche technique.

Le public cible comprend en premier lieu les constructeurs d'installations de ventilation, les planificateurs, les techniciens et les ingénieurs en technique du bâtiment. Sont également concernés tous les commanditaires du service «Ventilation»: Il convient, notamment chez les architectes, d'apporter la compétence de coordination et de prestation préliminaire requise et chez les maîtres d'ouvrage, d'apporter la compétence de commanditaire nécessaire.

Consommation d'énergie

La consommation électrique des ventilateurs en Suisse s'élève au total à env. 7 500 GW h/an, ce qui représente 12.5% de la consommation totale. La majeure partie revient à l'industrie.

Une étude menée dans cinq exploitations industrielles de Suisse, comptant au total 1 500 entraînements électriques (Easy 2012), montre l'importance des ventilateurs: 26% de la consommation électrique totale est imputable à ces consommateurs (illustration 2). Dans ces exploitations, les ventilateurs sont intégrés dans des souffleries pour des matières à grain fin, dans des ventilations ambiantes et dans des systèmes de chauffage et de refroidissement. Les 500 ventilateurs étudiés présentent une puissance nominale moyenne de 13 kW, fonctionnent en moyenne 5 400 heures par an et sont âgés de 15 ans en moyenne. Seuls 20% d'entre eux sont équipés d'un convertisseur de fréquence pour la régulation du régime et ainsi l'adaptation à la charge variable (valeur moyenne).

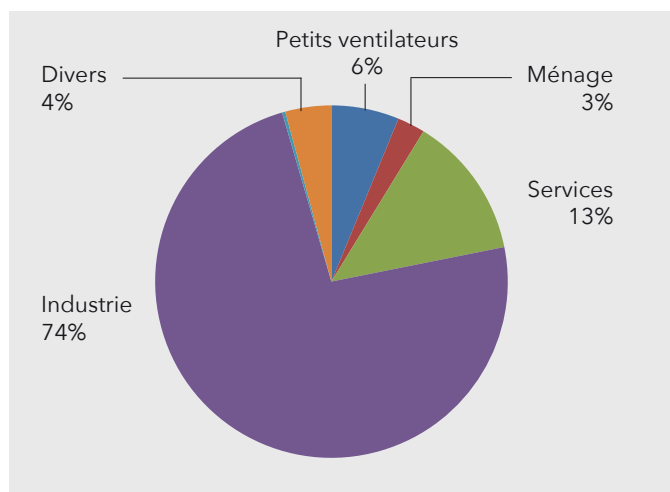


Illustration 1: Consommation d'électricité des ventilateurs en Suisse (source: Steinemann 2012)

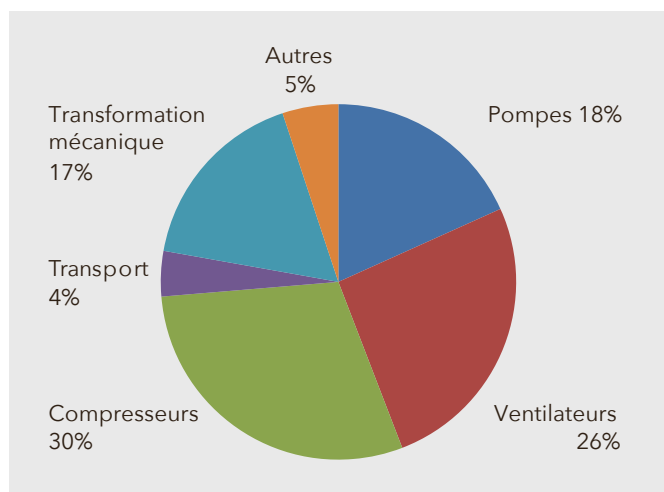


Illustration 2: Applications de moteurs électriques dans 5 grandes entreprises industrielles (source: Easy 2012)

Avec de bons concepts, un dimensionnement correct, des composants efficaces et une exploitation en fonction du besoin, un potentiel d'économie considérable peut être exploité, notamment par l'optimisation des installations nouvelles et existantes. Si l'on respecte ces règles, la consommation électrique des ventilateurs peut être réduite de façon importante, malgré une extension prévisible du domaine d'application (p. ex. besoin accru de refroidissement dans les composants, les bâtiments et l'industrie, ventilation mécanique multipliée dans les bâtiments).

Rôles des parties concernées

Pour obtenir une ventilation mécanique optimale, les spécialistes de la technique de ventilation jouent un rôle central. Malgré tout, il est important que toutes les parties concernées, du maître d'ouvrage à l'exploitant en passant par les équipes de planification et les entrepreneurs, connaissent et comprennent leurs rôles et leurs compétences. Les bonnes décisions doivent impérativement être prises très tôt, bien avant ce qui se pratique actuellement.

Commanditaires et maîtres d'ouvrage (compétences de commanditaire)

- Engagement clair en faveur de l'efficacité
- Choix des variantes en fonction des coûts du cycle de vie plutôt qu'en fonction des simples coûts d'investissement.
- Déclaration de prescriptions générales
- Définition des exigences spécifiques telles que les labels, p. ex. valeurs-limites ou valeurs-cibles conformément à SIA 2056:2019 ou 382/1:2014.
- En plus des exigences légales pour la mise sur le marché des produits, il faut également respecter les prescriptions cantonales et éventuellement communales pour la construction et l'exploitation des installations.
- Les normes SIA 2056:2019 et 382/1:2014 admettent différentes étapes d'optimisation. Une bonne installation peut être prédéterminée par la puissance spécifique du ventilateur, en combinaison avec l'obligation d'optimisation du besoin, de la commande et de l'exploitation. La consommation électrique spécifique peut servir de grandeur de contrôle pour le respect de ces prescriptions.
- Définition des responsabilités, impliquant également de faire appel à des compétences spécialisées pour la planification stratégique et les études préliminaires, si nécessaire de mettre à contribution un conseiller au maître d'ouvrage. En effet, conformément à SIA 108, les prestations de base de l'ingénieur ne commencent qu'à partir de la phase de projet préliminaire.

Architecte, entrepreneur général, entrepreneur total (compétences de commanditaire et de planificateur)

- Relevé et respect des prescriptions du maître d'ouvrage
- Coordination: spatiale et technique
- Garantie que les contrats d'ingénieurs contiennent des objectifs clairs
- Mise à contribution de l'ingénieur lors de la définition du concept technique spatial (concept de gaines, conduits courts, place suffisante)
- Selon le contrat, contrôle des objectifs et garantie de l'interface entre le planificateur et l'entrepreneur

Ingénieur en ventilation responsable de la planification (compétences techniques)

- Relevé et respect des prescriptions du maître d'ouvrage
- Dimensionnement des composants en fonction de la situation, sur la base d'un calcul des pertes de charge
- Prescriptions claires dans les appels d'offres, sur le plan de l'efficacité
- Concept pour la mise en service, la réception, la maintenance et l'exploitation, y c. concept de mesure

Entrepreneur (fournisseur des composants et du système)

- Relevé et respect des prescriptions
- Mise en service y c. mesures de l'efficacité
- Formation et plan de maintenance

Exploitant

- Relevé et respect des instructions et des documents
- Maintenance régulière
- Comptabilité énergétique
- Optimisation de l'exploitation
- Exploitation en fonction du besoin
- En cas de modifications: mise à jour des documents de planification et de la documentation relative à l'installation

Composants de la ventilation

Ventilateur

Les ventilateurs sont des machines à écoulement qui, à l'aide d'un rotor, transportent un fluide gazeux. Une augmentation de pression se produit alors entre le côté aspiration et le côté évacuation. Les machines qui présentent une augmentation de pression importante (rapports de pression entre 1.1 et 3) sont appelées ventilateurs, tandis que les machines présentant une augmentation de pression très importante (rapports de pression supérieurs à 3) sont appelées compresseurs.

Les principaux types existants sont le ventilateur radial et le ventilateur axial. Le ventilateur axial aspire l'air de façon axiale et le transporte de façon axiale. Le ventilateur radial aspire l'air de façon axiale et le transporte de façon radiale. Sur le plan énergétique, on préférera les ventilateurs radiaux dotés d'aubes courbées vers l'arrière.

Moteur

À partir du 1^{er} juillet 2021, les exigences d'efficacité énergétique des moteurs électriques en Suisse seront progressivement augmentées en synchronisant l'OEEE avec le Règlement (UE) 2019/1781. À partir du 1^{er} juillet 2021, soit:

- pour les moteurs d'une puissance nominale de 0.12 kW à moins de 0.75 kW, la classe d'efficacité énergétique IE2 au moins est obligatoire.
- pour les moteurs d'une puissance nominale comprise entre 0.75 kW et moins de 1 000 kW, la classe d'efficacité IE3 au moins est obligatoire. Dans cette gamme de puissance, la combinaison précédemment autorisée d'un moteur IE2 avec un variateur de fréquence n'est plus autorisée.

À partir du 1^{er} juillet 2023, les moteurs d'une puissance nominale d'au moins 75 kW et d'au maximum 200 kW devront également avoir la classe d'efficacité IE4 (ou IE5).

Les convertisseurs de fréquence conçus pour fonctionner avec des moteurs de 0.12 kW à 1 000 kW doivent également répondre à des exigences minimales en matière d'efficacité énergétique (au moins la classe d'efficacité IE2) à partir du 1^{er} juillet 2021.

Les convertisseurs de fréquence conçus pour fonctionner avec des moteurs de 0.12 kW à 1 000 kW doivent également répondre à des exigences minimales en matière d'efficacité énergétique (au moins la classe d'efficacité IE2) à partir du 1^{er} juillet 2021.

Selon le régime requis de l'entraînement, on peut utiliser des moteurs asynchrones avec les nombres de pôles suivants (régime synchrone nominal en tours par minute):

- 2 pôles 3 000 tr/min
- 4 pôles 1 500 tr/min
- 6 pôles 1 000 tr/min
- 8 pôles 750 tr/min

Les classes d'efficacité des moteurs de 0.12 à 1000 kW sont définies dans la norme CEI 60034-30-1 (illustration 2). Pour les faibles puissances jusqu'à 10 kW, les gains d'efficacité entre IE4 et IE1 sont très élevés. Pour les grandes puissances de 100 à 1 000 kW, les améliorations sont certes proportionnellement plus faibles, mais la diminution des pertes en kW est toutefois très importante. Les rendements les plus élevés peuvent

Comparaison du régime et de la puissance	
Augmentation du régime	Augmentation de la puissance absorbée
1%	3%
2%	6%
3%	9%
4%	12%
5%	16%

Tableau 3: Un régime plus élevé cause, en l'absence de mesures supplémentaires, une puissance électrique absorbée plus importante.

Classe d'efficacité		Rendement minimum (4 pôles, 1500 tr/m) pour puissance mécanique:		
		4 kW	15 kW	90 kW
IE4	Rendement super-premium	91.1%	93.9%	96.1%
IE3	Rendement premium	88.6%	92.1%	95.2%
IE2	Haut rendement	86.6%	90.6%	94.2%
IE1	Rendement standard	83.1%	88.7%	93.0%
Amélioration entre IE1 et IE4 en %		8.0%	5.2%	3.1%

Tableau 2: Exigences en termes de rendement pour les moteurs (CEI 60034-30-1)

être atteints avec des moteurs à aimants permanents et à reluctance à commutation électronique, ainsi qu'avec des moteurs à rotor extérieur.

Attention: Les moteurs plus efficaces (IE3) possèdent moins de glissement que les anciens moteurs peu efficaces (IE1 ou IE2), ce qui signifie que leur régime est 1 à 5% supérieur. Par conséquent, la vigilance s'impose car le remplacement du moteur entraîne le transport d'un débit volumique plus élevé. Ainsi, pour une section de conduit d'air identique, la vitesse d'écoulement augmente. Etant donné que le besoin en puissance

électrique augmente proportionnellement au cube du débit volumique d'air, le gain d'efficacité d'un nouveau moteur peut être réduit à néant si cet effet n'est pas compensé. Cela peut tout simplement être évité en choisissant mieux le ventilateur de remplacement ou en adaptant le rapport de transmission.

Transmission

La transmission de la puissance du moteur au ventilateur s'effectue par un entraînement direct, des courroies plates, des courroies trapézoïdales et, dans de rares cas, des courroies dentées (tableau 4).

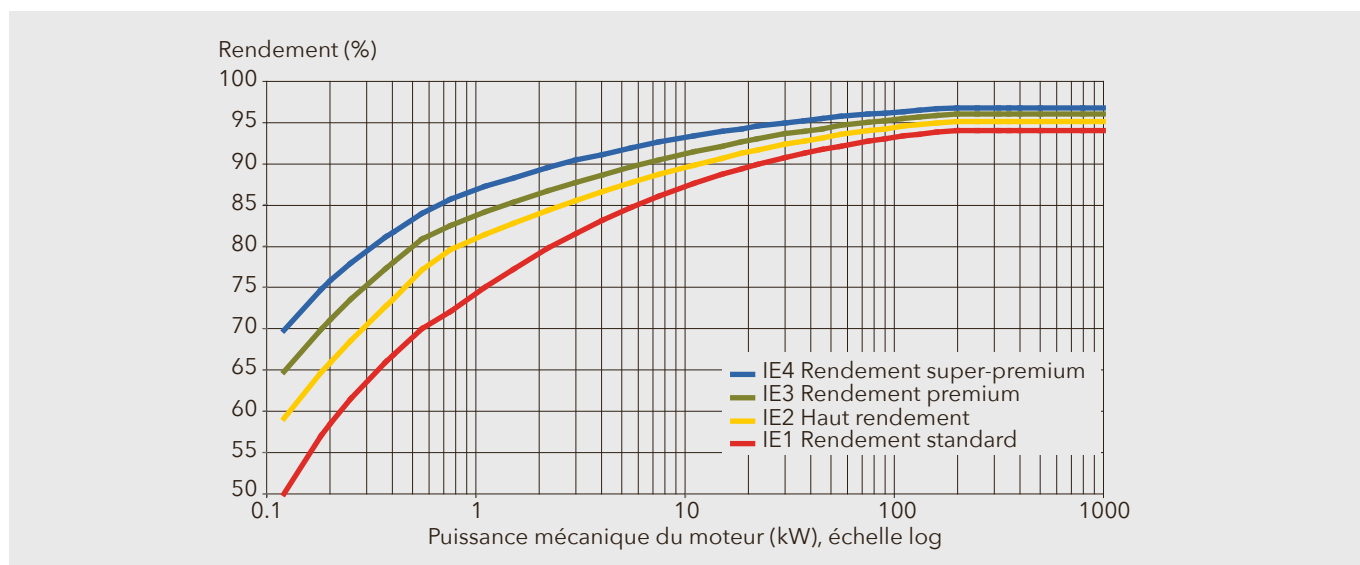


Illustration 3: Rendement des moteurs électriques (4 pôles, 50 Hz), conformément à IEC 60034-30-1

	<p>Entraînement direct</p> <p>Le couplage direct de l'arbre du moteur et de l'arbre du ventilateur ne cause aucune perte et présente ainsi le meilleur rendement (100%). Autre avantage: cette transmission est sans entretien et ne subit aucun encrassement dû à un entraînement par courroies. Cela permet éventuellement de renoncer à un deuxième étage de filtration en aval du ventilateur. Pour un entraînement avec des moteurs triphasés jusqu'à une puissance sur l'arbre de 5 kW, cette solution doit être privilégiée.</p>
	<p>Courroie plate</p> <p>Le rendement est généralement 2 à 5% plus élevé que dans le cas des courroies trapézoïdales. Autres avantages: L'effort de maintenance plus faible (moins de changements de courroie) et l'usure réduite. Eventuellement, cela permet de renoncer à un deuxième étage de filtration en aval du ventilateur. Si les courroies plates ont certes besoin d'être moins souvent remplacées que les courroies trapézoïdales, le contrôle de la tension de la courroie est quant à lui plus exigeant.</p>
	<p>Courroie trapézoïdale</p> <p>Pour les faibles puissances et en charge partielle, le rendement de la transmission peut tomber sous les 80%. L'inconvénient est également le remplacement fréquent de la courroie. En raison de l'usure, il convient de disposer un second étage de filtration en aval du ventilateur. Au regard de ces inconvénients, les courroies trapézoïdales doivent être évitées. Dans les petites installations, les entraînements directs sont à privilégier. Pour les plus grandes puissances, il est préférable d'opter pour des courroies plates.</p>

Tableau 4: Type de transmission

L'illustration 4 montre des exemples de rendements de transmission de courroies plates et trapézoïdales, en charge partielle. Le diagramme s'applique à des

entraînements comprenant une seule courroie. En présence de plusieurs courroies, le rendement diminue de 1% par courroie supplémentaire.

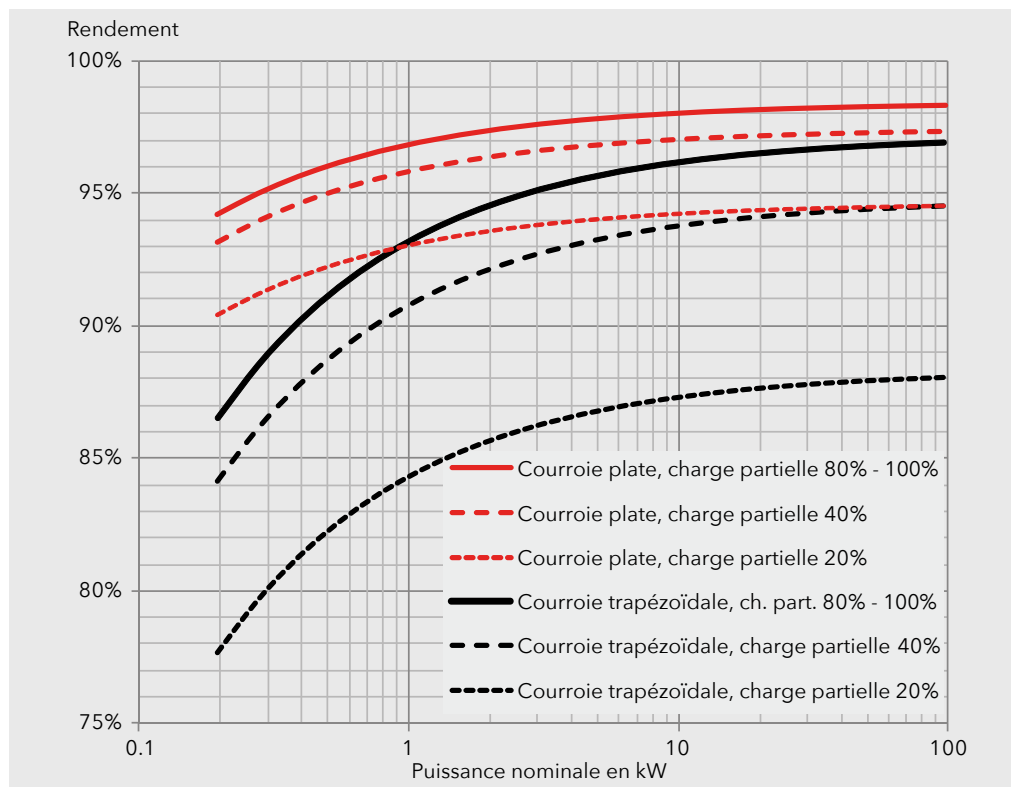


Illustration 4: Rendements de transmission de courroies trapézoïdales et plates selon la puissance nominale du moteur et la part de charge (entraînement à 1 courroie)

Régulation de charge à l'aide de CF

Un convertisseur de fréquence (CF) transforme électroniquement le courant de secteur, un courant alternatif d'une fréquence de 50 Hz (monophasé pour les faibles puissances), en un courant alternatif de fréquence variable. Cela permet de programmer un rapport variable entre tension et fréquence, adapté

à l'application. Pour le transport de fluides, la tension (déterminante pour la magnétisation) est réduite de façon surproportionnelle à la diminution du régime, car la charge d'une machine à écoulement (dans un circuit fermé) diminue proportionnellement au cube du régime (illustration 5).

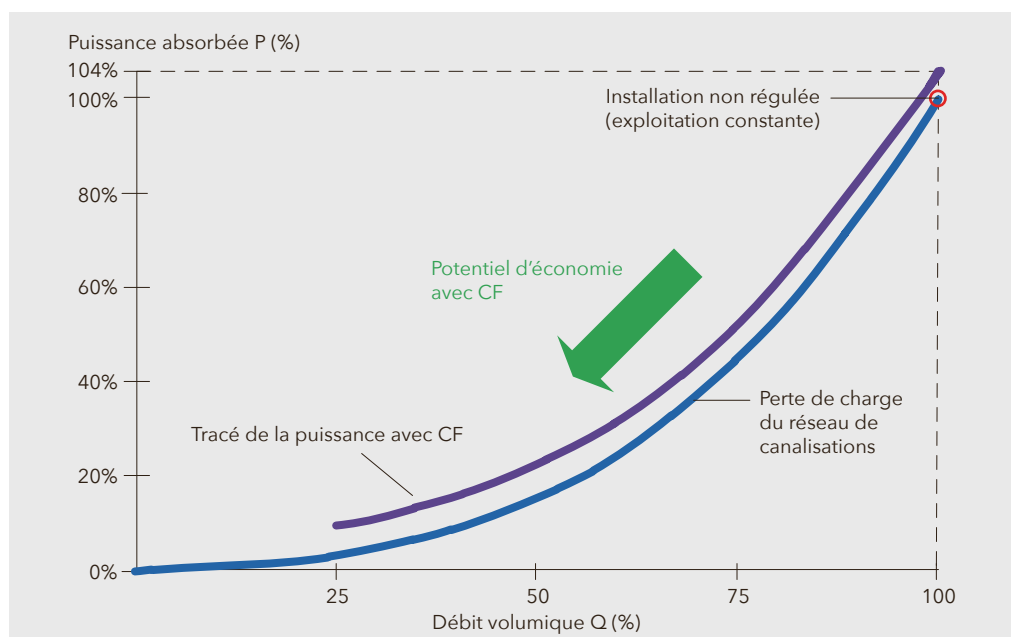


Illustration 5: Potentiel d'économie pour les ventilateurs avec convertisseur de fréquence (CF) ou moteurs à commutation électronique.

Inconvénients des convertisseurs de fréquence

La conversion de fréquence n'est pas toujours pertinente (illustration 6):

- Un CF coûte à peu près le même prix que le moteur qu'il alimente.
- Le rendement en charge nominale est compris entre 95 et 98%.
- En raison des harmoniques de l'alimentation du CF, le rendement du moteur peut diminuer de 1 à 2%.
- En charge partielle, en dessous de 20%, le rendement baisse, selon la dimension du moteur ou du CF, de 70 à 20%.

Etant donné que la puissance de sortie des convertisseurs de fréquence n'est pas parfaitement sinusoïdale (même avec des filtres), les harmoniques résiduels causent des pertes supplémentaires dans le moteur. Cet effet doit être pris en compte dans le cadre d'un calcul de rentabilité.

Refroidissement du moteur: En présence de faibles régimes, le refroidissement propre du moteur (roue de ventilateur) peut devenir insuffisant, car en raison des harmoniques, les pertes dans l'enroulement peuvent rester relativement élevées. Un moteur doté d'un CF et fonctionnant relativement longtemps en dessous de 50% de son régime nominal nécessite un refroidissement indépendant du régime (p.ex. ventilateur externe ou refroidissement à eau).

L'exploitation d'un moteur via un CF n'est pertinente que si des puissances et régimes variables sont réellement nécessaires sur une grande partie du temps de fonctionnement. Si cela n'est requis qu'au démarrage de la machine, d'autres solutions doivent être envisagées. Dans certains cas, il peut être intéressant

de dériver le CF en présence d'un régime majoritairement constant et de ne démarrer le moteur via le CF que lorsque cela est nécessaire.

Éléments à prendre en compte en cas de régulation du régime

Champs électromagnétiques (CEM): Les CF causent des CEM relativement forts. Pour éviter le parasitage d'autres appareils et respecter les prescriptions, des filtres ou isolations adaptés sont nécessaires. Plus le moteur et le CF sont proches, plus les CEM sont faciles à maîtriser. C'est pourquoi les CF sont souvent intégrés avec le moteur plutôt qu'installés séparément dans des armoires de commande.

Indications pour l'appel d'offres

Principes

- Exiger une planification correcte avec un concept de tracé des conduites et un calcul des pertes de charge comme base de l'appel d'offres.
- Déterminer ou demander les rendements des composants au point de fonctionnement optimal et aux points de fonctionnement attendus.
- Déterminer la méthode d'évaluation des différences d'efficacité dans les offres.
- Définir des mesures de contrôle et des sanctions en cas de non-respect des exigences.

Pour une exploitation efficace, il est important que les points de fonctionnement effectifs des ventilateurs soient proches du point optimal. Pour l'appel d'offres, il convient donc de déterminer et de déclarer les points de fonctionnement attendus avec un calcul fiable des pertes de charge. En présence d'applications,

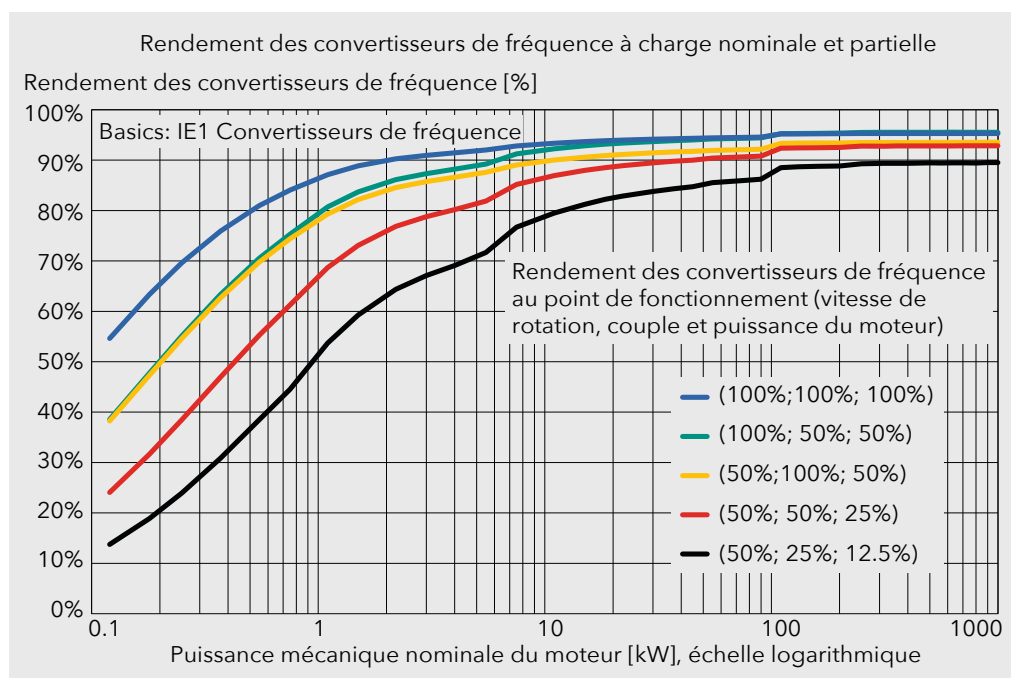


Illustration 6: Comparaison des rendements des convertisseurs de fréquence à charge nominale et partielle en fonction de la puissance nominale du moteur, conformément à CEI 61800-9-2, édition 1, base: classe d'efficacité énergétique IE1 pour les convertisseurs de fréquence. L'illustration montre qu'un CF subit une baisse significative de son rendement à faible vitesse ou faible couple par rapport au rendement à la puissance nominale.

Besoin en énergie de la ventilation

Le besoin en énergie pour la ventilation à l'aide de ventilateurs à entraînement électrique est calculé selon la formule suivante:

$$E = \frac{q_v \cdot \Delta p \cdot t}{\eta_v \cdot \eta_{Tr} \cdot \eta_M \cdot \eta_R}$$

E	Besoin en énergie électrique en Wh
q_v	Débit volumique en m ³ /s
Δp	Pression différentielle totale en Pa
t	Temps en fonctionnement en h
η_v	Rendement du ventilateur
η_{Tr}	Rendement de la transmission (courroies trapézoïdales ou plates)
η_M	Rendement du moteur
η_R	Rendement de la régulation (convertisseur de fréquence)

Le produit des quatre rendements partiels est souvent regroupé en un rendement global η_{ges} . En présence d'installations multiétagées et d'installations à débit volumique variable progressif, il convient de considérer séparément les différents états de fonctionnement. Pour garantir une faible consommation d'énergie, il faut réduire au minimum les grandeurs q_v , Δp et t et maximiser les rendements.

Débits volumiques d'air adéquats

Principes

- Pour les installations de ventilation destinées à des personnes (habitation, travail), mesurer le débit volumique d'air en fonction du débit d'air extérieur par personne.
- Réduire ou aspirer à la source les charges de chaleur, de polluants et d'humidité présentes dans la pièce.
- Ne pas évacuer les grandes charges thermiques via l'installation de ventilation mais envisager l'utilisation d'un système de refroidissement à eau ou d'un refroidissement local à air pulsé.
- Dans les locaux où l'air intérieur est principalement pollué par des personnes (p. ex. bureaux, immeubles résidentiels, écoles), les débits d'air sont dimensionnés conformément à la norme SIA 382/1:2014. En outre, des valeurs standard figurent dans la norme SIA 2024:2015. Selon l'utilisation et les exigences en matière de qualité de l'air intérieur, les débits d'air se situent entre environ 15 et 20%. Selon l'utilisation, les valeurs sont comprises entre 15 et 36 m³/h personne. Le Cahier technique SIA 2024 donne des indications relatives à des valeurs d'occupation typiques.

Le débit volumique d'air fourni requis pour l'évacuation de chaleur à l'aide de l'installation de ventilation dépend de la charge thermique et de la différence de température entre l'air ambiant et l'air fourni. Pour le plateau Suisse, les valeurs suivantes s'appliquent:

$$q_{v,ZUL} = \frac{\Phi}{0,32(\theta_{RAL} - \theta_{ZUL})}$$

$q_{v,ZUL}$	Débit volumique d'air fourni en m ³ /h
Φ	Charge thermique en W
θ_{RAL}	Température ambiante en °C
θ_{ZUL}	Température de l'air fourni au niveau du passage d'air en °C

Faibles pertes de charge

Principes

- Court réseau de conduites
- Faibles vitesses de l'air
- Formes favorables à l'écoulement (conduits d'air circulaires, peu de pièces moulées, éléments favorables à l'écoulement)

L'agencement des captages d'air extérieur, des locaux techniques, des ouvertures d'extraction d'air et des gaines influe fortement sur la longueur du réseau de conduits d'air. Dans ce domaine, les décisions doivent être prises dans une phase de planification très précoce. Les solutions décentralisées se heurtent à certaines limites, en raison de l'effort de maintenance et, en présence d'appareils de façade, pour des raisons d'hygiène.

Pour minimiser les pertes de charge, les vitesses de l'air doivent rester faibles. La norme SIA 382/1:2014 alinéas 5.7.2.6 et 5.7.2.7 donne les valeurs indicatives suivantes. Les exigences du Règlement européen 1353/2014 peuvent au mieux conduire à des vitesses d'air plus faibles:

- Vitesse maximale de l'air dans les appareils (en fonction des surfaces nettes): 2 m/s. Cette valeur indicative est respectée pour les appareils de traitement de l'air de classe V1 (au maximum 1.6 m/s), V2 (> 1.6 à 1.8 m/s) et V3 (> 1.8 à 2.0 m/s) selon EN 13 053.
 - Vitesses maximales de l'air dans les conduits d'air selon le débit volumique maximal de l'air
- | | |
|--|---------|
| jusqu'à 40 m ³ /h: | 2.5 m/s |
| jusqu'à 1 000 m ³ /h: | 3.0 m/s |
| jusqu'à 2 000 m ³ /h: | 4.0 m/s |
| jusqu'à 4 000 m ³ /h: | 5.0 m/s |
| jusqu'à 10 000 m ³ /h: | 6.0 m/s |
| au-dessus de 10 000 m ³ /h: | 7.0 m/s |

Il est recommandé d'utiliser les valeurs indicatives susmentionnées pour des conduits d'air circulaires avec des heures de pleine charge équivalentes jusqu'à 2000 h/an. Avec des heures de pleine charge de 4000 h/an et des débits volumiques d'air supérieurs à 4000 m³/h, ainsi qu'avec des heures de pleine charge de 8000 h/an et des débits volumiques d'air supérieurs à 1000 m³/h, on recommande les valeurs réduites selon l'illustration 7.

Les vitesses de l'air recommandées ici se justifient également du point de vue économique (investissement et exploitation sur 30 ans) aux tarifs actuels, tandis que du point de vue énergétique global (énergie grise et énergie d'exploitation), des vitesses de l'air plus basses de 1 à 2 m/s seraient optimales.

En présence de réseaux de conduits d'air ramifiés, ces valeurs indicatives doivent être respectées dans la branche présentant les plus grandes pertes de charge. Dans les autres branches, des vitesses de l'air plus élevées sont admissibles en exploitant le niveau de pression disponible. Les conséquences sur le plan acoustique doivent toutefois être prises en considération. Avec une forme favorable à l'écoulement, les pertes de charge sont nettement plus faibles qu'avec une forme défavorable.

■ Pour la même surface, la même vitesse d'écoulement et la même rugosité, ce sont les conduits d'air circulaires qui présentent les pertes de charge les plus faibles. Les canalisations rectangulaires sont d'autant plus défavorables que leur rapport largeur sur hauteur augmente (illustration 8). Pour une vitesse de l'air

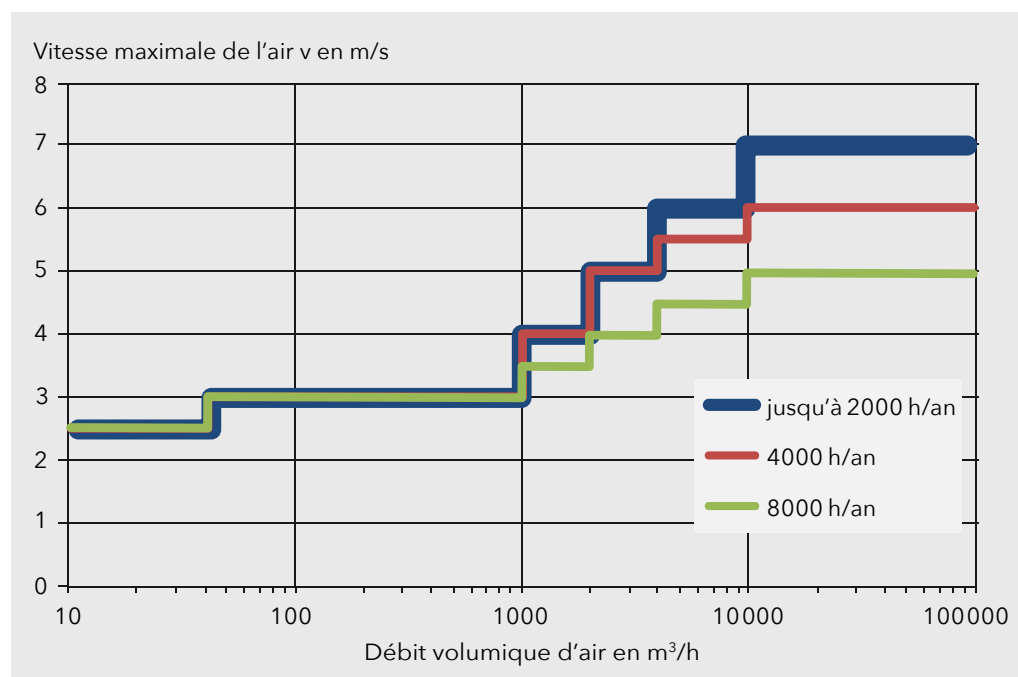


Illustration 7: Vitesse maximale de l'air dans des conduits d'air circulaires

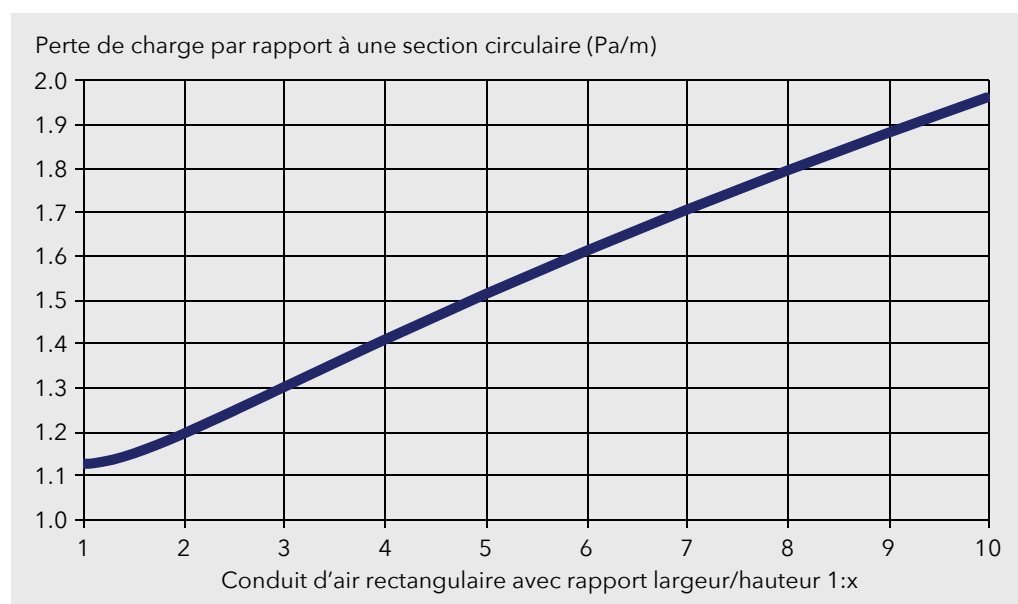


Illustration 8: Perte de charge d'un conduit d'air rectangulaire selon le rapport largeur/hauteur par rapport à un conduit d'air circulaire pour la même vitesse de l'air

identique, c.-à-d. une section identique, une exécution rectangulaire avec un rapport largeur sur hauteur de 1:5 cause par exemple une perte de charge 50% plus importante qu'un conduit d'air circulaire. De la même manière, la consommation de matières et le prix sont également plus élevés. Il convient donc d'utiliser autant que possible des conduits d'air circulaires ou carrés. Si l'on doit utiliser des conduits d'air rectangulaires, les vitesses de l'air doivent être réduites d'un facteur indiqué dans l'illustration 9 par rapport aux valeurs indiquées susmentionnées.

■ Les changements de direction doivent être réalisés avec des rayons ou des chicanes les plus larges possibles. P.ex., si l'on réalise un coude à 90° avec un rapport du rayon moyen R par rapport au diamètre D de seulement 1.0 au lieu de 0.5 (pas de rayon intérieur), la perte de charge est réduite d'env. un tiers. Avec R/D = 3 au lieu de 1, on obtient encore une fois une réduction de moitié. Les coudes doivent être constitués du plus grand nombre possible de segments et présenter un rapport R/D le plus grand possible. Dans le cas des conduits d'air rectangulaires, les canaux plats sont bien moins avantageux que les canaux carrés ou verticaux.

Dans les exemples présentés dans l'illustration 10 avec des coudes à 90°, la solution la moins favorable présente, avec $\zeta = 2.1$, des pertes de charge 14 fois plus élevées que la meilleure solution avec $\zeta = 0.15$.

Des indications détaillées sur les pertes de charge des éléments des conduits d'air figurent p.ex. dans le manuel du chauffage et de la climatisation de Recknagel, Sprenger et Schramek. [2] La prise en compte de ces rapports exige une planification correcte et précoce du réseau de conduits d'air avec un calcul des pertes de charge.

Dans le cas d'installations dotées d'appareils de traitement de l'air, les pertes de charge internes sont souvent du même ordre que les pertes de charge externes. Dans ce cas également, de faibles vitesses de l'air sont préférables (valeur maximale par rapport à la surface nette: 2 m/s), ce qui a des conséquences sur l'encombrement.

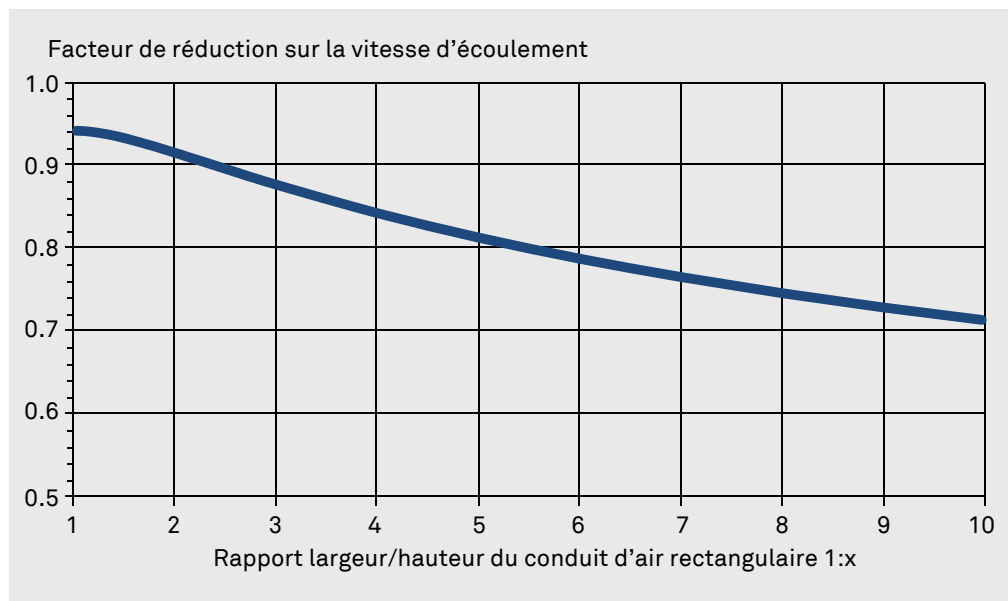


Illustration 9: Réduction de la vitesse de l'air dans des conduits d'air rectangulaires pour atteindre des pertes de charge comparables à celle des conduits circulaires.

<p>1</p>		<p>2</p>	
<p>○ R/D = 0,5 0,75 1,0 1,5 2 3 4</p>		<p>○ R/D = 0,5 0,75 1,0 1,5 2</p>	
<p>ζ = 0,9 0,43 0,33 0,24 0,19 0,17 0,15</p>		<p>3 Segm. ζ = 1,3 0,8 0,5 0,3 0,25</p>	
		<p>5 Segm. ζ = 1,1 0,6 0,4 0,25 0,2</p>	
<p>4</p>		<p>5</p>	
<p>h/b = 0,25 0,5 1,0 2,0</p>		<p>R/W = 0 0,2 0,4 0,6 0,8</p>	
<p>ζ = 2,1 1,7 1,2 0,6</p>		<p>□ ζ = 1,4 0,7 0,6 0,7 1,1</p>	

Illustration 10: Exemples de résistances individuelles de coudes à 90°. Source [2]

Temps de fonctionnement adaptés au besoin

Principes

- Adapter le débit volumique d'air au besoin réel.
- Adapter les temps de fonctionnement au besoin réel.

Dans de nombreuses applications, p. ex. dans les pièces ayant une occupation variable, le besoin d'air dépend de l'utilisation. La consommation d'énergie peut alors être nettement réduite avec une adaptation du débit volumique d'air au besoin réel. En cas d'occupation variable, une régulation à l'aide de la concentration en CO₂ ou en gaz de mélange dans la pièce est recommandée. Il faut toutefois impérativement veiller à ce que le concept d'installation, avec le zonage ou les régulateurs de débit volumique, tienne compte de ces besoins. Pour d'autres applications, une régulation à l'aide de la température, de l'humidité ou de la concentration en polluants, ou l'utilisation d'un programmateur, peut être intéressante.

Les installations ne doivent fonctionner que si les pièces concernées sont effectivement utilisées. Il convient donc de prévoir une commande correspondante des installations.

Rendements élevés

Principes

- Rendements élevés du ventilateur, de la transmission, du moteur et du convertisseur de fréquence
- Prise en compte des rendements pour les points de fonctionnement effectivement attendus
- Prise en compte du système global

Pour le rendement global des ventilateurs, les exigences et déclarations européennes s'appliquent (page 1). Dans les nouvelles installations, seuls des ventilateurs répondant aux exigences d'efficacité de l'UE en vigueur peuvent être utilisés. Il est important de noter que les exigences de l'UE en matière d'efficacité dépendent du type de ventilateur. On ne pourra donc

Classe	SFP W par m ³ /s	SFP W par m ³ /h
SFP 1+	< 300	< 0.083
SFP 1	300 - 500	0.083 - 0.14
SFP 2	500 - 750	0.14 - 0.20
SFP 3	750 - 1250	0.20 - 0.35
SFP 4	1250 - 2000	0.35 - 0.56
SFP 5*	2000 - 3000	0.56 - 0.83
SFP 6*	3000 - 4500	0.83 - 1.25
SFP 7*	> 4500	> 1.25

Tableau 5: Classes d'efficacité des puissances spécifiques de ventilateur (voir page 12)

utiliser que des ventilateurs axiaux ou des ventilateurs radiaux dotés d'aubes courbées vers l'arrière. Pour tous les autres types, les rendements de ventilateur sont trop faibles.

Pour les applications ayant un point de fonctionnement constant, il convient de s'assurer que celui-ci est proche du point de fonctionnement optimal du ventilateur. Dans les applications à exploitation multiétagée ou variable, la meilleure solution doit être déterminée à l'aide des points de fonctionnement en présence et de leur fréquence.

Puissance spécifique des ventilateurs (SFP)

Principes

- Prescription pour la classe SFP basse (W par m³/h, tableau 5)
- Respect des exigences selon SIA 382/1 (tableau 6)

Définition

La puissance spécifique du ventilateur quantifie le besoin en puissance électrique d'un ventilateur pour transporter un débit volumique d'air donné et permet l'évaluation combinée des rendements et des pertes de charge.

$$SFP = \frac{P}{q_v} = \frac{\Delta p}{\eta_{ges} \cdot 3600}$$

SFP Puissance spécifique du ventilateur en W par m³/h

P Puissance électrique absorbée du moteur du ventilateur y c. CF en W

q_v Débit volumique d'air en m³/h

Δp Augmentation de pression dans le ventilateur en Pa

η_{ges} Rendement global du ventilateur

Dans les applications avec un appareil de traitement de l'air (monobloc), l'augmentation de pression requise dans le ventilateur est causée par les pertes de charge internes et externes, c.-à-d. Δp = Δp_{int} + Δp_{ext}. Les classes de la puissance spécifique du ventilateur sont définies dans SIA 382/1. Cette classification s'applique séparément à chaque ventilateur.

* Ces classes selon EN 13779 ne sont pas utilisées dans SIA 382/1:2014. La norme EN 13779 a depuis été retirée et remplacée par la norme EN 16798-3:2017.

Exigences

Selon SIA 382/1, les installations de ventilation et de climatisation, lors du dimensionnement, doivent remplir les exigences SFP conformément au tableau 6.

Unités de ventilation résidentielles

Selon le Règlement européen 1253/2014, les unités jusqu'à un débit d'air volumique maximal de 250 m³/h sont désignées comme unités de ventilation résidentielles, même si elles ne sont pas utilisées dans des

bâtiments d'habitation. Jusqu'à un débit d'air volumique maximal de 1000 m³/h, un fournisseur peut éventuellement désigner un appareil comme unité de ventilation résidentielle. Pour les unités de ventilation résidentielles, la classe énergétique doit être déclarée, A+ étant la meilleure classe et G la plus mauvaise. Le tableau 7 montre les exigences de la norme SIA 382/5 pour les systèmes avec des unités de ventilation résidentielles.

Type d'installation	Classe SFP			
	Ventilateur d'air fourni		Ventilateur d'air repris	
	Valeur limite	Valeur cible	Valeur limite	Valeur cible
Installation simple d'air fourni	SFP 1	SFP 1+	-	-
Installation d'air fourni avec réchauffage de l'air, appareil de refroidissement à air pulsé	SFP 1	SFP 1+	-	-
Installation simple d'air repris			SFP 1	SFP 1+
Installation d'air repris avec utilisation des rejets thermiques			SFP 1	SFP 1+
Installation de ventilation simple	SFP 1	SFP 1+	SFP 1	SFP 1+
Installation de ventilation avec réchauffage de l'air	SFP 2	SFP 1	SFP 1	SFP 1+
Installation de ventilation avec réchauffage et humidification de l'air	SFP 2	SFP 1	SFP 1	SFP 1+
Installation de climatisation simple	SFP 3	SFP 2	SFP 2	SFP 1
Installation de climatisation avec humidification de l'air	SFP 3	SFP 2	SFP 2	SFP 1
Installation de climatisation avec humidification et déshumidification de l'air	SFP 3	SFP 2	SFP 2	SFP 1

Table 6: Exigences SFP pour les installations de ventilation et de climatisation (SIA 382/1)

Type d'installation	Classe énergétique minimale requise	Perte de charge externe max.	
		Valeur limite	Valeur cible
Installation de ventilation simple	A ¹⁾	150 Pa ²⁾	100 Pa ²⁾
Appareil de ventilation pour local individuel	A ¹⁾	(0 Pa)	(0 Pa)
Installation d'évacuation d'air pour un fonctionnement continu	C	70 Pa	50 Pa
Installation d'évacuation d'air avec commande à la demande EN/HORS	C	100 Pa	70 Pa

Table 7: Les exigences de la norme SIA 382/5 pour les systèmes avec des unités de ventilation résidentielles.

¹⁾ Pour les unités avec transformateur enthalpique avec un taux d'humidité > 60%, la classe B s'applique.

²⁾ Peut être divisé entre le côté air soufflé et le côté air extrait; p.ex. la valeur limite 80 Pa AN-AS, 70 Pa AE-AR.

Planification d'une ventilation efficace

La mise en application des informations des pages 4 à 12 est nécessaire pour la construction et l'exploitation d'installations efficaces ayant un faible besoin en puissance spécifique et en énergie pour la ventilation à l'aide de ventilateurs. Les principales conditions de base sont déterminées dans une phase très précoce. Il est donc important que ces aspects soient traités dans une phase préliminaire du projet. Il est également vivement recommandé de réaliser, après la fin des travaux, un contrôle des résultats ainsi qu'une vérification et une optimisation périodiques.

Les 4 obstacles les plus fréquents à la ventilation efficace

- Place insuffisante, conduits d'air longs ou compliqués
- Dimensionnement erroné ou manquant, surdimensionnement
- Possibilité d'adaptation insuffisante à des conditions d'utilisation variables
- Choix de composants peu performants sur le plan énergétique par manque de connaissances ou en raison de la prise en compte exclusive des coûts d'investissement

Manque de place

Pour que la ventilation présente de faibles pertes de charge, les vitesses de l'air doivent être faibles et les conduits courts.

De faibles vitesses de l'air impliquent de grandes sections transversales. Seule une planification précoce garantit la place nécessaire. Dans le cas des centrales, il convient en outre de laisser un accès facile aux appareils.

Des conduits courts exigent un agencement bien étudié des centrales, des captages d'air extérieur et des ouvertures d'extraction d'air ainsi qu'un concept de gaines adapté. Cela ne peut être réalisé que dans une phase de planification précoce.

Dimensionnement erroné ou manquant

Les ventilateurs, moteurs, entraînements à courroie et convertisseurs de fréquence atteignent leur rendement optimum dans une plage définie. Il est donc important de sélectionner correctement ces composants. En cas de dimensionnement erroné ou manquant, des répercussions graves sur le rendement peuvent être observées.

Possibilité d'adaptation insuffisante à des conditions d'utilisation variables

De nombreuses applications présentent des conditions d'utilisation variables. Une exploitation en fonction du besoin permet de réaliser des économies d'énergie considérables. Cela présuppose que les conditions d'utilisation soient définies suffisamment tôt en amont et que les systèmes, y c. le zonage et la régulation, soient dimensionnés de façon correspondante.

Choix de composants peu performants sur le plan énergétique

En ce qui concerne les composants de la ventilation, il existe parfois, selon le type et la qualité de fabrication, des différences considérables en termes de rendement optimal et de comportement en charge partielle. Il est donc recommandé d'envisager sérieusement toutes les variantes. Les pages 14 à 16 présentent la méthode concrète de détermination et d'évaluation de ventilateurs en tenant compte des coûts du cycle de vie dans les conditions d'utilisation prévues.

Contrôle et optimisation d'installations existantes

Dans les installations existantes, la qualité énergétique de la ventilation peut être déterminée et évaluée à l'aide de mesures. Si des écarts sont constatés par rapport aux standards aujourd'hui en vigueur, il convient de vérifier, dans ce cas particulier, si des adaptations sont possibles et pertinentes.

Les cinq principaux défauts des installations existantes

- Temps de fonctionnement trop longs
- Débits volumiques trop élevés
- Entraînements de ventilateur et commandes obsolètes
- Pas de régulation selon le besoin
- Entretien incorrect, pas de mise à jour des plans d'installation

Temps de fonctionnement trop longs

Souvent, les temps d'exploitation réglés ne coïncident plus avec l'utilisation actuelle.

Des adaptations des réglages du régulateur et des programmeurs peuvent être réalisées très rapidement et ne coûtent quasiment rien. Des contrôles périodiques des réglages sont vivement recommandés.

Débits volumiques trop élevés

De nombreuses installations de ventilation sont surdimensionnées. Cela est dû à la planification initiale (marge pour se rassurer) et à des conditions d'utilisation modifiées.

Dans le cas des installations de ventilation qui alimentent plusieurs pièces, le contrôle et le réglage doivent s'effectuer par pièce. Les nouveaux réglages doivent de préférence être réalisés par des spécialistes. Dans le cas d'une réduction du débit volumique d'air de plus de 20%, le remplacement du ventilateur doit également être envisagé.

Entraînements de ventilateur et commandes obsolètes

Les courroies trapézoïdales présentent de mauvais rendements, notamment avec les ventilateurs petits et moyens. Les anciennes installations comportent parfois encore des commandes de régime à l'aide de transformateurs techniquement obsolètes.

Dans les nouveaux types, des moteurs à aimants permanents ou à reluctance à commutation électronique sont disposés directement sur l'arbre d'entraînement des ventilateurs. Outre les pertes par transmission mécanique (frottement), les pertes électriques sont alors elles aussi nettement plus faibles que dans les anciennes solutions avec commande par transformateur ou moteurs asynchrones. Dans les ventilateurs petits et moyens, le passage de l'ancienne à la nouvelle technologie peut permettre d'économiser 30 à 50% d'énergie électrique.

Pas de régulation selon le besoin

Les régulations selon le besoin (qualité de l'air ambiant, température ambiante, pression) via des débits volumiques d'air variables étaient, il y a 10 ans, nettement plus complexes et coûteuses qu'aujourd'hui. En présence d'occupations variables des pièces et de charges variables (chaleur, humidité, polluants), il convient d'envisager un rééquipement pour les moyennes et grandes installations.

Entretien incorrect

L'exploitation des ventilateurs et de leurs installations nécessite un entretien correct. Celui-ci comprend des travaux de nettoyage et de maintenance périodiques, le remplacement des filtres, le remplacement des pièces défectueuses etc. Il est très utile de tenir une comptabilité énergétique permettant de détecter rapidement les variations des consommations d'énergie et de l'efficacité énergétique. Il convient également de prendre en considération les adaptations basées sur des modifications d'utilisation. Elles requièrent en effet la mise à jour des plans d'installations et de la documentation relative à l'installation.



Illustration 11: La consommation de ventilateurs encrassés réduit le débit volumique d'air et accroît la consommation d'énergie

Quand faut-il contrôler une installation?

Il est recommandé de contrôler une installation de ventilation tous les 10 ans environ, sur le plan du concept de base et de l'efficacité. Dans cette période, les conditions d'utilisation peuvent avoir changé ou le rendement peut s'être dégradé en raison du vieillissement des composants. De plus, en une décennie, la technologie évolue énormément et des composants et systèmes partiels plus efficaces peuvent être disponibles.

L'installation de ventilation doit également être contrôlée si l'on constate une consommation d'électricité inexplicablement élevée de l'installation ou du bâtiment.

Comment procéder?

Les installations existantes sont évaluées en plusieurs étapes:

- Dans une première phase, l'installation est évaluée grossièrement lors d'un contrôle visuel.
- Si l'on constate un potentiel d'amélioration énergétique intéressant, une analyse énergétique est réalisée dans une seconde phase. Celle-ci se base généralement sur la documentation de l'installation.
- En cas de données manquantes ou imprécises dans la documentation de l'installation, des mesures peuvent être réalisées dans une troisième phase.

Contrôle visuel

Entretien

En cas d'entretien incorrect, l'encrassement, le vieillissement et des interventions manuelles (p.ex. réglage de clapets et de régulateurs) peuvent engendrer des pertes de charge relativement élevées ou d'autres conditions d'exploitation défavorables.

Avant de réaliser une analyse énergétique, les filtres doivent toujours être remplacés. Si l'on observe alors que les filtres ne sont pas remplacés ou ne le sont pas assez souvent, il convient de le notifier au service d'exploitation.

Pour garantir une qualité de l'air irréprochable sur le plan hygiénique, une inspection d'hygiène régulière est recommandée. La directive SWKI VA 104-01 prévoit une inspection tous les deux à trois ans selon le type de traitement de l'air.

Si l'on détermine qu'une inspection d'hygiène est requise, celle-ci doit être réalisée avant l'analyse énergétique.

Observation en exploitation

Les ventilateurs d'un objet (bâtiment, installation de fabrication, etc.) sont évalués sur le plan qualitatif. Cela s'effectue lors d'une visite avec les exploitants (p.ex. électricien de l'exploitation ou conciergerie). On utilise comme grille d'évaluation les cinq principaux défauts mentionnés (voir page 14).

Résultats du contrôle visuel et suite de la procédure

Le contrôle visuel est documenté dans un procès-verbal. Dans celui-ci sont proposées les étapes ultérieures pour chaque installation, par exemple les évaluations suivantes:

- Aucune nécessité d'intervention: L'installation est correcte ou sans anomalie significative sur le plan énergétique et ne présente aucun défaut apparent.
- Mesures immédiates: Adaptation des temps d'exploitation et contrôle de la tension des courroies, etc.
- Analyse énergétique supplémentaire: L'installation est étudiée de façon plus détaillée. Cela peut s'effectuer par une analyse de la documentation de l'installation ou par des mesures.
- Autres mesures non énergétiques: En raison de défauts apparents, l'analyse énergétique est annulée et des mesures de correction des défauts sont mises en œuvre.

Analyse de la documentation de l'installation

Dans la seconde phase, une évaluation des installations sélectionnées est réalisée à l'aide de la documentation de l'installation:

- SFP (puissance spécifique du ventilateur)
- Débit volumique d'air (par personne; par rapport aux charges de chaleur ou de polluants)
- Commande et régulation selon le besoin (qualité de l'air, température ambiante, pression différentielle)

On vérifie en outre la présence éventuelle de composants manifestement inefficients:

- Rendement du ventilateur (selon la fiche de données ou des valeurs d'expérience)
- Transmission
- Moteur (basse classe énergétique, surdimensionnement)
- Commande et régulation progressives (étranglement, commande par transformateur)

Des conditions manifestement défavorables sont constatées lorsque:

- SFP > 0.5 W/m³/h
- Débit volumique 30% au-dessus du besoin
- Pas de commande ou de régulation selon le besoin
- Entraînements par courroies trapézoïdales dans des ventilateurs ayant une puissance à l'arbre inférieure à 2 kW

L'analyse est documentée dans un procès-verbal. Dans celui-ci sont proposées les étapes ultérieures pour chaque installation. Les variantes suivantes sont généralement proposées:

- Aucune nécessité d'intervention
- Mise en œuvre de mesures, p. ex. nouveau réglage du débit volumique d'air
- Déclenchement de mesures
- Déclenchement d'une rénovation de l'installation

Mesures

Principes de base des mesures

Avant le début des mesures:

- Réaliser les réglages adéquats (niveaux d'exploitation, cas de charge)
- La commande ou régulation doit être réglée pendant la mesure, de manière à ce que le débit volumique d'air corresponde à la valeur de dimensionnement. Par exemple, dans une installation avec régulation de la qualité de l'air, la valeur de consigne de la teneur en CO₂ doit être réglée à la valeur minimale.
- Un éventuel ajout d'air pulsé doit être réglé de manière à ce que la part d'air pulsé corresponde à l'état de dimensionnement.
- Des composants spéciaux, tels qu'un régulateur de débit volumique ou un régulateur de pression constante, sont-ils présents?
- Dans les installations avec ventilateur d'air fourni et d'air repris, il convient de décider si la puissance électrique absorbée de chaque ventilateur est mesurée séparément ou si la puissance absorbée de l'ensemble de l'appareil de traitement de l'air est enregistrée.
- La pertinence des mesures augmente nettement lorsque celles-ci sont effectuées non seulement dans le cas de dimensionnement mais aussi en mode de charge partielle.
- Ne pas oublier: Lors des mesures, les consignes de sécurité (courant fort, risque de blessure près des ventilateurs) doivent être respectées.

Consommation d'énergie électrique

La puissance électrique absorbée (puissance active) est mesurée dans l'état de fonctionnement dans lequel on mesure le débit volumique d'air et la pression d'alimentation.

Dans des installations à courant fort, les mesures ne doivent être réalisées que par des personnes autorisées (électriciens agréés).

Débit volumique d'air et pression d'alimentation

Dans les grandes installations, le débit volumique d'air est généralement mesuré dans un tronçon le plus droit possible en amont ou en aval de l'appareil de traitement de l'air (monobloc). Le point de mesure ne doit pas se trouver, dans la direction de l'écoulement, immédiatement après des pièces moulées telles que p. ex. des coudes ou des composants. Un anémomètre permet d'enregistrer le profil d'écoulement (vitesse de l'air). Par une multiplication avec la section transversale, on obtient le débit volumique d'air. Si la température au point de mesure diffère de plus de 10 K de la valeur de référence (souvent 20 °C), il convient de prendre en compte l'influence de l'étanchéité lors de l'exploitation.

Dans les installations petites et moyennes, le débit volumique d'air peut également être mesuré au niveau des passages d'air. Pour obtenir une précision suffisante, on utilise à cet effet des appareils de mesure à trémie.

Pour évaluer les ventilateurs et l'installation, il convient, outre le débit volumique d'air, de mesurer également la pression. Pour déterminer les points de fonctionnement des ventilateurs, les pressions doivent être mesurées au niveau des raccords de ventilateurs. Pour évaluer la distribution de l'air, les mesures de pression doivent être réalisées au niveau des raccords de l'appareil de traitement de l'air.

Si, lors d'une mesure de pression différentielle, les sections transversales des deux points de mesure ne sont pas de même taille, les différences de pressions dynamiques doivent être prises en compte.

Conséquences énergétiques de différentes solutions (exemple)

Les indications de cette fiche technique montrent qu'avec une installation efficiente et exploitée en fonction du besoin, la consommation d'énergie peut être considérablement réduite. Cela est illustré dans l'exemple de mesures réalisées sur six installations réelles et dans l'exemple mathématique d'une installation d'amenée d'air présentant un débit de 10 000 m³/h.

Mesures

L'illustration 12 montre le résultat des puissances spécifiques de ventilateur mesurées pour six installations présentant un débit volumique d'air de 4 000 à 25 000 m³/h. Les puissances électriques absorbées du ventilateur d'amenée et d'évacuation d'air ont été ajoutées et divisées par la valeur moyenne du débit volumique d'air fourni et repris.

Les quatre installations vestiaires, école, gymnase et salle sont des installations de ventilation avec réchauffage de l'air. Toutes les installations (hormis le gymnase avec 25 000 m³/h) possèdent un débit volumique compris entre 4 000 et 6 000 m³/h.

■ L'installation «vestiaires» est équipée de ventilateurs efficaces à entraînement direct. En raison des pertes de charge externes élevées (somme de l'air fourni et de l'air repris 900 Pa), la puissance spécifique absorbée est presque 2 fois au-dessus de la valeur limite.

■ L'installation «école» se caractérise par des vitesses d'écoulement faibles dans la distribution de l'air (env. 2 m/s) et présente ainsi une perte de charge externe de seulement 320 Pa. Malgré une technique d'entraînement conventionnelle à l'aide de courroies trapézoïdales, la valeur SFP atteinte est bonne.

■ Dans le cas du «gymnase», le débit volumique d'air s'élève à 25 000 m³/h. Pour cette grande installation, on observe une perte de charge externe relativement élevée de 920 Pa. Ainsi, malgré un bon rendement du ventilateur et du moteur, la valeur limite est dépassée.

■ «Salle»: Grâce un court réseau de conduites, l'appareil de ventilation présente certes une faible perte de charge externe de 370 Pa, cependant l'appareil de ventilation âgé de plus de 10 ans ne correspond plus aux exigences actuelles en termes de perte de charge interne et de rendement.

■ «Piscine couverte»: Les deux systèmes de ventilation sont des installations de climatisation partielles. Les deux piscines couvertes présentent de courtes distributions d'air et par conséquent de faibles pertes de charge externes de 350 Pa (piscine 1) et 260 Pa. Dans la piscine 1, on dispose d'un appareil de ventilation neuf doté de ventilateurs à entraînement direct. L'appareil de ventilation de la piscine 2 est âgé de plus de 10 ans et possède un entraînement par courroie trapézoïdale.

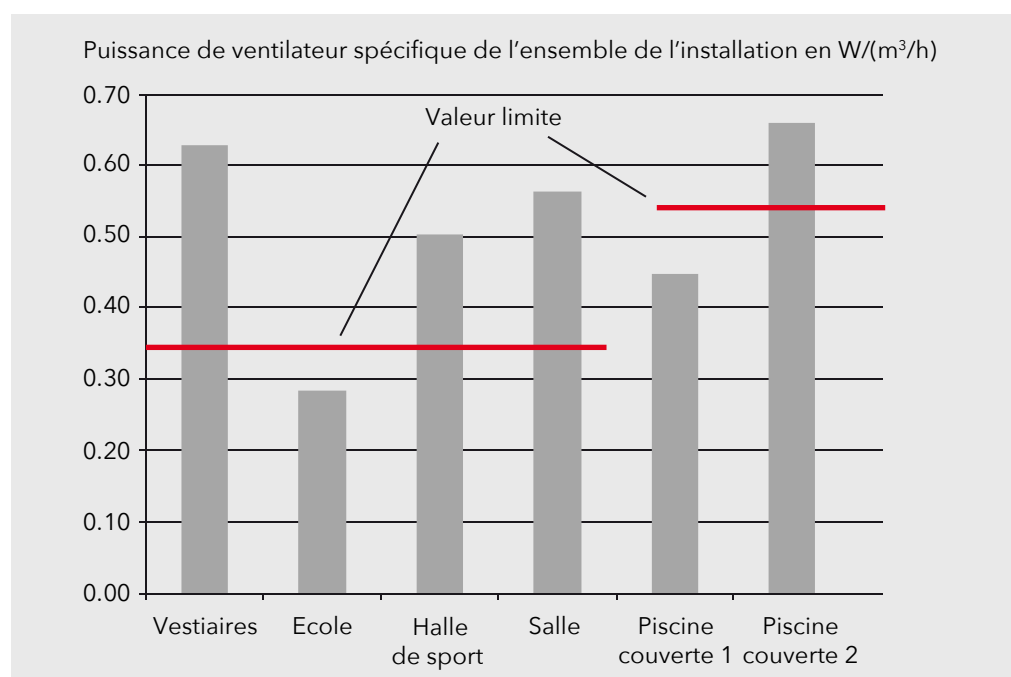


Illustration 12: Exemples de puissances de ventilateur spécifiques mesurées

Exemple mathématique d'une installation de climatisation simple

Au sens de la norme SIA 382/1:2007, la notion d'«installation de climatisation simple» désigne une installation avec récupération de chaleur, filtres, chauffage et refroidissement.

La combinaison des modes d'exploitation, des pressions différentielles et des rendements globaux donne les valeurs caractéristiques des illustrations 13 et 14. Dans le cas d'une exploitation continue d'une installation à un étage peu performante sur le plan énergétique, le besoin en puissance est 8 fois plus important et le besoin en énergie annuel 60 fois plus important que dans le cas d'une exploitation en fonction du besoin d'une installation très performante sur le plan énergétique présentant une faible perte de charge et un débit volumique d'air variable. Dans le cas d'une exploitation inutilement continue, la simple intégration d'un programmeur permet de réaliser une économie d'énergie considérable. Pour exploiter pleinement le potentiel d'économie illustré, il convient en outre d'utiliser des composants efficaces et d'adapter le débit volumique d'air au besoin, p. ex. avec une mesure de CO₂ en tant que grandeur de référence pour l'occupation des personnes.

Si l'on compare, dans l'exemple de la page 19, les cas B3/D3/W3 (exploitation d'une installation à 2 étages performante sur le plan énergétique pendant 12 h/jour les jours ouvrables) et B4/D4/W4 (exploitation en fonction du besoin d'une installation très performante sur le plan énergétique avec débit volumique d'air variable), on observe une variation, en termes de besoin en puissance, d'un facteur 1.9 et en termes de besoin en énergie, d'un facteur 2.4.

Exemple 1	Exemple 2	Exemple 3	Exemple 4
Exploitation en continu d'une installation à un étage peu performante sur le plan énergétique	Exploitation d'une installation à un étage moyennement performante sur le plan énergétique pendant 12 h/jour les jours de semaine	Exploitation d'une installation à 2 étages performante sur le plan énergétique pendant 12 h/jour les jours ouvrés	Exploitation en fonction du besoin d'une installation très performante sur le plan énergétique avec volume d'air variable

Exemple d'un ventilateur d'air fourni présentant un débit de 10 000 m³/h (installation de climatisation simple pour une utilisation de bureau mixte)

Besoin de puissance spécifique en W par m³/h

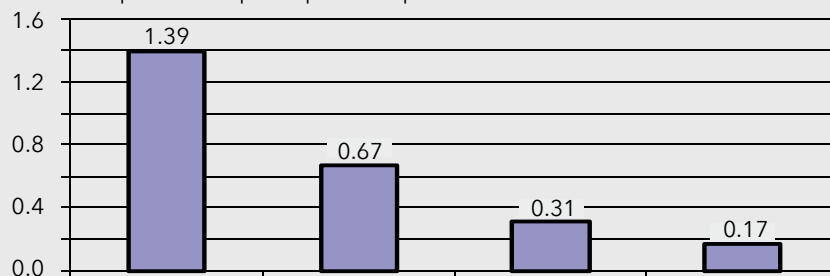


Illustration 13: Besoin de puissance spécifique du ventilateur d'air fourni de l'exemple d'installation (SIA 382/1: 0.35 W par m³/h, valeur-cible 0.21 W par m³/h)

Besoin en énergie annuel en MWh/an

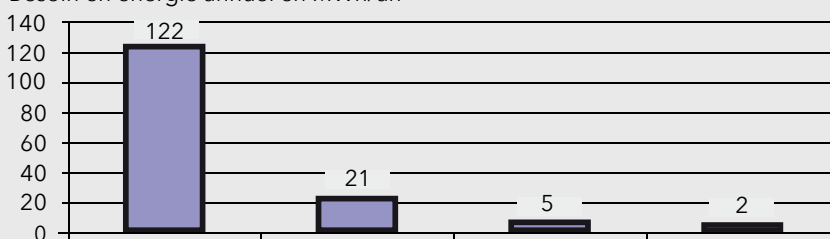


Illustration 14: Besoin en énergie annuel du ventilateur d'air soufflé des exemples d'installations

Mode d'exploitation	B1	B2	B3	B4	
	Débit volumique d'air en m ³ /h				
Niveau 4	10 000	10 000	10 000	10 000	
Niveau 3	-	-	5 000	8 000	
Niveau 2	-	-	-	6 000	
Niveau 1	-	-	-	4 000	
Durée de fonctionnement quotidienne en h/journée de 24 h					
Niveau 4	24	12	6	2	
Niveau 3	-	-	6	4	
Niveau 2	-	-	-	4	
Niveau 1	-	-	-	2	
Total	24	12	12	12	
Nombre de jours d'exploitation annuels en jours/an					
Total	365	260	220	220	
Pression différentielle en Pa	D1	D2	D3	D4	
	Niveau 4	2 000	1 200	700	460
	Niveau 3	-	-	175	294
	Niveau 2	-	-	-	166
	Niveau 1	-	-	-	74
Rendement global	W1	W2	W3	W4	
	Niveau 4	0.40	0.50	0.63	0.77
	Niveau 3	-	-	0.58	0.72
	Niveau 2	-	-	-	0.67
	Niveau 1	-	-	-	0.62

Tableau 8: Modes d'exploitation, pressions différentielles et rendements globaux d'un ventilateur d'air fourni

Remarques

Selon SIA 382/1:2007

■ Somme des pertes de charge du côté de l'air soufflé (externes et internes) maximum 500 à 700 Pa.

Selon la directive UE

Selon la directive UE, le rendement maximal possible dépend de la puissance absorbée à la charge nominale. Pour 3.1 kW (W3), la meilleure valeur actuellement possible est de 0.72, pour 1.7 kW (W4) de 0.70.

Informations complémentaires

Notions et unités

Désignation	Symbole	Unité	Explication
Durée de fonct.	t	h	
Besoin en énergie électrique	E	Wh	
Pression différ. totale	Δp	Pa	Delta p
Rendement global	η_{ges}	-	Eta global
Vitesse de l'air	v	m/s	
Température ambiante	θ_{RAL}	°C	Theta air ambient
Puissance spécifique des appareils de ventilation compacts	SPI	W par m ³ /h	
Puissance spécifique des ventilateurs	SFP	W par m ³ /h	
Température de l'air fourni au niveau du passage d'air	θ_{ZUL}	°C	Theta air fourni
Rendement du moteur	η_M	-	Eta
Rendement de la rég.	η_R	-	Eta, CF
Rendement de la transmission	η_{Tr}	-	Eta, courroies trapézoïdales ou plates
Rendement du ventil.	η_V	-	Eta

Note de l'éditeur

La fiche technique Ventilation a été réalisée par S.A.F.E. dans le cadre du programme de mise en œuvre de systèmes d'entraînement efficaces de Topmotors. Elle a été élaborée 2012 par Conrad U. Brunner, Bruno Hari, Bürgi Schäfer, Prof. Heinrich Huber, FHNW, et Urs Steinemann, Ing US, et partiellement actualisée en mars 2021 (normes, lois et sources). Lectorat et mise en page: Faktor Journalisten, Zurich

Disponible en français, allemand et italien sur: www.topmotors.ch. Topmotors est soutenu par SuisseEnergie.

Normes, lois et sources

Exigences légales Suisse

Ordonnance sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique (OEEE):

- Annexe 2.6: Exigences en matière d'efficacité énergétique ainsi qu'à la mise en circulation et la fourniture de ventilateurs.
- Annexe 2.7: Exigences relatives à l'efficacité énergétique ainsi qu'à la mise en circulation et la fourniture des moteurs et des convertisseurs de fréquence.
- Annexe 1.17: Exigences relatives à l'efficacité énergétique et à la mise en circulation et à la fourniture des unités de ventilation.

Normes suisses

- SIA 108:2020 Règlement concernant les prestations et honoraires des ingénieurs mécaniciens et électriciens, ainsi que des ingénieurs spécialisés dans les installations du bâtiment
- SIA 382/1:2014 Installations de ventilation et de climatisation - Bases générales et performances requises [3]
- SIA 2056:2019: Électricité dans les bâtiments - Besoins en énergie et puissance requise
- SIA 382/5:2021 Ventilation mécanique dans les habitations

Exigences légales en Europe

Directive Ecodesign, ordonnances:

- N° 1781 (2019): Moteurs électriques de 0.12 kW à 1000 kW, convertisseur de fréquence dimensionné pour les moteurs de 0.12 kW à 1000 kW et les circulateurs à rotor noyé
- N° 327 (2011): Ventilateurs ayant une puissance d'entrée comprise entre 0.12 kW et 500 kW [1]
- N° 1253 (2014): Exigences d'écoconception pour les unités de ventilation

Standards internationaux

- IEC 60034-30-1:2014 Rotating electrical machines - Part 30-1, Efficiency classes (IE code)

Sources

- Recknagel, Sprenger, Alders: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik 2021/2022, ITM InnoTech Medien GmbH, ISBN 978-3-96143-090-1 [2]
- Cahier tech. SIA 2024: Conditions d'utilisation standard pour l'énergie et les installations du bâtiment [5]
- Themenheft Motor: Heft 28, 2010, Faktor Verlag [6]
- Modèle de prescriptions énergétiques des cantons, MoPEC, EnDK
- Aides à l'application EN-105 (Installations de ventilation, 2018) et EN-142 (Optimisation énergétique, 2017)
- AMO EERE U.S. Department of Energy, Motors Tip Sheets Nr. 1-12, Washington DC, 2006-2008
- Jürg Nipkow: Elektrizitätsverbrauch von Pumpen in der Schweiz, Arbeitspapier S.A.F.E./Topmotors, 2011
- Easy: Förderprogramm für effiziente Antriebe, Auswertung von 1500 Motoren in 5 Unternehmen, Zurich 2012 (non publié)
- Conrad U. Brunner, Jürg Nipkow, Rolf Tieben, Rita Werle: Entraînements électriques efficaces sur le plan énergétique; Bulletin electrosuisse/VSE, n° 8/2012